



НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК
БЕЛАРУСИ



РУП «НПЦ НАН БЕЛАРУСИ
ПО МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Выпуск 57



Минск
2024



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Республиканское унитарное предприятие
«Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства»

И МЕХАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Межведомственный тематический сборник
Основан в 1968 году

Выпуск 57

Минск
«Беларуская навука»
2024

УДК [631.171+633/635+636]:631.152.2(085)

В сборнике опубликованы основные результаты исследований по разработке инновационных технологий и технических средств для их реализации при производстве продукции растениеводства и животноводства, рассмотрены вопросы технического сервиса машин и оборудования, использования топливно-энергетических ресурсов, разработки и применения энергосберегающих технологий, электрификации и автоматизации, информационно-управляющих систем в технологиях АПК.

Материалы сборника могут быть использованы сотрудниками НИИ, КБ, специалистами хозяйств, студентами вузов и колледжей аграрного профиля.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

П. П. Казакевич (председатель);

кандидат технических наук, доцент

Д.И. Комлач (зам. председателя);

доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси

В. В. Азаренко;

доктора технических наук, профессора, академики РАН

Н. М. Морозов, Я. П. Лобачевский (Российская Федерация);

доктора технических наук, профессора

В. И. Передня, Л. Я. Степук;

кандидаты технических наук, доценты

Н. Г. Бакач, А. Н. Перепечаев, В. К. Клыбик, Н. Д. Лепешкин, Э. В. Дыба, А. Н. Юрин,

В. В. Голдыбан, Н. Ф. Капустин

Рецензенты:

кандидаты технических наук, доценты

Н. Г. Бакач, А. Н. Перепечаев, Э. В. Дыба, А. А. Жешко, Н. Ф. Капустин, В. К. Клыбик,

Н. Д. Лепешкин, В. В. Микульский, А. Н. Юрин;

кандидат технических наук П. П. Бегун; В. И. Володкевич

Приказом Председателя ВАК Республики Беларусь от 4 июля 2005 года № 101 межведомственный тематический сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства» (РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства») включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

© РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации
сельского хозяйства», 2024

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2024

Д. И. Комлач, А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

АГРОПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНТЕНСИВНОГО САДОВОДСТВА БЕЛАРУСИ

Аннотация. В данной статье приведена природно-производственная характеристика интенсивного садоводства Республики Беларусь и изложены основные направления его развития.

Ключевые слова: площадь плодово-ягодных культур, урожайность, валовый сбор, себестоимость, самообеспечение, семечковые культуры, ягоды.

D. I. Komlach, A. N. Yuryn

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

AGRO-PRODUCTION CHARACTERISTICS OF INTENSIVE HORTICULTURE IN BELARUS

Abstract. This article provides a natural-production characteristic of intensive gardening in the Republic of Belarus and outlines the main directions of its development.

Keywords: area of fruit and berry crops, productivity, gross harvest, cost, self-sufficiency, pome crops, berries.

Введение

Сельское хозяйство является важной отраслью экономики Республики Беларусь. Так, удельный вес сельскохозяйственной продукции и продуктов питания в объеме внешней торговли товарами республики составляет 7,2–15,5 % [1]. При этом садоводство как часть агропромышленного комплекса страны является молодой, но от этого не менее важной его составляющей.

Биологически и социально обязательный ежедневный минимум потребления плодов и фруктов составляет не менее 0,25–0,3 кг или в течение года – 90–110 кг (не менее 930 тыс. т в год по республике), а для обеспечения психологически устойчивого ритма жизни человека необходимо почти двукратное его увеличение [2].

В сельскохозяйственных организациях республики и крестьянских (фермерских) хозяйствах (КФХ) в рамках реализации Государственной программы «Плодоводство» (2004–2015 гг.) была осуществлена посадка садов интенсивного типа на площади более 20 тыс. га [3].

В период 2016–2020 гг. развитию садоводства Беларуси способствовала Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11.03.2016 № 196, в соответствии с которой в республике осуществлялась закладка промышленных садов на площади 2,5 тыс. га [4].

В то же время начиная с 2004 г. в Беларуси ведется раскорчевка садов низкого бонитета, в результате которой площадь садов в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах сократилась с 45,4 (2004) до 34,3 тыс. га (2019) (рис. 1) [1].

Проведенная работа позволила увеличить производство плодовой и ягодной продукции и повысить ее качество благодаря обновлению сортового состава и внедрению современных технологий хранения. Так, валовый сбор плодово-ягодной продукции в хозяйствах всех категорий в 2019 г. составил 545,6 тыс. т [1].

Традиционно значительная доля плодово-ягодной продукции производится в частном секторе.

Однако в настоящее время прослеживается специализация сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств. Если ранее выращивание плодов и ягод на сельскохозяйственных предприятиях было продукцией второго плана, то в настоящее время все больше предприятий, особенно крестьянских и фермерских хозяйств, специализируются именно на возделывании плодовых и ягодных культур.



Рис. 1. Площадь плодово-ягодных насаждений, тыс. га

Основная часть

Всего в Беларуси насчитывается более 50 крупных садоводческих организаций (с площадью садов от 100 га и выше), возделывающих плодовые и ягодные культуры [5].

Наиболее эффективно садоводство развивается в сельскохозяйственных организациях и фермерских хозяйствах Брестской, Гродненской и Минской областей, где производится порядка 80 % плодово-ягодной продукции от валового сбора по республике. При этом за последнее десятилетие урожайность семечковых культур, возделываемых в крестьянских и фермерских хозяйствах, значительно возросла и в настоящее время превосходит урожайность в сельскохозяйственных организациях в 3–5 раз (рис. 2) [6].



Рис. 2. Урожайность семечковых культур в сельскохозяйственных организациях и фермерских хозяйствах, ц/га

Все это приводит к тому, что производство плодовой и ягодной продукции в общественном секторе растет. Если в 2004 г. производство продукции в учитываемом секторе составляло только 11 % (38,6 тыс. т), то в настоящее время уже 29 % (157,3 тыс. т), а за счет более высокой урожайности доля продукции, произведенной в КФХ, возросла до 50 % (рис. 3) [1].

В общем объеме плодово-ягодных насаждений общественного сектора республики доминируют семечковые культуры (яблоня, груша), которые занимают 95 %, ягодные – 4,5 %, косточковые – 0,5 % (вишня, слива) от общей площади (рис. 4) [1].

При этом очевидна тенденция увеличения в структуре производства доли ягодных и сокращения доли косточковых культур. Очевидно, сокращение площадей выращивания косточковых культур происходит вследствие высокой трудоемкости ухода за ними (особенно уборки), отсутствия специализированной техники и низкого уровня механизации технологических процессов.



Рис. 3. Валовый сбор плодов и ягод по категориям хозяйств, тыс. га

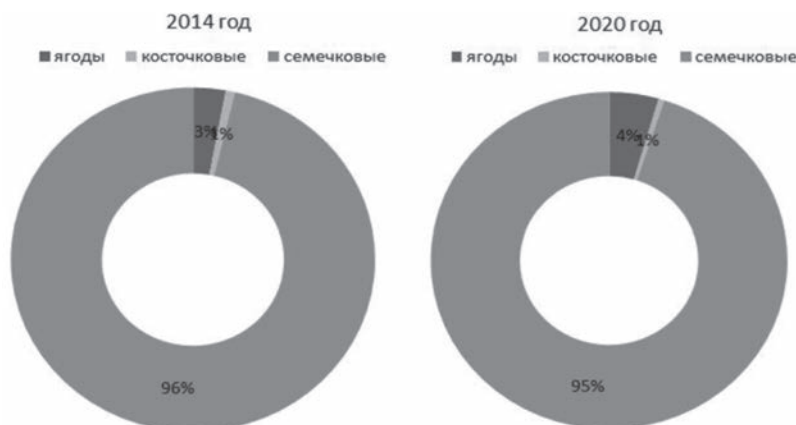


Рис. 4. Структура производства плодов и ягод по видам в хозяйствах Республики Беларусь, % [1]

Несмотря на проведенную работу, самообеспеченность плодово-ягодной продукцией в Беларуси составляет только 60–70 % от потребности (рис. 5), в результате чего для удовлетворения внутреннего спроса республика вынуждена закупать свежую плодово-ягодную продукцию из-за рубежа. Так, для нужд республики ежегодно импортируется 250–500 тыс. т продукции плодовых и ягодных культур, произрастающих в стране, таких как яблоки, груши, вишня, черешня и др., на сумму более 130 млн долл. США [1].

В то же время очевидно, что плодородческая отрасль в Беларуси располагает потенциальными возможностями для увеличения объемов производства фруктов при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности.



Рис. 5. Уровень самообеспечения плодами и ягодами (%) и объем потребления плодово-ягодной продукции (кг/чел.·год)

Необходимость увеличения объемов производства плодовой и ягодной продукции также отражена в Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до

2030 года, принятой постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.12.2017 № 962, которая предусматривает увеличение производства отечественной плодовой и ягодной продукции и обеспечение доли отечественных свежих фруктов на потребительском рынке до 30 % [7].

Важным условием возделывания садов, поддержания и увеличения площадей их закладки является наличие достаточного количества качественного посадочного материала.

Производством посадочного материала в республике занимаются более 300 юридических и физических лиц. За последние годы производство посадочного материала значительно выросло. Если в 2004 г. было получено 1,1 млн саженцев, то в настоящее время ежегодно выращивается порядка 2–3 млн штук саженцев. Наибольшие объемы производят фермерские хозяйства (50 % от общего объема).

Значительно расширен перечень сортов выращиваемых культур, разрешенных к использованию на территории Республики Беларусь. В крупных плодопитомниках страны создана маточно-черенковая база плодовых и ягодных культур. В Государственный реестр сортов включено 202 сорта плодово-ягодных культур для промышленного возделывания, 91 из которых – отечественной селекции.

Немаловажным фактором для успешного рентабельного производства фруктов является уровень цен на потребительском рынке. При рассмотрении средних цен у производителей и в розничной торговле на примере яблок видно, что ценовая политика зачастую складывается не в пользу производителя продукции. Цена у производителей яблок в 2 раза меньше, чем таковая в розничной торговле (рис. 6) [8].

Поскольку торговля данным видом продукции не требует значительных материальных затрат со стороны розничных сетей, то необоснованно высокая стоимость рисков при реализации яблок в свежем виде, закладываемая в цену торговыми сетями, приводит, с одной стороны, к снижению конкурентоспособности белорусской продукции для потребителя в соотношении между ценой и качеством, с другой – к аккумуляции значительной доли прибыли не у производителей сельскохозяйственной продукции, а у организаций, специализирующихся на реализации.



Рис. 6. Средняя цена на яблоки у производителей и в розничной торговле, руб./кг [8]

Садоводство является одной из наиболее трудоемких отраслей сельского хозяйства, уровень механизации которой составляет порядка 15–20 %, что является основной сдерживающей причиной внедрения современных высокоэффективных технологий в производство плодово-ягодной продукции, вынужденного упрощения технологий возделывания насаждений, снижения производительности труда и недобора до 40–50 % урожая.

В настоящее время в Беларуси выпускаются более 25 наименований машин (производства ООО «Стимул-Брест», ООО «СелАгро», ОАО «Оршаагропромаш» и других организаций), предназначенных для обработки почвы, посадки и выкопки саженцев, окучивания подвоев, внесения удобрений и химической защиты садов [9–11], что составляет лишь часть машин для механизации данных процессов возделывания многолетних насаждений (не более 30 %).

До недавнего времени недостающая техника закупалась из-за рубежа в таких фирмах, как “Bargam”, “NBlossi” – Италия, “Ostraticky” – Чехия, “Joonas” – Финляндия, “Lipco” – Германия,

“Oxbo” – США, “Munckhof”, “Greefa” – Голландия, “Weremczuck”, “Jagoda” – Польша [12–21]. На сегодняшний день поставки таких машин прекращены.

При этом из-за рубежа закупались в основном дорогостоящие машины для механизации наиболее трудоемких процессов в садоводстве: уборки урожая, обрезки деревьев, сортировки плодов и др., что в значительной мере снижало конкурентоспособность продукции отечественных производителей.

Однако, несмотря на высокую ресурсоемкость производства плодово-ягодной продукции и существующие проблемы отрасли, садоводство более рентабельно по сравнению с возделыванием однолетних полевых культур, доход от ее реализации в 3–9 раз больше, чем от реализации однолетних культур, а рентабельность производства может составлять 30–200 % в зависимости от возделываемой культуры [22–24].

В настоящее время в Беларуси насчитывается более 70 крупных садоводческих организаций (с площадью садов от 100 га и выше), возделывающих плодовые и ягодные культуры [5]. Очевидно, что для таких предприятий необходим полный перечень рассмотренных выше средств механизации. Для достижения этой цели на основании полученных результатов исследований в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ, предназначенный для уборки ягод смородины, аронии, агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур, комплекс уборки веток КУВ-1,8, предназначенный для утилизации обрезанных веток плодовых деревьев, и технологическая линия ЛСП-4 для сортировки яблок посредством системы технического зрения.

Данные технические средства успешно прошли все испытания и проверки в производственных предприятиях Республики Беларусь, доказавшие эффективность их применения.

Выводы

1. Благодаря реализации Государственных программ развития отрасли садоводства и аграрного бизнеса в Беларуси производство плодовой и ягодной продукции в общественном секторе страны возросло до 150–200 тыс. тонн в год.

2. Несмотря на проведенную работу по развитию отрасли республика до настоящего времени обеспечивает население плодами и ягодами только на уровне 60–70 % от потребности, в результате чего экспорт плодов и ягод из-за рубежа составляет 250–500 тыс. тонн ежегодно.

3. Основным сдерживающим фактором развития отрасли садоводства является низкий уровень механизации технологических процессов, которой составляет порядка 15–20 %, что приводит к упрощению технологий, снижению производительности труда и недобору до 40–50 % урожая.

4. Развитие отечественного садоводства и повышение конкурентоспособности его продукции возможно лишь путем создания отечественных современных комплексов машин для механизации технологических процессов в садоводстве.

Список использованных источников

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 235 с.
2. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Ю.П. Лобачевский [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10 (232). – С. 16–20.
3. Государственная комплексная целевая программа развития картофелеводства, овощеводства и плодородства в 2011–2015 гг. : утв. пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 31 декабря 2010 г., № 1926. – Минск, 2010. – 107 с.
4. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы : утв. пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 11 марта 2016 г., № 196. – Минск, 2016. – 98 с.
5. Организации и предприятия по производству, переработке и торговле продукцией плодородства и научному обеспечению отрасли: адресно-телефонный справочник / РУП «Институт плодородства». – Самохваловичи, 2010. – 222 с.
6. Валовый сбор и урожайность фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – 14 с.
7. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года : утв. пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 15 декабря 2017 г., № 962. – Минск, 2017. – 25 с.

8. Васеха, В. В. Современное состояние плодородия в Республике Беларусь / В. В. Васеха, А. А. Таранов // Пути повышения эффективности современного плодородия: материалы Междунар. науч. конф., аг. Самохваловичи, 21–23 августа 2018 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т плодородия; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2018. – С. 7–12.
9. Машина для посадки саженцев МПС-2М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://orshaagro.com/plugi/9-posadka-sazhentsev/9-mashina-dlya-posadki-sazhentsev-mps-2m.html>. – Дата доступа: 20.08.2020.
10. Опрыскиватели Зубр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.selagro.com/technics/sadovodstvo/opryskivateli-sadovodstvo>. – Дата доступа: 20.08.2020.
11. Косилки роторные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stimul-brest.by/produktsiya/kosilki-rotornye>. – Дата доступа: 20.08.2020.
12. Harvesting conveyor. Kit for picking platforms mod. EIN, ZIP25, ZIP30 [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.nblo.si.com/en/harvesting_conveyor.php. – Date of access: 17.07.2020.
13. Joonas harvester [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.rakennustempo.fi/en/jatropa-project/joonas-harvester>. – Date of access: 17.07.2020.
14. Machines for fruits [Electronic resource]. – Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/kategoria-produkty/fruit-harvesting-machines/>. – Date of access: 17.07.2020.
15. Harvester for currants, haskaps, gooseberry JAREK 5 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.jagoda.com.pl/portfolio-view/currant-gooseberry-harvester-jarek-5/>. – Date of access: 17.07.2020.
16. Sprayers Bargam [Electronic resource]. – Mode of access: <http://bargam.portalservices.it/en/prodotti.asp>. – Date of access: 17.07.2020.
17. Гидравлический столбостав [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ostraticky.cz/ru/produkty/63/stolbostav/>. – Дата доступа: 20.08.2020.
18. Harvesting machines – Pluk-O-Trak Senior [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.munckhof.org/en/machine/pluk-o-trak-senior/>. – Date of access: 17.07.2020.
19. Oxbo 8040 Blueberry Harvester [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.oxbo.com/Products/Berries/Blueberry-Harvesters/8000>. – Date of access: 17.07.2020.
20. Recycling sprayer for viticulture/fruit cultivation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.lipco.com/en/products/recycling-sprayer-for-viticulture-fruit-cultivation/>. – Date of access: 17.07.2020.
21. SmartSort [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.greefa.com/product/smartsort/>. – Date of access: 17.07.2020.
22. Юрин, А. Н. Перспективы развития садоводства в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / А. Н. Юрин // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/perspektivy-razvitiya-sadovodstva-v-respublike-belarus/>. – Дата доступа: 30.04.2018.
23. Юрин, А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А. Н. Юрин. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 208 с.
24. Юрин, А. Н. Актуальность проблемы дефицита плодов и ягод в Республике Беларусь и пути ее решения / А. Н. Юрин, А. А. Игнатчик, В. В. Викторovich. // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 17–18 октября 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва ; редкол.: П. П. Казакевич, Е. В. Корзун. – Минск : Беларуская навука, 2019. – С. 89–95.

Д. И. Комлач¹, В. В. Голдыбан¹, А. С. Воробей¹, Ю. Н. Бабак²

¹РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

²ГУ «Белорусская МИС»

пос. Привольный, Минский р-н, Республика Беларусь

E-mail: yuribabak@tut.ru

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ВЫСАЖИВАЮЩЕГО АППАРАТА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ ДЛЯ ТОЧНОЙ ПОСАДКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Аннотация. В статье рассмотрена новая концепция высаживающего аппарата пневматического типа.

Ключевые слова: пневматический высаживающий аппарат, клубни, картофель, вакуум, точная посадка.

D. I. Komlach¹, V. V. Goldyban¹, A. S. Verabei¹, U. N. Babak²

¹RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

²SI "Belarusian MTS"

s. Privolny, Minsk dis., Republic of Belarus

E-mail: yuribabak@tut.ru

A NEW CONCEPT THE PLANTER APPARAT PNEUMATIC TYPE FOR PLANTER FOR PRECISE PLANT TUBERS POTATOES

Abstract. In article was saw a new concept the planter apparat pneumatic type.

Keywords: pneumatic planter's apparats, tubers, potatoes, vacuum, precise planter.

Введение

Картофель считается культурой с высоким потенциалом продовольственной безопасности и высокой продуктивностью благодаря его способности обеспечивать высокий урожай на единицу затраченного семенного материала за более короткий вегетативный период (в основном меньше 120 дней) по сравнению с основными зерновыми культурами, такими как кукуруза. По энергетическим запасам, имеющимся в картофеле, он находится на пятом месте, уступая пшенице, кукурузе, рису, ячменю. Продукцию картофелеводства потребляет почти каждый пятый житель планеты, а для каждого десятого это один из основных пищевых продуктов, за что он получил название «второй хлеб».

В современной сложной экономической ситуации значение картофеля в продовольствии возрастает.

Одной из основных операций при возделывании картофеля является посадка. Основными задачами посадки являются обеспечение заданной площади питания и глубины заделки, которые во многом определяют величину будущего урожая, так как от них зависит дальнейший рост и развитие растений.

Основная часть

Несмотря на достаточно высокую производительность высаживающих аппаратов ложечного типа, данная конструкция не обеспечивает равномерного распределения клубней в гнезде. Это

связано, в первую очередь, с естественными вариациями формы и размера клубней, плохой их текучестью в бункере и инерционностью клубней в момент схода с ложки и поступления в борозду. Первые два фактора обуславливают захват ложечкой двух клубней либо их отсутствие, в результате чего в поле могут встретиться гнезда с числом клубней от 0 до 4. Инерционность клубней также влияет на равномерность распределения клубней в борозде. Для распределения клубней картофеля в борозде с заданным шагом необходимо, чтобы клубни сбрасывались на дно борозды ложечкой с горизонтальной абсолютной скоростью, равной нулю. На практике клубни выбрасываются из ложечки центробежной силой, при этом происходит их раскатывание в гнездах, что в свою очередь изменяет равномерность размещения гнезд вдоль рядков. Из-за особенности подачи клубней ложечкой в борозду равномерность распределения клубней в поле картофелепосадочными машинами с ленточно-ложечковыми высаживающими не превышает 65–80 %.

Повысить равномерность распределения клубней в поле, снизить количество двойников и пропусков можно за счет улучшения конструкции высаживающего аппарата пневматического типа.

Поэтому нами предложена новая концепция высаживающего аппарата пневматического типа для точной посадки клубней картофеля. Высаживающий аппарат состоит из высаживающего колеса 1, всасывающих рукавов 2, всасывающих сопел 3 (рис. 1).

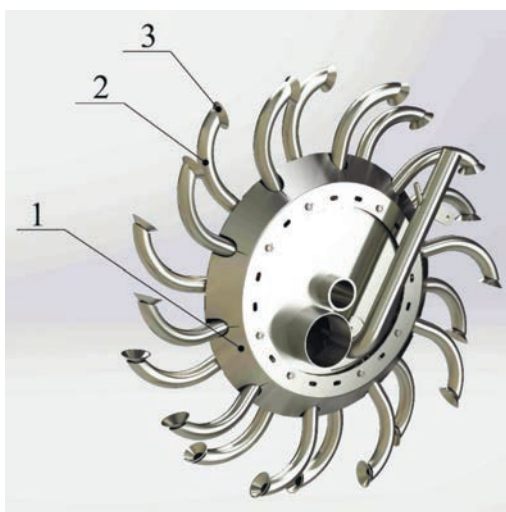


Рис. 1. Высаживающий аппарат пневматического типа (общий вид):
1 – высаживающее колесо; 2 – всасывающий рукав; 3 – всасывающее сопло

Конструкция высаживающего колеса включает в себя вакуумный дозатор и распределительный диск (рис. 2). По периметру распределительного диска в шахматном порядке располагаются отверстия для крепления в них всасывающих рукавов с помощью болтовых соединений.

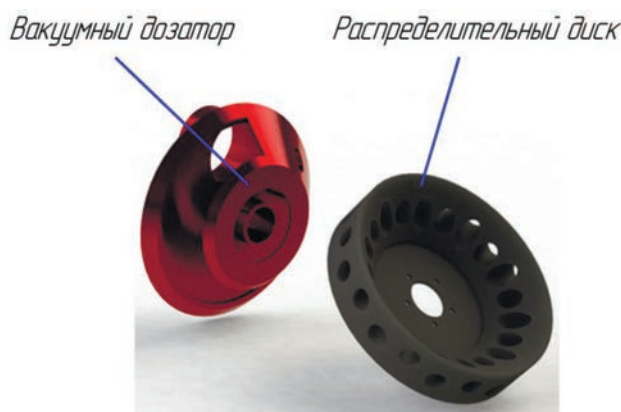


Рис. 2. Конструкция высаживающего колеса

Вакуумный дозатор своей конусной частью входит вовнутрь наружной части распределительного диска. Герметичность соединения обеспечивается конусностью двух систем (рис. 2).

В боковой части распределительного диска выполнено 20 отверстий, в которых закреплены всасывающие рукава.

Материал вакуумного дозатора – сталь, а распределительного диска – износостойкий пластик.

В конструкции вакуумного дозатора (рис. 2) предусмотрено технологическое отверстие, через которое после сброса клубня в борозду во всасывающие рукава подается под напором поток воздуха для продувки системы от почвенных примесей.

Процесс работы высаживающего колеса характеризуется четырьмя режимами: режим захвата; режим транспортировки, режим продувки и режим сброса (рис. 3):

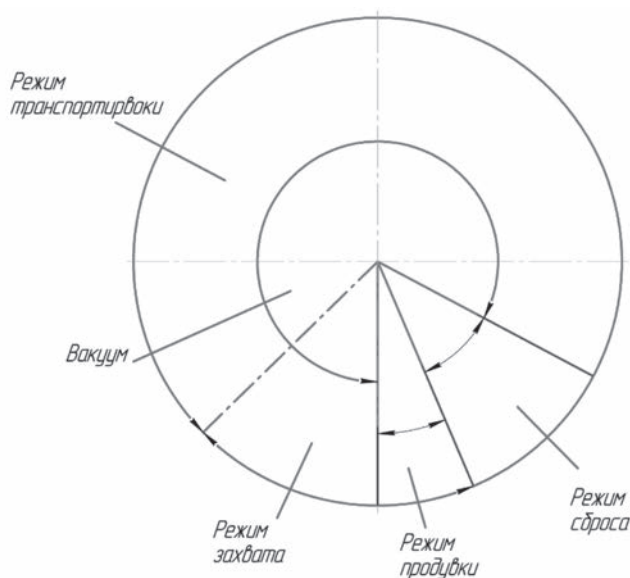


Рис. 3. Схема основных режимов высаживающего колеса

первый режим – захват клубня: всасывающие рукава захватывают клубни в условиях вакуума; второй режим – транспортировка: клубни, удерживаемые вакуумом, перемещаются к области сброса;

третий режим – сброс клубня: положительное вакуумное давление прекращается, и под действием силы тяжести клубни отделяются от сопла всасывающего рукава и падают в борозду;

четвертый режим – продувка: в процессе работы высаживающего колеса в вакуумную камеру попадает разнообразный мусор (песок, частицы почвы и другой абразив), что, в свою очередь, приводит рабочие органы к изнашиванию. Поэтому необходимо периодически в процессе работы высаживающего колеса использовать режим продувки.

Технологический процесс работы высаживающего аппарата пневматического типа заключается в следующем: в процессе вращения высаживающего колеса всасывающие рукава с соплами движутся к области захвата. В области вакуумного дозатора создается отрицательное вакуумное давление, при помощи которого происходит захват клубня. Клубни захватываются по одному, для равномерной их раскладки в борозде (исключая пропуски и двойники). После этого происходит их транспортировка к области сброса. В области сброса создается положительное давление, клубни отсоединяются от сопла и равномерно раскладываются в борозде. После этого вся система вакуумного дозатора продувается от почвенных примесей.

Одним из важных элементов высаживающего аппарата является вентилятор (рис. 4). Вентилятор предназначен для создания вакуумного давления в вакуумной камере. Это необходимо для того, чтобы в режиме захвата производить точный захват одного клубня из общего вороха и далее направлять его через режим транспортировки к режиму сброса. Выбор вентилятора производился на основании проведенных теоретических исследований.

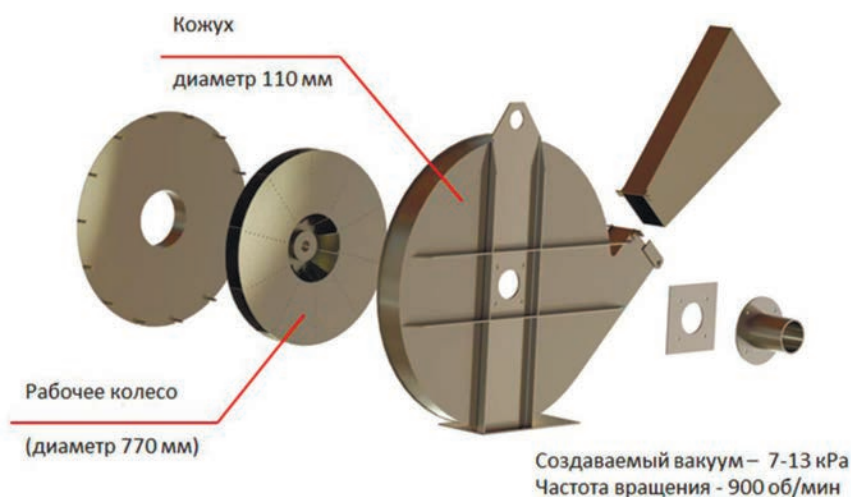


Рис. 4. Вентилятор (деталировка)

Когда каждый всасывающий рукав выходит из вакуумной камеры, клубень удерживается вакуумом в сопле до тех пор, пока всасывающий рукав не достигнет обозначенной точки, где разрежение прекращается. Предпочтительно кратковременный выброс положительного давления воздуха создают сначала во всасывающем рукаве, а затем в сопле. Этот короткий всплеск «положительного давления воздуха» гарантирует, что клубень, попавший в сопло всасывающего рукава, не будет вытеснен из сопла.

Таким образом, когда сопло сообщается с соседним всасывающим рукавом, положительное давление воздуха подается через соответствующий всасывающий рукав в нужное сопло. Положительное давление вынуждает клубень в сопле высвободиться. Кроме того, в это время удаляются почвенные примеси, попавшие во всасывающие рукава.

Заключение

Посадка картофеля с помощью пневматической высаживающей системы – это новая и весьма перспективная технология, привлекающая в последнее время внимание все большего числа исследователей. Технология ориентирована на скоростную посадку картофеля с высокой точностью.

Такой тип высаживающего аппарата позволяет производить посадку клубней картофеля на высоких скоростях, с повышенной равномерностью раскладки клубней картофеля в борозде, без пропусков и двойников.

Д. И. Комлач, А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ИНТЕНСИВНОГО САДОВОДСТВА БЕЛАРУСИ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос экономии применения средств механизации для наиболее трудоемких процессов интенсивного садоводства Беларуси. Установлено, что уровень механизации базовой технологии возделывания яблоневого сада составляет только 12,5 % и требует затрат финансовых средств в размере 6163 руб./га. Разработанный РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» комплекс машин, состоящий из агрегата АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев, комплекса КУВ-1,8 для валкования и измельчения обрезанных веток плодовых деревьев и технологической линии ЛСП-4 для сортировки и фасовки яблок, позволяет механизировать трудоемкие процессы. Применение данного шлейфа машин в перспективной технологии возделывания сада позволяет обеспечить годовую экономию затрат по технологической карте в размере 1018,55 руб./га, снижение затрат труда на 278,5 чел.ч/га и уровень механизации возделывания сада – 50,1 %.

Ключевые слова: уборка плодов, обрезка деревьев, утилизация веток, сортировка плодов, затраты труда, экономия средств.

D. I. Komlach, A. N. Yuryn

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

EFFICIENCY OF MEANS OF MECHANIZATION OF INTENSIVE HORTICULTURE IN BELARUS

Abstract. This article considers the issue of using means of mechanization of the most labor-intensive processes of intensive horticulture in Belarus. It has been established that the level of mechanization of the basic technology of cultivating an apple orchard is only 12.5%, and requires financial resources – 6163 rubles / ha. A set of machines developed by RUE “SPC NAS of Belarus for agricultural mechanization” consists of an ASU-6 unit for harvesting fruits and pruning trees, a KUV-1.8 complex for swathing and chopping cut branches of fruit trees and a technological line LSP-4 for sorting and packing apples allows you to mechanize these processes. The use of the proposed train of machines in a promising garden cultivation technology allows for annual cost savings on the technological map in the amount of 1018.55 rubles/ha, a reduction in labor costs by 278.5 man-hours/ha, and the level of mechanization of intensive garden cultivation – 50.1%.

Keywords: fruit harvesting, tree pruning, branch disposal, fruit sorting, labor costs, cost savings.

Введение

Системное повышение уровня технической оснащенности сельскохозяйственных процессов позволяет снизить до минимума затраты на проведение технологических операций, повысить производительность труда. Это особенно актуально для садоводства, как одной из наиболее трудоемких отраслей сельского хозяйства, где уровень механизации не превышает 10–20 % [1–6].

В большей степени вопрос связан с традиционной технологией возделывания плодов семечковых культур, в которой многие технологические операции выполняются вручную.

Такая технология уборки требует значительных затрат труда, которые составляют 350–400 чел.ч/га при урожайности плодов 20–30 т/га, или 4,9–5,6 млн чел.ч. по республике. На оплату

этой работы требуется 19,6–22,4 млн руб. Дефицит квалифицированных сборщиков урожая приводит к тому, что к уборке привлекаются низкоквалифицированные сезонные рабочие (школьники, студенты). Это уменьшает производительность труда, приводит к снижению качества продукции, потерям при хранении и увеличению ее себестоимости.

Поэтому механизация интенсивного садоводства является важной агроинженерной задачей для республики.

Следует иметь в виду и то, что уборку следует осуществлять в оптимальные агротехнические сроки. Преждевременная уборка приводит к снижению урожая, так как на последней стадии развития многие сорта яблок увеличивают свою массу на 1–2 % в день (поздние сорта – на 0,5 %). Поздний же сбор плодов приводит к большим потерям урожая в виде падалицы, а при хранении – в виде убыли массы плодов и снижению их качества. Как следствие, для выполнения уборочных работ в оптимальные сроки хозяйства вынуждены привлекать большое количество сезонных рабочих, что часто затруднительно.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время в Беларуси насчитывается более 70 крупных садоводческих организаций (с площадью садов от 100 га и выше), возделывающих плодовые и ягодные культуры [7]. При этом из 25 тыс. га садов сельскохозяйственных предприятий более 14 тыс. га приходятся на яблоневые сады¹. Поэтому при расчете экономической эффективности технологии возделывания интенсивных садов в природно-производственных условиях Республики Беларусь нами принят условный яблоневый сад площадью 100 га.

Базовая технология возделывания интенсивного яблоневого сада [8] предусматривает выполнение 42 технологических операций. Типовая технологическая карта ухода за плодоносящим садом семечковых культур представлена в табл. 1.

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей»².

Графическая интерпретация затрат финансовых средств на выполнение операций технологической карты и необходимое количество работников для выполнения данных операций отражены на рис. 1 и 2. Из графиков видно, что для различных операций затраты и требуемое количество рабочих – величины переменные. Наиболее затратными являются операции по утилизации обрезанных веток (операции 1, 2, 3), уборке плодов (операция 30), обрезке деревьев (операция 40) и сортировке плодов (операция 42).

Рассмотрим данные операции подробнее.

Базовая технология возделывания сада предусматривает **утилизацию веток** (операции 1, 2 и 3) сгребанием (Беларус-921 с волокушей ВСН-2,5), погрузкой (Амкодор-352С-02) и вывозом за пределы сада древесных отходов (Беларус-921 с прицепом 2ПТС-6) с их последующим сжиганием. Такая технология требует большого количества ручного труда вспомогательных рабочих для сволакивания веток. Как видно из табл. 1 и рис. 1, 2, суммарные затраты финансовых средств для утилизации веток составляют 62897,9 руб. (628,98 руб./га) и требуют привлечения 27 рабочих.

Уборка плодов выполняется вручную. Необходимо привлечение 125 рабочих. Затраты составляют 150 000,00 руб. (1500,00 руб./га).

Традиционная **обрезка деревьев** (операция 40) также выполняется вручную (табл. 1, рис. 1, 2). На выполнение работ необходимо привлечение 35 рабочих. Затраты составляют 83 333,33 руб. (833,33 руб./га).

Сортировка плодов также выполняется вручную. Для нее требуется 63 рабочих и 150 000,00 руб. (1500,00 руб./га).

Таким образом, затраты на выполнение данных операций составляют 446231,23 руб. (4462,31 руб./га), или 72,4 % всех затрат на возделывание яблоневого сада.

¹ Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – 36 с.

² Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008 (02150). – Введ. 01.02.2009.

Таблица 1. Базовая технологическая карта ухода за плодоносящим садом семечковых культур

№	Наименование операции	Объем работ	Срок проведен. работ	Состав агрегата		W, га/ч	Расход топлива кг/га	Загрязны труда, чел.ч	Уд. кап.вл.	Сумма затрат на 100 га, руб.	Кол-во агрегатов (рабочих) на 100 га
				трактор	СХМ						
1	Сволакивание срезанных ветвей, га	100	12-20.04	Беларус 921	ВСН-2,5	0,825	3,6	1,2	21,6	5855,4	2,2
2	Погрузка ветвей, т	700	12-20.04	Амкодор 352С		4	4,5	1,8	5,6	51462,8	21,9
3	Вывоз ветвей и сжигание, т	700	15-20.04	Беларус 921	2ПТС-6	6	1,5	0,2	1,9	5579,8	2,9
4	Подвоз воды, т	100	20-23.04	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2183,6	1,0
5	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	20-23.04	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	7490,4	2,5
6	Подвоз минеральных удобрений, т	10	01-04.05	Беларус 921	2ПТС-6	3	1	0,3	3,7	112,1	0,1
7	Внесение минеральных удобрений, га	100	01-04.05	Беларус 921	РУ 800	2,5	3	0,4	8,7	3819,5	1,7
8	Подвоз воды, т	100	01-04.05	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2183,6	1,0
9	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	01-04.05	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	7490,4	2,5
10	Скашивание травы в междурядьях, га	100	10-17.05	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	1,3
11	Подвоз воды, т	100	20-23.05	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2183,6	1,0
12	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	20-23.05	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	7490,4	2,5
13	Подвоз воды, т	20	27.05-06.06	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	436,7	0,1
14	Внесение гербицидов 200 л/га, га	100	27.05-06.06	Беларус 921	Зубр НШ10Г	2,75	3,7	0,4	4,9	3520,2	0,5
15	Скашивание травы в междурядьях, га	100	06-13.06	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	1,3
16	Подвоз воды, т	100	06-09.06	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2183,6	1,0
17	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	06-09.06	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	7490,4	2,5
18	Подвоз минеральных удобрений, т	10	10-13.06	Беларус 921	2ПТС-6	3	1	0,3	3,7	112,1	0,1
19	Внесение минеральных удобрений, га	100	10-13.06	Беларус 921	РУ 800	2,5	3	0,4	8,7	3819,5	1,7
20	Скашивание травы в междурядьях, га	100	20-23.06	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	3,0
21	Подвоз воды, т	100	23-26.06	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2183,6	1,0
22	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	06-09.06	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	7490,4	2,5
23	Скашивание травы в междурядьях, га	100	20-23.06	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	3,0
24	Подвоз воды, т	100	10-13.07	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2183,6	1,0
25	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	10-13.07	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	7490,4	2,5
26	Подвоз воды, т	20	20-30.07	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	436,7	0,1
27	Внесение гербицидов 200 л/га, га	100	20-30.07	Беларус 921	Зубр НШ10Г	2,75	3,7	0,4	4,9	3520,2	0,5

№	Наименование операции	Объем работ	Срок проведен. работ	Состав агрегата		W, га/ч	Расход топлива кг/га	Затраты труда, чел.ч	Уд. кап.вл.	Сумма затрат на 100 га, руб.	Кол-во агрегатов (рабочих) на 100 га
				трактор	СХМ						
28	Скашивание травы в междурядьях, га	100	01-04.08	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	3,0
29	Скашивание травы в междурядьях, га	100	20-23.08	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	3,0
30	Уборка плодов, т	3000	20.08-20.09	вручную		0,1	-	10,0		150000,0	125,0
31	Вывоз плодов яблони, т	3000	20.08-20.09	Беларус 921	ТТК-3	6	1,5	0,2	2,2	25941,5	2,1
32	Скашивание травы в междурядьях, га	100	10-13.09	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	0,7	14,0	4276,9	3,0
33	Подвоз воды, т	100	10-13.10	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	0,3	8,4	2136,1	1,0
34	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	10-13.10	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	0,6	17,9	6490,4	2,5
35	Подвоз минеральных удобрений, т	10	14-17.10	Беларус 921	2ПТС-6	3	1	0,3	3,7	112,1	0,1
36	Смешивание минеральных удобрений, т	10	14-17.10	Беларус 921	ИСУ-4А	2	7	0,5	8,9	372,4	0,2
37	Внесение минеральных удобрений, га	100	14-17.10	Беларус 921	РУ 800	2,5	3	0,4	8,7	3319,5	1,7
38	Раскладка отравленных приманок, га	100	20.10-03.11	вручную		0,24	-	4,2		2083,3	3,7
39	Инвентаризация сада, га	100	01-08.11	вручную		0,56	-	1,8		892,9	3,2
40	Обрезка деревьев (2500 дер./га), га	100	01.02-01.03	вручную		0,006	-	166,7		83333,3	34,7
41	Побелка штамбов (2500 дер/га), дер.	250000	20.10-01.12	вручную		50	-	0,0		25000,0	20,8
42	Сортировка плодов, т (3000 т)	3000	01.12-01.02	вручную		0,1	-	10,0		150000,0	62,5
									Всего:	616338,4	

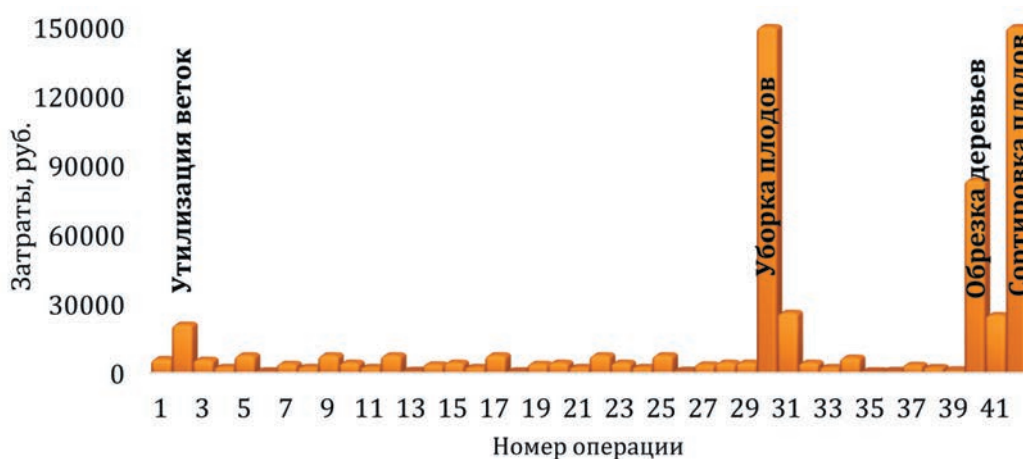


Рис. 1. Затраты финансовых средств на выполнение технологических операций по возделыванию яблоневого сада площадью 100 га по базовой технологии

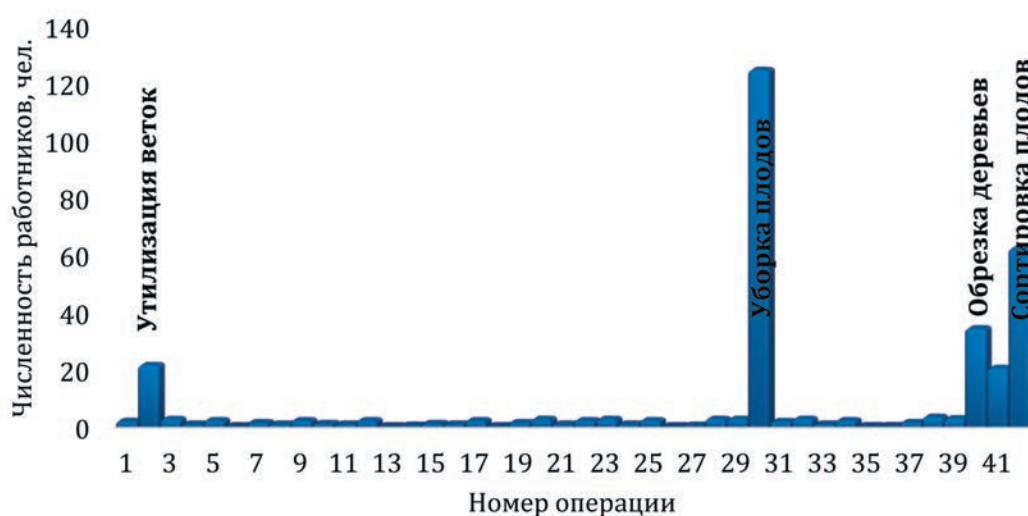


Рис. 2. Потребное количество человек на выполнение технологических операций по возделыванию яблоневого сада площадью 100 га по базовой технологии

Очевидно, что затраты на выполнение этих операций, в первую очередь, определяют себестоимость полученной продукции и конкурентоспособность садоводства в целом как отрасли сельского хозяйства.

С этой целью РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан и поставлен на производство шлейф машин, предназначенных для механизации операций обрезки и утилизации веток плодовых деревьев, уборки и сортировки плодов.

Для утилизации веток разработан комплекс уборки веток КУВ-1,8 (рис. 3), для уборки плодов и обрезки деревьев разработан агрегат самоходный универсальный АСУ-6 (рис. 4), для сортировки плодов – линия сортировки яблок ЛСП-4 (рис. 5).

Перспективная технологическая карта возделывания интенсивного яблоневого сада площадью 100 га с использованием разработанных машин представлена в табл. 2, а графики затрат и потребное количество работников приведены на рис. 6 и 7.

Использование комплекса уборки веток КУВ-1,8 позволяет полностью механизировать технологический процесс их **утилизации**, заменив операции 1, 2 и 3 в базовой технологической карте одной операцией 1 в перспективной, так как утилизация веток происходит за один проход комплекса. При этом ветки не вывозятся за пределы сада для последующего сжигания, а измельчаются непосредственно в междурядьях с мульчированием почвы, обеспечивая повышение урожайности возделываемых культур.



Рис. 3. Утилизация обрезанных веток яблони комплексом КУВ-1,8



а б
Рис. 4. Агрегат АСУ-6 на уборке яблок (а) и обрезке деревьев (б)



Рис. 5. Технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4

Затраты финансовых средств на выполнение операции составляют 20 120,82 руб. (201,20 руб./га), а необходимое количество рабочих – 1.

Таким образом, применение комплекса КУВ-1,8 позволяет высвободить 26 рабочих и обеспечить экономию в 42777,18 руб.

Уборка плодов, выполняемая посредством использования агрегата АСУ-6, требует затрат в размере 110 147,80 руб. (1101,47 руб./га) и 7 рабочих, что обеспечивает экономию более 38900 руб. (398,52 руб./га) и высвобождение 89 рабочих по сравнению с базовой технологической картой.

Использование агрегата АСУ-6 на **обрезке деревьев** требует привлечения 7 рабочих. Затраты при этом составляют 91479,00 руб. (914,79 руб./га), что обеспечивает экономию более 8000 руб. (81,46 руб./га) и высвобождение 28 рабочих.

Таблица 2. Перспективная технологическая карта ухода за плодоносящим садом семечковых культур

№	Наименование операции	Объем работ	Срок проведения работ	Состав агрегата		W, га/ч	Расход топлива кг/га	Заплаты труда, чел/ч	Уд. капвл.	Сумма затрат на 100 га	Кол-во агрегатов (рабочих) на 100 га
				трактор	СХМ						
1	Валкование и измельчение ветвей, га	100	01.02–20.03	Беларус 921	КУВ-1,8	0,68	19,4	131,2	70,0	20120,8	0,5
2	Подвоз воды, т	100	20.04–23.04	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,4	2183,5	1,0
3	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	20.04–23.04	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	56,9	17,9	7490,3	2,4
4	Подвоз минеральных удобрений, т	10	01.05–04.05	Беларус 921	2ПТС-6	3	1	7,4	3,7	112,0	0,1
5	Внесение минеральных удобрений, га	100	01.05–04.05	Беларус 921	РУ 800	2,5	3	29,4	8,7	3819,4	1,6
6	Подвоз воды, т	100	01.05–04.05	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,4	2183,5	1,0
7	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	01.05–04.05	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	56,9	17,9	7490,3	2,4
8	Скашивание травы в междурядьях, га	100	10–17.05	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,9	4276,8	1,3
9	Подвоз воды, т	100	20–23.05	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,4	2183,5	1,0
10	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	20–23.05	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	56,9	17,9	7490,3	2,4
11	Подвоз воды, т	20	27.05–06.06	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,4	436,7	0,1
12	Внесение гербицидов 200 л/га, га	100	27.05–06.06	Беларус 921	Зубр НШ10Г	2,75	3,7	30,3	4,8	3520,2	0,5
13	Скашивание травы в междурядьях, га	100	06–13.06	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,9	4276,8	1,3
14	Подвоз воды, т	100	06–09.06	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,4	2183,5	1,0
15	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	06–09.06	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	56,9	17,95	7490,3	2,5
16	Подвоз минеральных удобрений, т	10	10–13.06	Беларус 921	2ПТС-6	3	1	7,4	3,721	112,0	0,1
17	Внесение минеральных удобрений, га	100	10–13.06	Беларус 921	РУ 800	2,5	3	29,4	8,717	3819,4	1,7
18	Скашивание травы в междурядьях, га	100	20–23.06	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,98	4276,8	3,0
19	Подвоз воды, т	100	23–26.06	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,442	2183,5	1,0
20	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	06–09.06	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	56,9	17,95	7490,3	2,5
21	Скашивание травы в междурядьях, га	100	20–23.06	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,98	4276,8	3,0
22	Подвоз воды, т	100	10–13.07	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,442	2183,5	1,0
23	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	10–13.07	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	56,9	17,95	7490,3	2,5
24	Подвоз воды, т	20	20–30.07	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	13,3	8,442	436,7	0,1
25	Внесение гербицидов 200 л/га, га	100	20–30.07	Беларус 921	Зубр НШ10Г	2,75	3,7	30,3	4,897	3520,2	0,5
26	Скашивание травы в междурядьях, га	100	01–04.08	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,98	4276,8	3,0
27	Скашивание травы в междурядьях, га	100	20–23.08	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,98	4276,8	3,0

№	Наименование операции	Объем работ	Срок проведения работ	Состав агрегата		W, га/ч	Расход топлива кг/га	Загрязы труда, чел.ч	Уд. капвл.	Сумма затрат на 100 га	Кол-во агрегатов (рабочих) на 100 га
				трактор	СХМ						
28	Уборка плодов, т	3000	20.08-20.09	АСУ-6		2,1	0,48	36,7		110147,8	35,7
29	Вывоз плодов яблони, т	3000	20.08-20.09	Беларус 921	ТТК-3	6	1,5	6,4	2,171	25941	2,1
30	Скашивание травы в междурядьях, га	100	10-13.09	Беларус 921	КС-300	1,4	4,5	28,7	13,98	4276,8	3,0
31	Подвоз воды, т	100	10-13.10	Беларус 921	МЖТ-Ф-6А	4	1	12,9	8,442	2136,1	1,0
32	Опрыскивание (1000 л/га), га	100	10-13.10	Беларус 921	Зубр ПВ-20	1,7	4	46,9	17,95	6490,3	2,5
33	Подвоз минеральных удобрений, т	10	14-17.10	Беларус 921	2ПТС-6	3	1	7,4	3,721	112,0	0,1
34	Смешивание минеральных удобрений, т	10	14-17.10	Беларус 921	ИСУ-4А	2	7	28,3	8,893	372,4	0,2
35	Внесение минеральных удобрений, га	100	14-17.10	Беларус 921	РУ 800	2,5	3	24,4	8,717	3319,4	1,7
36	Раскладка отравленных приманок, га	100	20.10-3.11	вручную		0,24	-	20,8		2083,3	3,7
37	Инвентаризация сада, га	100	01-08.11	вручную		0,56	-	8,9		892,8	3,2
38	Обрезка деревьев (2500 дер/га), га	100	01.02-01.03	АСУ-6		0,12	0,0017	539,8	375	91479,5	6,9
39	Побелка штамбов (2500 дер/га), дер	250000	20.10-01.12	вручную		50	-	0,1		25000	20,8
40	Сортировка плодов, т (3000 т)	3000	01.12-01.02	ЛСП-4		2,5	0,4	26,8	14	122628	20
									Всего:	514483,4	

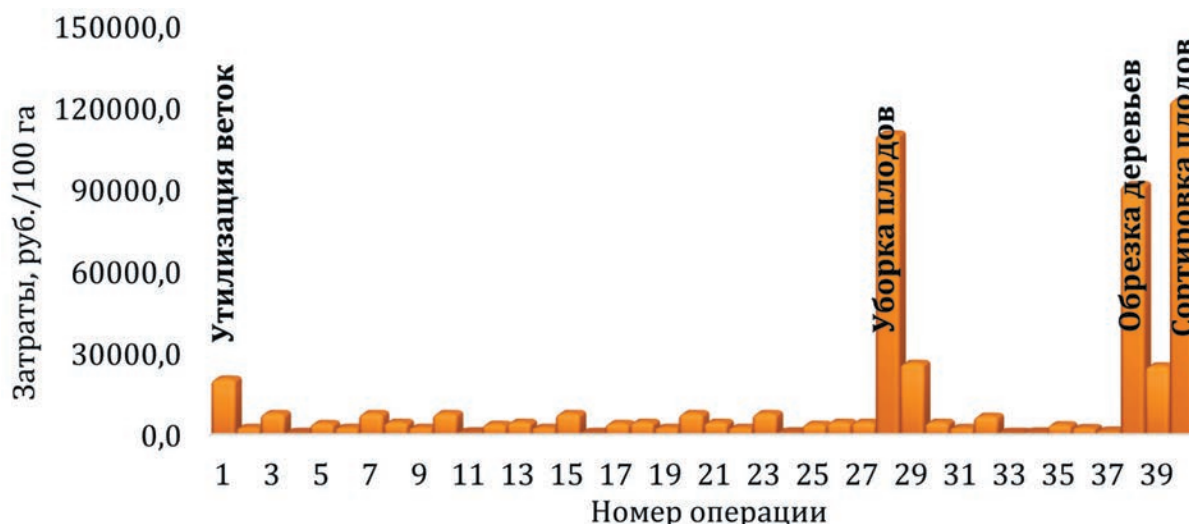


Рис. 6. Затраты финансовых средств на выполнение технологических операций по возделыванию яблоневого сада площадью 100 га по перспективной технологии

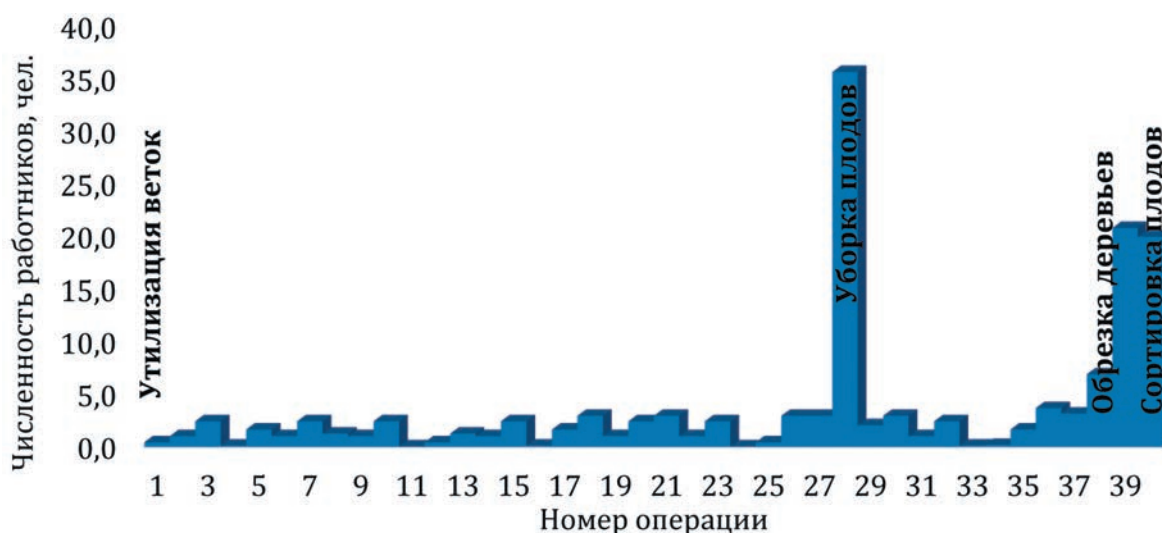


Рис. 7. Потребное количество человек на выполнение технологических операций по возделыванию яблоневого сада площадью 100 га по перспективной технологии

Сортировка плодов технологической линией сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 позволяет получить экономию в размере 27372 руб./га (273 руб./га) при снижении численности работающих на 43 человека.

В целом применение предложенного нового шлейфа машин в перспективной технологии возделывания сада позволяет обеспечить годовую экономию затрат по технологической карте в размере 1018,55 руб./га, или на 16,5 %, снизить затраты труда на 278,5 чел.ч/га, повысить уровень механизации с 12,6 % до 50,1 %.

Выводы

1. Уровень механизации возделывания семечковых культур составляет 12,5 %, что обусловлено тем, что в республике в настоящее время наиболее трудоемкие операции интенсивного садоводства, такие как уборка и сортировка плодов, обрезка и утилизация веток в настоящее время выполняются вручную.

2. Разработанный РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» перспективный комплекс машин для механизации садоводства обеспечивает экономию затрат при воз-

делывании интенсивного яблоневого сада в размере 1018,55 руб./га, уменьшение затрат труда на 278,5 чел.ч/га и обеспечивает уровень механизации производственных процессов – 50,1 %.

Благодарности. Работа выполнялась в рамках заданий подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Казакевич, П. П. Садоводство Республики Беларусь: проблемы и перспективы развития / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин // Земледелие и растениеводство. – 2020. – № 6 (133). – С. 3–7.
2. Юрин, А. Н. Анализ технологий и технических средств для утилизации обрезанных веток в садах / А. Н. Юрин, В. К. Клыбик // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск : Беларус. навука, 2020. – Вып. 52. – С. 265–273.
3. Казакевич, П. П. Интенсивное садоводство: механизация валкования обрезанных веток / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 4. – С. 483–494.
4. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск, 2013. – Вып. 47, т. 1. – С. 218–224.
5. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500>.
6. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10. – С. 16–20.
7. Организации и предприятия по производству, переработке и торговле продукцией плодовоговодства и научному обеспечению отрасли: адресно-телефонный справочник / РУП «Институт плодовоговодства». – Самохваловичи, 2010. – 222 с.
8. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. Акад. наук Беларуси, Ин-т сист. исслед. в АПК НАН Беларуси, рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 520 с.

К. А. Шавазов¹, Д. И. Комлач²

¹НИИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: kadirjon.shavazov@bk.ru

²РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО КОМБАЙНА ДЛЯ УБОРКИ СОЛОМЫ В ЗАПРЕССОВАННОМ ВИДЕ

Аннотация. Технология уборки и заготовки соломы зерновых в республиках Центральной Азии включает три этапа. Комбайн оставляет обмолоченную солому на поле. Затем на поле заезжает второй агрегат с пресс-подборщиком. Он подбирает солому, образует из нее тюки и оставляет на поле. Третий агрегат вывозит тюки за пределы поля. Зачистка поля от соломы затягивается, поэтому урожай повторных посевов не всегда успевает полностью созреть до осенних обильных осадков.

Авторы рекомендуют вмонтировать прессовальный аппарат в соломосбрасывающую камеру комбайна. Для привода прессовального аппарата будет использован привод, предусмотренный для соломоизмельчающего и разбрасывающего устройства. Совмещение обмолота зерна на комбайне с прессованием дает экономический эффект: себестоимость ускоренного освобождения зернового поля к повторным посевам существенно снизится, а посев можно будет провести раньше.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, солома, пресс-подборщик, стерня, соломоизмельчение, разбрасывание, размеры прессующей камеры, траектория соломы, сходящей с клавиш, прессующий поршень, угол трения о металл, потребляемая мощность.

K. A. Shavazov¹, D. I. Komlach²

¹NRU "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"
Tashkent, Uzbekistan

E-mail: kadirjon.shavazov@bk.ru

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus

DEVICE FOR GRAIN COMBINE FOR HARVESTING COMPRESSED STRAW

Abstract. The technology for harvesting and storing grain straw in the Central Asian republics includes three stages. The combine leaves threshed straw on the field. Then a second unit with a baler enters the field. He picks up the straw, forms it into bales and leaves it on the field. The third unit transports the bales outside the field. Clearing the field of straw takes longer, so the harvest of repeated crops does not always have time to fully ripen before heavy autumn rainfall.

The authors recommend installing the baling apparatus into the straw discharge chamber of the combine. To drive the pressing apparatus, the drive provided for the straw chopping and spreading device will be used. Combining grain threshing on a combine with pressing gives an economic effect: the cost of accelerating the release of a grain field for re-sowing will be significantly reduced, and sowing can be done earlier.

Keywords: combine harvester, straw, baler, stubble, straw chopping, spreading, dimensions of the pressing chamber, trajectory of straw coming off the keys, pressing piston, angle of friction on metal, power consumption.

Введение

Почвенно-климатические условия стран Центральной Азии предопределяют технологию уборки урожая зерновых, а также уборки соломы с вывозом ее за пределы поля. Комбайн оставляет обмолоченную солому на стерне в рассыпанном виде. При этом стерня, т. е. остатки нижних частей скошенных стеблей, принимают на себя в основном уже обмолоченные стебли и удержи-

вают их на некоторой высоте. Измельченные части листьев, колосьев, а также не извлеченная из соломы часть урожая не удерживаются стерней, осыпаются вниз на поверхность земли. Поэтому наиболее ценные питательные элементы затем не могут быть подобраны вместе со стеблями, т. е. качество соломы как корма для животноводства снижается. Кроме этого, одновременно с зерновыми созревают и семена сорняков. Часть семян сорняков окажется вместе с урожаем в бункере комбайна, а другая часть останется на поверхности земли. На следующий год они дадут всходы и увеличат количество сорняков, что нежелательно.

Основная часть

По принятой технологии на поле комбайн заезжает, агрегируя пресс-подборщик, который подбирает солому, удерживаемую стерней на некоторой высоте, а затем прессует в тюки, обвязывает их и оставляет на поле. На поле заезжает третий агрегат, он грузит тюки на транспортные средства, которые вывозят спрессованную солому за пределы поля. При такой технологии уборка соломы затягивается на несколько дней. За это время влажность почвы поля резко снижается, что отрицательно влияет на качество подготовки поля к повторным посевам.

Поэтому ранее было рекомендовано агрегировать прицепные пресс-подборщики непосредственно комбайном [1]. При этом требуется несколько переделывать пресс-подборщик, чтобы разместить его в камере соломоразбрасывателя комбайна. Также такое решение ухудшает маневренность комбайна при крутых поворотах. Авторы считают целесообразным не приспособлять пресс-подборщик к комбайну, а установить собственный соломопрессующий аппарат в соломоразбрасывающую камеру комбайна (рис. 1). Такое техническое решение возможно применять во всех комбайнах, так как соломоразбрасывающая камера даже у малогабаритного комбайна «Доминатор 130» имеет достаточный объем для установки соломопрессующего аппарата.

Установка собственного соломопрессующего аппарата не изменит габариты комбайна, не ухудшит его маневренность. Не потребуется увеличения мощности двигателя, так как соломопрессующий аппарат потребляет меньшую мощность, чем демонтированные соломоизмельчающая и соломоразбрасывающая установки.

Государства Центральной Азии сами не производят комбайны, а закупают их из Европы, США и других стран, где принята технология измельчения и разбрасывания соломы по полю. Поэтому их комбайны не имеют соломокопнителей, а оборудуются соломоизмельчающими барабанами и дисковыми разбрасывателями. Поэтому государства Центральной Азии внедрили технологию, когда сеноподборщик подбирает оставленную на стерне солому, прессуя ее, изготавливает тюки, которые вывозятся за пределы поля. Таким образом, оборудование комбайнов соломопрессующим аппаратом в комбайнопроизводящих странах не актуально, теоретические исследования по данной тематике не выполняются.

По пресс-подборщикам, которые предназначены для подбора скошенных и уложенных для подсушки естественных и сеяных кормовых трав и их прессования, исследований много [2–7]. Принцип рулонного прессования для установки на комбайн не подходит, т. к. перед выгрузкой рулона требуется останавливать агрегат, что неприемлемо для условий работы комбайна. В данном случае можно использовать принцип работы поршневого прессующего аппарата. Поршневые пресс-подборщики можно настраивать на образование тюков различной длины и плотности, что позволяет приспособляться к различным условиям. Солому в прессовальную камеру такого аппарата можно подавать сверху вниз, сбоку, фронтально. При установке такого аппарата на комбайн целесообразно подавать солому сверху вниз.

Методика исследований. Первой задачей является выявление возможности компоновки поршневого соломопрессующего аппарата в зону выхода соломы из соломосепаратора комбайна. Сопоставляя габаритные размеры соломопрессующего аппарата наиболее распространенных пресс-подборщиков с объемом соломоукладывающей камеры даже небольшого, но наиболее востребованного в Средней Азии комбайна Dominator 130, выявлено, что возможность размещения соломопрессующего аппарата имеется. Поэтому все дальнейшие исследования предполагают условия этого комбайна.

Второй задачей является выявление возможности осуществления привода прессующего аппарата без ущерба для комбайна. На всех комбайнах предусматривается привод для соломоизмельчающего и разбрасывающего устройств. В условиях Средней Азии эти устройства демонтируются, но элементы привода на комбайне сохраняются. Без ущерба можно использовать остатки этого привода.

Разработанное прессующее устройство имеет единую раму, которая несет все элементы аппарата. Рама установлена на два опорные колеса и прицепляется в одной точке к брусу задних колес комбайна. Привод кривошипно-шатунного устройства прессующего поршня крепится к этому брусу.

Третьей задачей является определение места установки загрузочного окна камеры прессования. Необходимо выбрать такую форму канала подачи соломы, сходящей с клавиши соломотряса, в загрузочное окно, чтобы поток соломы не испытывал крутые повороты и другие препятствия, чтобы не было забивания и задержек в канале (рис. 1).

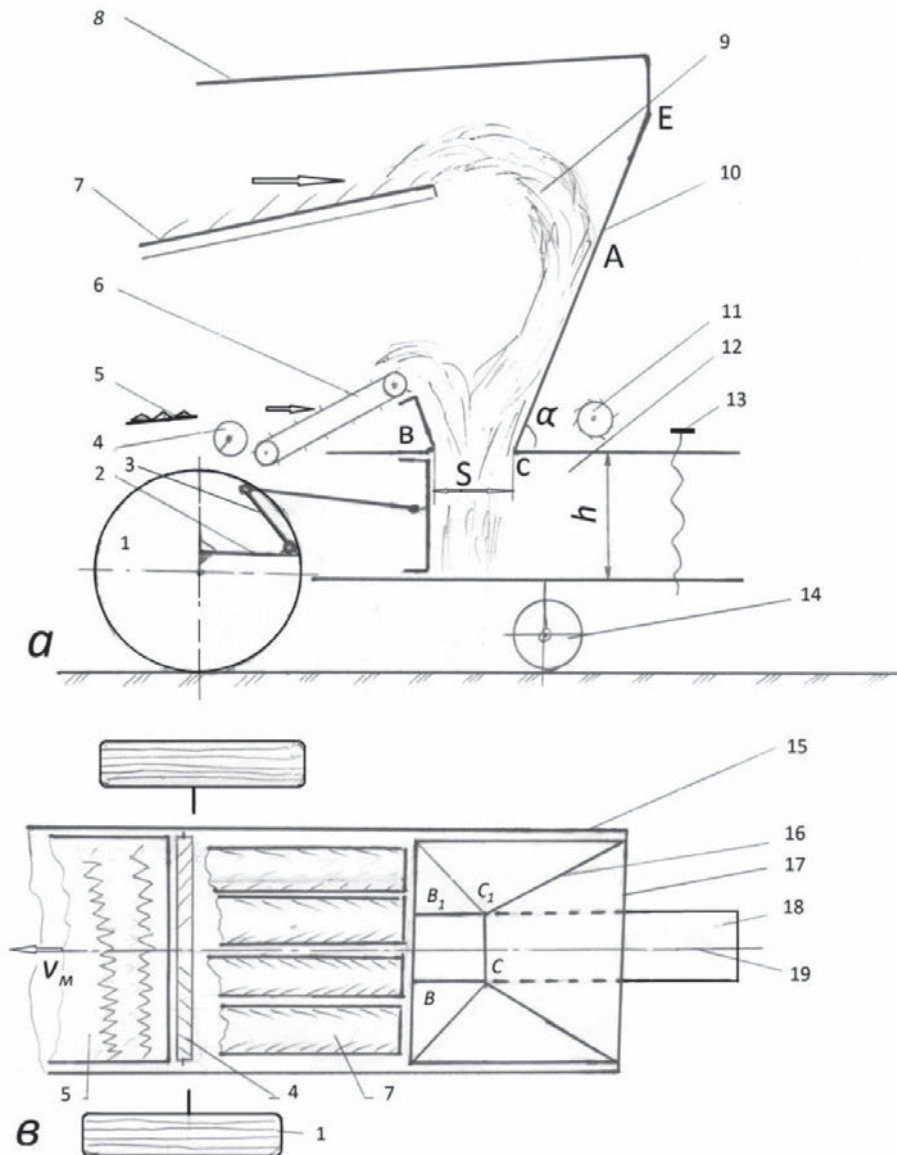


Рис. 1. Схема установки соломопрессующего аппарата вместо соломоизмельчителя и разбрасывателя на комбайн Dominator 130: *a* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – заднее колесо комбайна; 2 – балка для крепления соломоизмельчающего и разбрасывающего устройств; 3 – кривошип привода соломопрессующего поршня; 4 – шнек для транспортировки половы мелких примесей, сходящих с верхнего решета; 5 – верхнее решето; 6 – ленточный транспортер; 7 – клавиша соломотряса; 8 – крыша комбайна; 9 – траектория схода соломы с соломотряса; 10 – щиток-направитель; 11 – привод вязального аппарата; 12 – прессовальная камера; 13 – регулятор плотности тюков; 14 – опорное колесо тележки прессующего аппарата; 15 – боковина комбайна; 16 – щиток-направитель; 17 – задний щиток; 18 – сход с соломопрессующего аппарата; 19 – ось симметрии комбайна

Известно, что клавиша устанавливается с наклоном назад под углом $\beta = 15\text{--}25^\circ$, подбрасывает солому под некоторым углом $\alpha = 25^\circ$ к горизонту с некоторой начальной скоростью. Подброшенные частицы описывают параболаобразную траекторию. Чтобы изучить параметры этой траектории, на правую боковую стенку камеры изнутри был установлен координатный экран черной окраски. Координатные линии – белого цвета. На левую боковую стенку установили камеру для фиксирования характера траектории всей совокупности соломы.

Характер этой траектории показан на рис. 1. На той высоте траектории, где ее форма изменяется ближе к вертикали, т. е. в точке А солому встречает щиток-направитель С-Е, установленный под углом α к горизонту. Величина угла α выбрана меньше угла трения соломы по металлическому листу 10 щитка-направителя, поэтому безостановочно скользит в направлении загрузочного окна ВВ₁С₁С шириной S=0,6м. Боковые стенки также наклонные, отчего любая солома попадает в загрузочное окно ВВ₁С₁С.

Для того чтобы материал, сошедший с верхнего решета, содержащий щуплые зерна, даже часть нормального зерна, лёгкие примеси, выдуваемые вентилятором и т. д., являющийся наиболее ценным кормом для животных, также попадал в солому, установлен ленточный транспортер б шириной 0,3 м. Ширина верхнего решета 0,9 м, поэтому установлен двухсторонний шнек, который собирает этот материал к середине и передает его на транспортер б.

У загрузочного окна без изменений установлен серийный набиватель соломы. Прессовальная камера, поршень с кривошипно-шатунным приводом, узловязатель (он на схеме не показан), регулятор плотности 13 взяты без изменений с серийного пресс-подборщика. Рама рекомендуемого устройства покоится на 2 опорных колесах 14 и присоединяется к раме комбайна в одной точке, поэтому на крутых поворотах маневренность комбайна не ухудшается. Производительность соломопрессующего устройства соответствует производительности комбайна.

Применение приспособления дает положительный результат. При работе Dominator 130 со всех четырех клавиш соломотряса поочередно в камеру соломоразбрасывателя по определенной траектории поступает солома. Потом солома, встретившись с наклонными двумя боковыми и задней стенками-направителями, поступает вниз, в загрузочное окно ВВ₁С₁С. Граблины набивателя (на схеме они не показаны) набивают солому в пресс-камеру. В этот момент поршень ВК, двигаясь вправо по направляющим, начинает образовывать тюк. Как только будут достигнуты расчетные параметры тюка, узловязатель обвяжет тюк шпагатом. Готовый тюк будет выброшен на поле.

Мелкие частицы, сходящие с верхнего решета очистителя, попадают на шнек, который, собрав весь материал к середине, сбрасывает его на транспортер б. Он направляет этот мелкий материал в загрузочное окно вместе с основным потоком соломы.

Таким образом весь солоmistый материал оказывается запрессованным в тюки. Потерь мелкой половины не наблюдается. Кормовая ценность запрессованного продукта повышается. Основная часть семян сорняков не будет оставаться на поле. Себестоимость уборки соломы снижается, что повысит доходы зерноводческого фермера, т. к. он реализует тюки соломы по рыночным ценам. Зачастую наблюдаются случаи, когда происходит несанкционированный вывоз тюков с полей. Поэтому требуется вести строгий учет и незерновой части урожая.

Выводы

Установка непосредственно на комбайн соломопрессующего аппарата и датчиков сыпучих материалов позволяет решать дополнительные задачи:

1. Собрать наиболее ценную часть обмолоченной соломы, если она заготавливается как корм для животноводства.
2. Вывезти за пределы поля основную часть созревших семян сорняков, что очень важно для поливного зерноводства.
3. Сократить число заездов различных агрегатов на поле, что окажет щадящее действие на почву.
4. Намного раньше освободить поле для обработки под повторные посевы различных культур, что важно для получения условий для полного созревания урожая этих культур.

Список использованных источников

1. Шавазов, К. О необходимости установки соломопрессующего аппарата на зерновой комбайн в условиях Узбекистана / К. Шавазов, М. Шоумарова, Т. Абдиллаев // *Inginerie agrară și transport auto*. – 2018. – С. 17–20.
2. Особов, В. И. Сеноуборочные машины и комплексы / В. И. Особов, Г. К. Васильев. – М. : Машиностроение, 1983. – 304 с.
3. Мухин, А. Ф. Изыскание и исследование рационального комплекса машин для заготовок сена в прессованном виде : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Ф. Мухин ; ВИСХОМ. – М., 1973. – 21 с.
4. Особов, В. И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов. (Основы теории и расчета рабочих органов) / В. И. Особов, Г. К. Васильев, А. В. Голяновский. – Москва, Машиностроение, 1974. – 231 с.
5. Поединок, В. Е. Комплексная механизация заготовки кормов / В. Е. Поединок. – М. : Агропромиздат, 1986. – 222 с.
6. Справочник конструктора сельскохозяйственных машины. Под ред. канд. техн. наук М. И. Клецкина. Т. 3. – М. : Машиностроение, 1967. – 724 с.
7. Шоумарова М, Абдиллаев Т. «Кишлоқ хўжалиги машиналари». – Тошкент : «O'qituvchi», 2019.

А. К. Игамбердиев¹, Г. Ф. Усманова¹, Э. З. Усманов¹, Н. Г. Бакач²

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: asqar1959@mail.ru, a.igamberdiev@tiiame.uz

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ УЗБЕКИСТАНА

Аннотация. В статье приведены анализ и результаты научных исследований по агротехническим проблемам земледелия Узбекистана. Рассмотрены особенности состояния различных почв, основные направления сохранения и повышения их плодородия. Освещены проблемы оптимизации физических свойств почв, вопросы состояния плодородия орошаемых почв республики. Представлены результаты физической оценки почв. Приведены результаты исследований по изучению физико-механических свойств орошаемой почвы. Уделено внимание проблемам улучшения основных физико-механических свойств почвы.

Ключевые слова: орошаемые почвы, физические свойства, оценка, обработка почвы, влажность, плотность сложения, пористость, запасы влаги.

A. R. Igamberdiev¹, G. F. Usmanova¹, E. Z. Usmanov¹, N. G. Backach²

¹NRU "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"
Tashkent, Uzbekistan

E-mail: asqar1959@mail.ru, a.igamberdiev@tiiame.uz

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus

ASSESSMENT OF PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS IN UZBEKISTAN

Abstract. The article presents the analysis and results of scientific research on agrotechnical problems of farming in Uzbekistan. The features of the state of various soils, the main directions for preserving and increasing their fertility are considered. The problems of optimizing the physical properties of soils, issues of the state of fertility of irrigated soils of the republic are covered. The results of a physical assessment of soils are presented. The results of studies on the physical and mechanical properties of irrigated soil are presented. Attention is paid to the problems of improving the basic physical and mechanical properties of soil.

Keywords: irrigated soils, physical properties, assessment, soil cultivation, humidity, bulk density, porosity, moisture reserves.

Введение

Физические свойства почвы, такие как объемный вес (плотность), удельный вес твердой фазы, общая пористость по объему, влажность, водопроницаемость влияют на ее плодородие. Неоднородность почвенного покрова создает значительные проблемы в процессе сельскохозяйственного производства, недооценка которых приводит к снижению почвенного плодородия и, как следствие, недобору урожая возделываемых сельскохозяйственных культур.

Вопросами изучения физических свойств почв занимались такие известные ученые, как П. А. Костычев, А. А. Измаильский, Г. Н. Высоцкий, П. В. Отоцкий и другие. Изучением различных физических свойств почв занимались также В. Р. Вильямс, П. С. Коссович, А. Ф. Лебедев, А. Г. Дояренко, Н. А. Качинский и другие ученые [1, 2, 3, 4].

При агрофизической оценке пахотных земель рекомендуется определить влажность, структурное состояние, плотность сложения почвы.

Почва является средой, обеспечивающей растения влагой и элементами питания. Поэтому от оптимальности ее свойств в значительной мере зависит урожайность выращиваемых культур.

Изучение физических свойств почв определяет стратегию ведения сельскохозяйственного производства, целенаправленного управления водным режимом, плодородием и водно-физическими свойствами путем их улучшения и снижения воздействия неблагоприятных свойств, таких как засоление, повышенная уплотненность и др. [5, 6].

Основная часть

Влажность почвы является одним из главных показателей агрофизического состояния почвы. Влажность почвы оказывает влияние на плотность и твердость почвы, на образование почвенных агрегатов. Влага в почве является одним из основных факторов плодородия. Именно запасами влаги в почве определяется уровень урожайности. От влагообеспеченности сельскохозяйственных культур зависит их продуктивность [7, 8]. Поэтому одной из важнейших задач, стоящих перед агропромышленным комплексом, является накопление и удержание почвенной влаги. Причем в первую очередь речь идет об осадках, выпадающих в осенне-зимний период, так как летние кратковременные осадки промачивают лишь верхний слой почвы и быстро испаряются.

Почвенный покров – основной природный ресурс, которым располагает Республика Узбекистан и от которого зависит развитие таких отраслей сельского хозяйства, как хлопководство, производство зерна, садоводство, овощеводство и т. д. Сохранение и рациональное использование влажности в условиях интенсивного сельскохозяйственного производства является приоритетным при планировании сельскохозяйственных севооборотов и использования техники. Потеря почвенной влаги происходит при уплотнении почвы под действием ходовых систем тяжелой техники при ее обработке. Кроме того, при уплотнении происходит избыточное физическое испарение [9]. Эти два вида потерь почвенной влаги наносят ущерб земледелию, а комплекс мер, направленных на оптимизацию использования механизмов, приводит к увеличению запасов продуктивной влаги в почве.

Следует отметить, что атмосферных осадков в Узбекистане для надежного земледелия недостаточно. По этой причине здесь введено поливное земледелие. При орошении требования к охране почв становятся еще более строгими, чем при неорошаемом земледелии, что необходимо для предотвращения ирригационной эрозии, подъема уровня грунтовых вод и засоления.

Считается, что в условиях Узбекистана пахотная с оборотом пласта и глубокая без оборота пласта обработки улучшают влагообеспеченность растений, уменьшают количество поливов, повышают эффективность использования влаги на 12–19 %. Это позволяет повысить продуктивность почвы при возделывании сельскохозяйственных культур. Одним из наиболее распространенных способов накопления влаги для всех регионов является задержание снега и талых вод. Для этого используются различные способы обработки, такие как глубокое рыхление, щелевание, чизелевание, вспашка вдоль и поперек полей и склонов.

Анализ показывают, что полевая влагемкость для большинства орошаемых почв суглинистого и глинистого механического состава составляет 20–25 % от веса. Эта величина может достигать до 25–30 % только лишь в верхних горизонтах с большим содержанием органического вещества. В песчаных и супесчаных почвах величина влагемкости не превышает 12–16 %.

Физическая спелость для пахотного горизонта глинистых и тяжелосуглинистых сероземов и такырных почв находится в интервале влажности 16–19 %, иногда 18–22 %, легко- и средне-суглинистых – 12–14 %, иногда 14–16 % от веса. При такой спелости обеспечивается хорошее крошение с высоким выходом агрономически ценных агрегатов размером от 0,25 до 0,10 мм до 55–70 % от общей навески, при этом почва не прилипает к рабочим и ходовым органам почвообрабатывающих машин, имеет минимальное удельное сопротивление [10].

Оценить структурное состояние почвы позволяет коэффициент структурности. Чем больше коэффициент структурности, тем лучше структура почвы. Отличным считается агрегатное состояние при коэффициенте структурности больше 1,5, хорошим – при диапазоне 1,5–0,67, неудовлетворительным – при коэффициенте меньше 0,67 [11].

Что касается плотности почвы, она является одной из важнейших ее характеристик. С ней связаны водный, воздушный, тепловой режимы (табл. 1).

Таблица 1. Оценка плотности почвы по Н. А. Качинскому [3]

Плотность почвы, г/см ³	Оценка плотности почвы
1,00	Почва вспушена или богата органическим веществом
1,00–1,10	Типичные величины для культурной свежеспаханной пашни
1,20	Пашня уплотнена
1,30–1,40	Пашня сильно уплотнена
1,40–1,60	Типичная величина для горизонтов различных почв

Почвы хлопковой зоны Средней Азии в зависимости от типа, мелиоративного состояния и давности освоения требуют применения различных технологий их обработки.

Разнообразие почвенно-климатических условий зоны возделывания хлопчатника требует дифференцирования приемов глубокой обработки почвы с учетом особенностей отдельных зон Республики Узбекистан.

Анализ показал, что в орошаемых почвах практически не встречаются горизонты с объемным весом менее 1,1 г/см³, удельным весом твердой фазы почвы менее 2,60 г/см³. Даже в верхних горизонтах целинных сероземов объемный вес колеблется с 1,1–1,2 г/см³, увеличиваясь до 1,43–1,45 г/см³. Плотность пустынных почв колеблется от 1,3–1,4 г/см³ до 1,45–1,50 г/см³. Профиль орошаемых 45–50-летней давности и более освоения староорошаемых сероземов и почв пустынной зоны уплотнен больше, чем пахотный горизонт. В пахотном горизонте плотность почвы составляет 1,35–1,50 г/см³, а в подпахотном – 1,45–1,65 г/см³ и более. Показатель удельного веса твердой фазы орошаемых почв варьирует от 2,65–2,70 г/см³, снижаясь до 2,60 г/см³ в верхних горизонтах орошаемых луговых, вышедших из-под люцерны. Общая пористость не превышает 60 %, в основном ее показатели находятся в пределах 45–55 % при оптимальной плотности почвы (1,2–1,3 г/см³).

Почвы хлопковых районов Узбекистана также обладают неодинаковым удельным сопротивлением, величина которого в почвах суглинистого механического состава (во время подъема зяби) обычно находится в пределах 50–70 кПа. В пересохших и уплотненных такырных почвах глинистого и тяжелосуглинистого механического состава удельное сопротивление достигает 90–100 кПа и выше. Наименьшими величинами удельного сопротивления (30–50 кПа) характеризуются легкосуглинистые сероземы, гидроморфные почвы и почвы пустынной зоны.

Почвы аридной зоны, куда входит основная часть почв хлопковой зоны, неодинаковы не только по типовым и подтиповым особенностям и условиям почвообразования, но и по культурному состоянию, условиям плодородия, механическому составу, общим физическим, водным, физико-механическим и технологическим свойствам [10].

В связи с этим орошаемые почвы хлопкосеющих районов Средней Азии, в отличие от черноземов, каштановых и других оструктуренных почв, в определенной мере характеризуются значительной уплотненностью профиля, меньшей общей и межагрегатной пористостью, слабой водопрочностью агрегатов, высокой липкостью, образованием корки, удельным сопротивлением и рядом других неблагоприятных физических свойств. С целью поддержания в этих почвах благоприятных условий по физическим, водным и воздушным свойствам для хлопчатника и других пропашных культур применяется ежегодная глубокая (до 0,4 м) вспашка.

Однако постоянная по глубине обработка, действие почвообрабатывающих машин и многократное орошение вызывают в этих почвах сильное уплотнение подпахотного горизонта почвы и способствуют образованию плотных прослоек. По мнению ряда исследователей, плотная прослойка образуется в результате вымывания поливной водой из пахотного горизонта коллоидов и дисперсных частиц [12].

Постановка задачи. Выведение почвы из обращения может привести к экологической катастрофе для всего человечества. Крупнейшей проблемой 21 века во всем мире была и остается проблема продовольственной безопасности.

Если в 1970 году в мире было 3,5 млрд человек, сейчас эта цифра превышает 7,5 млрд. Ожидается, что к 2050 году численность населения может достигнуть 10 млрд. Если в 1950 году пло-

родные почвы составляли 100 %, потребность в продуктах питания 80 %, то к 2050 году ожидается снижение плодородия почвы до 25 %, увеличение потребности в продуктах питания до 160 % [11].

Лишь 20,7 % из 20,2 млн га сельскохозяйственных земель в нашей стране орошаются. За последние 15 лет наличие орошаемых земель на душу населения снизилось на 24 % (с 0,23 га до 0,16 га).

Это является результатом роста населения, сокращения объемов водоснабжения и перевода земель сельскохозяйственного назначения в другие категории земельного фонда. Приблизительно 16,4 млн человек (49,4 % от общей численности населения) проживают в сельской местности страны (данные 2018 г.). Население в возрасте до 25 лет составляет 45,5 %, более 55 % населения моложе 30 лет.

Согласно прогнозам, в течение следующих 30 лет площади орошаемых земель могут сократиться еще на 20–25 %.

Учитывая высокую степень зависимости земледелия от ирригации, ситуация может ухудшиться с увеличением засухливости в результате изменения климата и продолжающегося применения традиционных методов полива.

Согласно прогнозу Института мировых ресурсов, к 2040 году Узбекистан может стать одной из 33 стран с наибольшим дефицитом воды. Снижение урожайности приведет к серьезным негативным последствиям для продовольственной безопасности и платежного баланса, что подчеркивает необходимость перехода к практике устойчивого управления водными ресурсами и ресурсосберегающих технологий при возделывании сельскохозяйственных культур.

Отсутствие механизма восполнения расходов на обеспечение водой для нужд сельского хозяйства сдерживает широкое внедрение водосберегающих технологий. Приоритетной задачей является обеспечение рационального и эффективного использования природных ресурсов, а также охраны окружающей среды при устойчивом развитии сельского хозяйства. Намечено использование эффективных технологий улучшения и обеспечения мелиорации орошаемых земель, повышения плодородия почв, снижения засоления почв и предотвращения его [13, 14].

Для достижения данных целей определены следующие задачи: уменьшение использования воды на гектар орошаемой площади на 20 % до 2030 года; совершенствование механизмов государственной поддержки местных производителей водосберегающих технологий; увеличение общей площади земель, орошаемых с использованием водосберегающих технологий [13, 14].

Методы. В ходе исследования изучалась динамика изменения физико-механических свойств различных почв орошаемого земледелия, используемых при производстве основных сельскохозяйственных продуктов. При анализе физико-механических свойств почв применялись методы математической статистики и математического анализа. Изучение данных физико-механических свойств почвы и мониторинг проводились за период основной обработки с 1980 по 2020 года.

Результаты. Проведенные анализы и результаты экспериментальных исследований дали возможность оценить физические свойства орошаемых почв Узбекистана (табл. 2), недооценка которых может приводить к негативным последствиям, а именно к снижению почвенного плодородия, увеличению засоления и повышению уплотненности, недобору урожая возделываемых сельскохозяйственных культур.

Таблица 2. Оценка физических свойств орошаемых почв Узбекистана

№	Показатели	Единица измерения	оценка		
			хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
1	Объемный вес (плотность)	г/см ³	1,20–1,35	1,30–1,45	> 1,5
2	Удельный вес твердой фазы	г/см ³	< 2,65	2,65–2,70	> 2,70
3	Общая пористость по объему	%	60	5–48	< 45
4	Влажность	%	20–25	15–20	< 15
5	Удельное сопротивление при обработке	кг/см ²	0,3–0,7	0,7–1,0	> 1,0
6	Состав водопрочных агрегатов (> 0,25 мм)	%	25–15	10–15	< 5
7	Состав агрономически ценных агрегатов размером от 0,25 до 0,10 мм	%	> 60	60–45	< 45
8	Водопроницаемость за 6 часов	мм	350–500	200–300	< 100

Проведенные эксперименты по изучению физико-механических свойств почв и анализ полученных результатов показали, что влажность и твердость почвы в периоды основной и предпосевной обработки почвы значительно различались по погодным условиям, агрофону, технологии посева и уборки предшествующих культур (рис. 1).

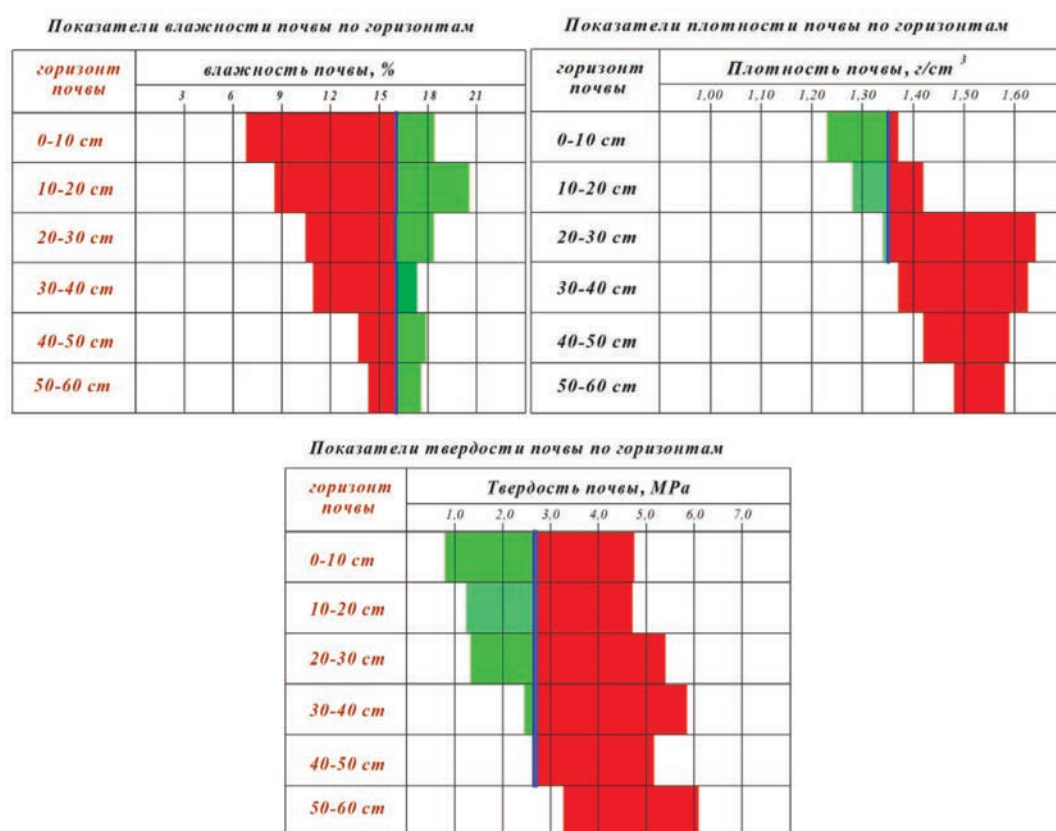


Рис. 1. Оценка влажности, плотности и твердости почвы по горизонтам почвы

Показатели влажности, плотности и твердости хлопковых полей в слое 0–10 см составляли соответственно в среднем 11,90 %, 1,27 г/см³ и 1,91 МПа; в слое 10–20 см – 13,91 %, 1,33 г/см³ и 1,52 МПа; в слое 20–30 см – 14,59 %, 1,42 г/см³ и 3,3 МПа и в среднем в слое 0–30 см – 13,15 % и 1,81 МПа. Показатель твердости почвы при ее низкой влажности и после воздействия тракторных колес оказался значительно выше, т.е. в 2–3 раза. Коэффициент внешнего трения существенно зависит от влажности почвы и гладкости контактной поверхности трения, в зависимости от которых он может увеличиваться до определенного значения влажности, а затем уменьшаться. Следует отметить, что значение коэффициента внешнего трения оказалось больше на негладкой контактной поверхности трения. Установлено, что значение коэффициента внутреннего трения почвы оказалось в 1,13–1,84 раза больше, чем у негладкой контактной поверхности трения и в 1,18–1,90 раза больше, чем у гладкой контактной поверхности трения. Уменьшение влажности привело к интенсивному увеличению сопротивления всевозможным деформациям и привело к увеличению показателей прочности и твердости почвы.

Выводы

Проведенные анализы и полученные результаты исследования дают нам основания считать, что орошаемые почвы Узбекистана неодинаковы не только по типовым и другим особенностям, условиям почвообразования. Они отличаются по культурному состоянию, механическому составу, физическим, водным, физико-механическим и технологическим свойствам. Им характерны значительная уплотненность профиля, меньшая общая и межагрегатная пористость, слабая водо-

прочность агрегатов, высокая липкость, образование корки и другие неблагоприятные физические свойства. Следовательно, в этих почвах постоянная по глубине обработка, действие почвообрабатывающих машин и многократное орошение вызвали сильное уплотнение подпахотного горизонта почвы и способствовали образованию плотных прослоек «плужная подошва».

Для того, чтобы предотвратить снижение и сохранить почвенное плодородие, необходимо в обязательном порядке применять целенаправленные меры по улучшению физических свойств почвы.

Решением проблемы является применение инновационных технологий на различных этапах обработки агрегатами полевого агрофона: технологии качественной поверхностной обработки, технологии посева, выращивания и уборки сельскохозяйственных культур, обеспечивающие целенаправленное обеспечение роста и развития корневой системы, умеренное обеспечение почвенной влаги, повышение водопроницаемости, плодородия, влагозапаса и снижение засоления. Чтобы не допустить испарения влаги верхнего слоя после обработки, необходимо провести обработку почвы по закрытию влаги путем выравнивания поверхности обработки, уменьшающего испарение влаги.

При глубокой обработке перед осенней вспашкой и культивацией технических культур необходимо добиваться максимального выравнивания поверхности почвы и создания мелкокомковатого поверхностного слоя. Применение таких мероприятий позволит сохранить в почве больше влаги, получить дружные всходы возделываемых культур. При возделывании сельскохозяйственных культур в условиях поливного земледелия основной целью является использование рациональных агротехнических приёмов, которые приводят к увеличению запасов влаги в почве.

Список использованных источников

1. Гончаров, В. М. Проблема агрофизической оценки комплексного почвенного покрова / В. М. Гончаров // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 560–564.
2. Комов, И. М. О земледелии / И. М. Комов. – Москва, 1789. – 112 с.
3. Качинский, Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М. : Высшая школа, 1970. – Часть II. Водно-физические свойства и режимы почв. – 363 с.
3. Физические и водно-физические свойства почв / сост. В. А. Рожков [и др.]. – М. : МГУЛ, 2002. – 74 с.
4. Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/wufmas/05-98.
5. Иванова, Н. А. Влияние водного режима почв на продуктивность сельскохозяйственных культур / Н. А. Иванова, И. В. Гурина, С. Ф. Шемет // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 4. – С. 124–135.
6. Кузина, Е. В. Ресурсосберегающие способы и сроки обработки почвы при возделывании зерновых культур в равнинных условиях Среднего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Е. В. Кузина – Саратов, 2006. – 21 с.
7. Немцев, С. Н. Сохранение плодородия почв в Ульяновской области / С. Н. Немцев, М. М. Сабитов, С. Н. Никитин // Земледелие. – 2009. – № 7. – С. 12–13.
8. Игамбердиев, А. К. Совершенствование технологического процесса глубокой обработки почвы и обоснование параметров рабочих органов агрегата : монография / А. К. Игамбердиев, Н. А. Холикова. – Ташкент, 2020. – 149 с.
9. Игамбердиев, А. К. Обоснование технологии и технических средств для глубокого рыхления почв при производстве хлопчатника : дис. ... канд. тех. наук / А. К. Игамбердиев. – Мелитополь, 1988. – 241 с.
10. Игамбердиев, А. К. Обоснование параметров рабочих органов культиватора по качеству обработки почвы / А. К. Игамбердиев, Г. Ф. Усманова // Ирригация ва мелиорация. – 2020. – № 1 (19). – С. 49–52.
11. Рациональная технология глубокого рыхления почвы / В. А. Сергиенко [и др.] // Хлопководство. – 1982. – Выпуск 10. – С. 17–20.
12. Указ Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2019 года № ПФ-5853 «Об утверждении стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы».
13. Указ Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № ПФ-6024 «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы».
14. Изменение плотности почвы при различных технологиях обработки почвы / В. Б. Рыков [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 1 (21). – С. 38–43.
15. Tillage depth effects on soil physical properties, sugarbeet yield, and sugarbeet quality / J. D. Jabro [et al.] // Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41:908–916, 2010.
16. Global Water Partnership [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.gwp.org> > idmp-guide-moldova-ru.

А. Н. Перепечаев, Е. В. Кислов, А. И. Тарима

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

ВЫБОР РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУШИЛЬНОЙ МАШИНЫ МСТ-2

Аннотация. В статье приводится алгоритм расчета режимов работы сушильной машины МСТ-2, при которых достигается оптимальная влажность льнотресты, позволяющая получить максимальный выход длинного льноволокна.

Ключевые слова: лен, льнотреста, влажность льнотресты, технологическая влажность, сушильная машина, параметры сушки, производительность, технология.

A. N. Perepechaev, E. V. Kislov, A. I. Tarima

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

SELECTION OF OPERATING MODES OF DRYING MACHINE MCT-2

Abstract. The article presents an algorithm for calculating the operating modes of the MCT-2 dryer, in which the optimal moisture content of flax straw is achieved, which allows obtaining the maximum yield of long flax fiber.

Keywords: flax, flax straw, flax straw moisture, technological moisture, dryer, drying parameters, productivity, technology.

Введение

На льнозаводах республики важнейшим звеном технологического процесса является подсушка тресты, от нее в значительной степени зависит качество дальнейшей ее переработки.

Поступающее в машины мяльно-трепального агрегата льняное сырье должно обладать определенными физико-механическими свойствами. В значительной степени это достигается доведением влажности стеблей до определенных оптимальных значений, в результате чего улучшаются условия для его дальнейшей переработки.

Технологическими параметрами, определяющими ход процесса сушки, являются: температура, скорость, направление движения и влажность агента сушки, плотность загрузки материала на транспортере, время сушки и др. Технологическим параметром, позволяющим вести контроль за процессом сушки, является влажность материала (тресты), которая зависит от условий уборки, мест хранения, транспортировки и колеблется в достаточно широком диапазоне.

Основная часть

Существует влажность, при которой лубоволокнистые материалы оптимально перерабатываются, то есть получается качественный продукт при высоком его выходе. Такая влажность называется технологической, и для тресты каждого типа она различная. Значение влажности для льнотресты, заготовленной в рулоны, не должно превышать по стандарту 23 % [2]. Технологическая влажность льнотресты, поступающей на переработку, должна составлять от 12 до 16 % [4] в зависимости от ее типа. Для доведения влажности до необходимой используют машины СКП-1-10ЛУ1.

В настоящее время ряд льнозаводов республики оснащены линиями выработки длинного льноволокна производства бельгийской фирмы «DEPOORTERE», в составе которых сушильные машины не предусмотрены. Отсутствие их в случаях заготовки тресты повышенной в сравнении

с требованиями стандарта влажности приводит к снижению технико-экономических показателей работы льнозавода, снижению выхода длинного и качества короткого волокна.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана сушильная машина МСТ-2 для подсушки льнотресты до технологической влажности. Машина может быть использована как для существующих линий выработки длинного льноволокна, так и для линий фирмы «DEPOORTER».

К основным конструктивным особенностям новой машины относятся наличие механизма транспортировки льнотресты с частотным регулированием скорости, частотного регулирования числа оборотов выбросного вентилятора, системы автоматического регулирования подачи теплоносителя.

В процессе эксплуатации сушильной машины МСТ-2 возникла необходимость настройки ее на оптимальные режимы работы. Выбор оптимального технологического режима сушки льняной тресты во многом определяется производительностью агрегированного с сушильной машиной оборудования в линиях получения длинного льноволокна, а также исходной влажностью льнотресты.

Основными регулируемыми параметрами сушильной машины МСТ-2, обеспечивающими производительность линии выработки длинного льноволокна и требуемую влажность льнотресты на выходе из машины, являются скорость конвейера и параметры сушильного агента (воздуха). Последние поддерживаются автоматически при задании их на пульте управления. Результатирующими параметрами работы сушильной машины являются ее производительность и влажность льнотресты на выходе из машины.

Производительность сушильной машины задается размотчиком рулонов и рассчитывается по формуле:

$$P = 60qV_k, \quad (1)$$

где P – производительность линии, кг/ч; q – линейная плотность слоя льнотресты в рулоне, кг/м; V_k – скорость выносного конвейера размотчика, м/мин.

Основным параметром сушки льнотресты, исходя из которого определяется скорость конвейера сушильной машины, является ее продолжительность. Скорость конвейера рассчитывается по формуле:

$$V_k = \frac{L}{\tau}, \quad (2)$$

где L – длина сушильного коридора, м; τ – продолжительность сушки, мин.

Для расчета продолжительности сушки воспользуемся эмпирической формулой Н. Д. Хомуцкого [5], имеющей вид:

$$\tau = \frac{90P_k^{0,374} d_{cm}^{0,514}}{v_1^{0,48} \rho_{св} \Delta d_1} \left[0,475 \left(\frac{1}{(U_2 - U_p)^{0,32}} - \frac{1}{(U_1 - U_p)^{0,32}} \right) + 0,488(U_1 - U_2) \right] K_{np}, \quad (3)$$

где P_k – плотность загрузки конвейера, кг/м; d_{cm} – средний диаметр стеблей, мм; v_1 – скорость воздуха на входе в слой льнотресты, м/с; $\rho_{св}$ – плотность сухого воздуха на входе в слой тресты, кг/м³; Δd – потенциал сушки воздуха на входе в слой тресты, г/кг; U_1, U_2, U_p – начальное, конечное и равновесное влагосодержание льнотресты (отношение массы влаги к массе абсолютно сухой льнотресты), кг/кг; K_{np} – поправочный коэффициент на производственные условия, $K_{np} = 1,4-2,0$.

Формула (3) включает параметры, часть из которых определяется по результатам лабораторных анализов льнотресты, часть – расчетными методами.

Плотность загрузки конвейера определяется путем взвешивания фрагмента слоя льнотресты длиной один метр, снятого с конвейера сушильной машины.

Средний диаметр стеблей в слое определяется органолептически или при помощи стеблемера С-2.

Скорость воздуха на входе в слой льнотресты зависит от частоты вращения вентиляторов и замеряется опытным путем. В машине МСТ-2 она составляет в среднем 1,3 м/с.

Плотность сухого воздуха на входе в слой льнотресты рассчитывается по известной [5] формуле:

$$\rho_{св} = \frac{P_{\sigma} - 0,378P_{нн1}\phi_1}{287(273,15 + t)}, \quad (4)$$

где P_{σ} – барометрическое (атмосферное) давление, равное 101325 Па; $P_{нн1}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара в воздухе на входе в слой льнотресты, Па; ϕ_1 – относительная влажность воздуха на входе в слой тресты, определяется по показаниям психрометра, установленного в последней зоне сушки; t – температура воздуха на входе в слой материала, °С.

Парциальное давление насыщенного пара в воздухе в общем случае определяется по таблицам водяного пара в состоянии насыщения [6]. Для наших расчетов предпочтительно использовать формулу Фильнея М. И. [5], являющуюся аппроксимацией табличных данных:

$$P_{нн1} = 133,3 \cdot 10^{\frac{156+8,12t}{236+t}}, \quad (5)$$

Температура воздуха t определяется как средняя для зон с включенными вентиляторами по показаниям термометров:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (6)$$

где N – количество включенных вентиляторов, шт.

Потенциал сушки рассчитывается по формуле:

$$\Delta d = d_{нв} - d_1, \quad (7)$$

где $d_{нв}$, d_1 – влагосодержание насыщенного воздуха и воздуха на входе в слой тресты соответственно, (г/кг);

$$d_1 = \frac{622\phi_1 P_{нн1}}{P_{\sigma} - \phi_1 P_{нн1}}. \quad (8)$$

В общем случае $d_{нв}$ определяется по I-D диаграмме влажного воздуха. Для автоматизации расчетов получили математическую зависимость для ее расчета. Известно, что процесс испарения влаги из материала и насыщения ею воздуха является адиабатическим, то есть происходит при постоянной энтальпии:

$$I_1 = I_{нв}, \quad (9)$$

где I_1 , $I_{нв}$ – энтальпия сухого воздуха на входе в слой тресты и насыщенного воздуха соответственно, кДж/кг.

Энтальпия воздуха рассчитывается по формуле [5]:

$$I = 1,0t + 0,001d(2500 + 1,97t). \quad (10)$$

Тогда выражение (9) примет вид:

$$1,0t + 0,001d_1(2500 + 1,97t) = 1,0t_{нв} + 0,001d_{нв}(2500 + 1,97t_{нв}), \quad (11)$$

где $t_{нв}$, $d_{нв}$ – соответственно температура (°С) и влагосодержание (г/кг) насыщенного воздуха.

Выражая из (11) $t_{нв}$, получим:

$$t_{нв} = \frac{1000t + 2500(d_1 - d_{нв}) + 1,97td_1}{(1000 + 1,97d_{нв})}, \quad (12)$$

Зависимость парциального давления пара для влажного воздуха от давления пара насыщенного воздуха имеет вид:

$$P_n = \frac{\phi P_{нв}}{100}. \quad (13)$$

Для насыщенного воздуха $\phi = 100$, тогда:

$$P_n = P_{нв}. \quad (14)$$

Применяя формулу (5) для насыщенного воздуха, получим:

$$P_{нв} = 133,3 \cdot 10^{\frac{156+8,12t_{нв}}{236+t_{нв}}}. \quad (15)$$

Зависимость давления пара от влагосодержания насыщенного воздуха имеет вид:

$$P_{нв} = \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}}. \quad (16)$$

Подставляя выражения (15) и (16) в (14) и преобразуя, получим зависимость температуры $t_{нв}$ насыщенного воздуха от его влагосодержания $d_{нв}$.

$$t_{нв} = \frac{2361g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}} - 657,50}{10,25 - 1g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}}}. \quad (17)$$

Приравняв правые части этого выражения и выражения (11), получим зависимость влагосодержания насыщенного воздуха от влагосодержания и температуры влажного воздуха $d_{нв} = d_{нв}(d_1, t_1)$ в неявном виде:

$$\frac{2361g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}} - 657,50}{10,25 - 1g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}}} - \frac{1000t + 2500(d_1 - d_{нв}) + 1,97td_1}{1000 + 1,97d_{нв}} = 0. \quad (18)$$

Начальное U_1 и конечное U_2 влагосодержание льнотресты в формуле (3) рассчитываются исходя из соответствующей влажности льнотресты W_1 и W_2 по зависимости $U = W / 100$. W_1 и W_2 определяются по результатам лабораторного анализа влажности льнотресты

Математическую зависимость равновесной влажности льнотресты U_p от относительной влажности воздуха ϕ_1 находили аппроксимацией табличных значений этой зависимости (рис. 1), приведенных в [6].

С достоверностью $R^2 = 9,9993$ табличные значения описываются уравнением

$$U_p = 5 \cdot 10^{-7} \phi_1^3 - 5,2 \cdot 10^{-5} \phi_1^2 + 3,17 \cdot 10^{-3} \phi_1 - 4,255 \cdot 10^{-3}. \quad (19)$$

С целью проверки соответствия расчетных оптимальных значений скорости конвейера сушильной машины в зависимости от исходной и конечной влажности льнотресты фактическим их значениям проведено их сравнение с результатами, полученными при приемочных испытаниях на филиале «Кормянский льнозавод» ОАО «Гомельлен» опытного образца машины сушильной МСТ-2, установленного в линии выработки длинного льноволокна «DEPOORTERE».

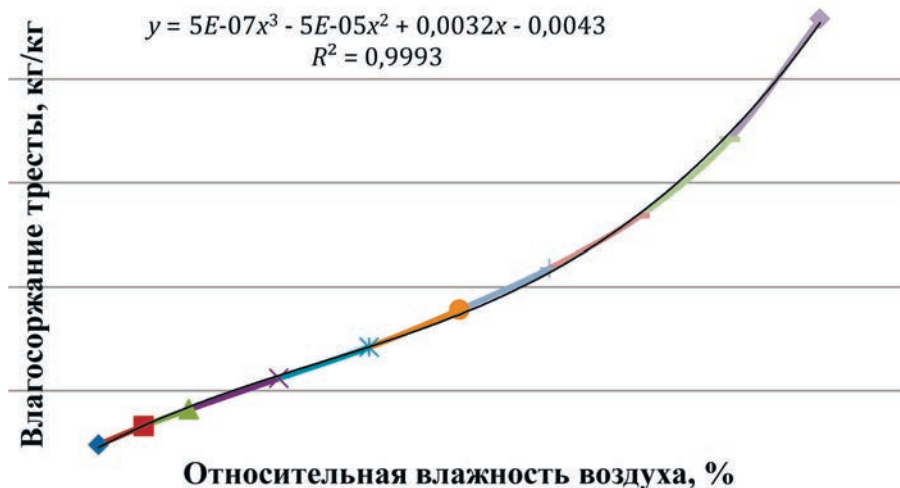


Рис. 1. Аппроксимация зависимости влагосодержания льнотресты от влажности воздуха

Выводы

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана машина сушильная для льна МСТ-2, предназначенная для подсушки льнотресты в линии выработки длинного льноволокна, для оснащения в первую очередь линий зарубежного производства. Данное оборудование должно быть освоено и внедрено на льнозаводах страны.

Полученные в расчетах с применением программы значения скорости конвейера с высокой вероятностью подтверждают их корреляцию с фактическими значениями скорости конвейера. Рассчитанный коэффициент корреляции составил 0,96, что говорит о возможности использования программы для оптимизации режимов работы сушильной машины МСТ-2.

Список использованных источников

1. Треста льняная. Требования при заготовках : СТБ 1194-2007. – Введ. 01.06.2008. – Минск : БелГИСС, 2008. – 20 с.
2. Отраслевой регламент. Первичная обработка льна. Типовые технологические процессы. – Устье, 2015. – 28 с.
3. Суметов, В. А. Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов: учебник для вузов / В. А. Суметов. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 336 с.
4. Справочник по заводской первичной обработке льна / И. Я. Шаров [и др.] ; под. общ ред. В. Н. Храмова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 512 с.
5. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко : учеб. пособие. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 1971. – 460 с.

А. Н. Перепечаев, А. И. Тарима, С. П. Колешко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

**ПРОВЕДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ,
ОПИСЫВАЮЩИХ РАЦИОНАЛЬНУЮ СВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ СО СВОЙСТВАМИ ЛЬНОТРЕСТЫ**

Аннотация. В статье рассматриваются технологические параметры работы трепальной машины и их влияние на выход длинного льноволокна. Рассматривается влияние исходных параметров льнотресты и их взаимодействие с режимами работы трепальной машины.

Ключевые слова: лен, льноволокно, льнотреста, трепание, длинное льноволокно, трепальные барабаны, частота вращения, исходная влажность, отделяемость.

A. N. Perepechaev, A. I. Tarima, S. P. Koleshko

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

**CARRYING OUT THEORETICAL STUDIES DESCRIBING THE RATIONAL
COMMUNICATION OF TECHNOLOGICAL AND DESIGN PARAMETERS OF THE WORKING
BODIES OF A BREAKING MACHINE WITH THE PROPERTIES OF FLAX TRUST**

Abstract. The article discusses the technological parameters of the scutching machine and their influence on the output of long flax fiber. The influence of the initial parameters of the flax straw and their interaction with the operating modes of the scutching machine is considered.

Keywords: flax, flax fiber, flax straw, scutching, long flax fiber, scutching drums, rotation frequency, initial moisture content, separability.

Введение

В первичной переработке льна приоритетными являются задачи повышения выхода длинного и качества как длинного, так и короткого льноволокна. Анализ технико-экономических показателей работы льнозаводов республики показывает, что эти показатели практически для всех льнозаводов не достигают их нормативных значений. В результате этого предприятия недополучают значительные объемы выручки.

Задачей исследования процесса трепания на данном этапе является установление теоретических положений, обеспечивающих при выборе технологических и конструктивных параметров машины замену интуитивных, априорных методов, на алгоритм, основанный на количественном анализе взаимодействия рабочих органов машины с материалом заданных свойств. Решение поставленной задачи должно описывать закономерности и существенные связи процесса трепания и представлять собой систему идей, принципов, обобщающих научный и практический опыт.

Основная часть

Важным фактором, влияющим на выход длинного волокна, является рациональный и обоснованный подбор параметров рабочих органов.

Процесс трепания – заключительный процесс в цепи технологических операций производства длинного волокна. В процессе трепания проявляются качественные результаты предыдущих про-

цессов и определяются такие технико-экономические показатели работы мьяльно-трепального агрегата, как выход и номер длинного волокна. Задача процесса трепания – очистка волокна от костры при сохранении природных длинноволокнистых комплексов стебля – решается ударными, скользящими воздействиями бильных планок трепальных барабанов на обрабатываемый материал.

Процесс трепания осуществляется на трепальных машинах. Для существующих трепальных машин характерен неизменный принцип работы: рабочие воздействия на материал посредством бильных планок трепальных барабанов, удерживание и перемещение материала зажимно-транспортным механизмом (зажимным конвейером). Схема функциональная трепальных машин для обработки тресты российского производства показана на рис. 1.

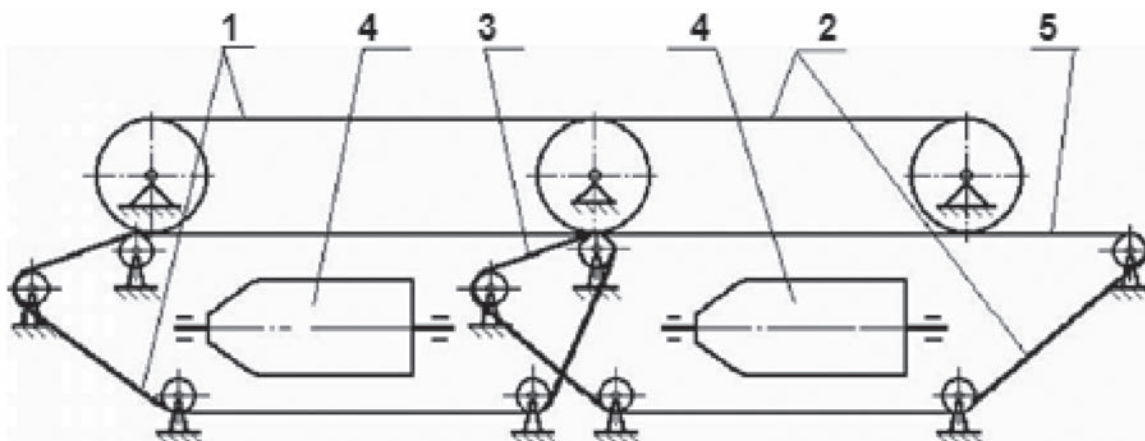


Рис. 1. Функциональная схема трепальных машин:

1, 2 – зажимной конвейер; 3 – механизм перехвата; 4 – трепальные барабаны; 5 – механизм съема волокна

В работах [1], [2] предложена классификация параметров, характеризующих процесс трепания, через параметры:

- входные;
- выходные;
- регулирующие;
- внутренние.

По классификации автора входными параметрами процесса трепания являются производительность мьяльно-трепального агрегата и свойства сырца (обработанной в мьяльной машине льнотресты), к которым относятся:

- длина сырца;
- массовая доля костры;
- прочность волокон, содержащихся в сырце;
- линейная плотность слоя сырца;
- толщина слоя;
- плотность единицы длины пряди;
- сила связи волокна с древесиной (кострой);
- коэффициент сопротивления перемещению по кромке бильной планки.

К регулирующим параметрам автором отнесены режимы работы трепальной машины – скорость перемещения слоя сырца зажимным конвейером и угловая скорость вращения трепальных барабанов; к выходным – выход длинного волокна и массовая доля костры в полученном длинном волокне.

К внутренним параметрам трепальной машины автором отнесены конструктивные особенности трепальной машины:

- количество трепальных секций;
- количество бил на барабане;
- радиус трепального барабана;

- длина барабана;
- расстояние между осями барабанов;
- угол наклона плоскости била к радиусу;
- радиус кромки бильной планки;
- средства дифференциации процесса трепания;
- конструктивные особенности била и подбильной решетки.

Из входных параметров контролируемым и управляемым является только производительность мяльно-трепального агрегата, являющаяся одним из основных показателей работы трепальной машины и мяльно-трепального агрегата в целом. Поэтому ее учет необходим как в научных исследованиях, так и при анализе результатов работы трепальной машины в практических целях.

Относящиеся к входным параметрам свойства сырца определяются в первую очередь свойствами поступающего в обработку слоя и самой перерабатываемой тресты. Кроме того, относящиеся к характеристикам сырца свойства трудно определимы в условиях непрерывно протекающего процесса переработки льнотресты в мяльно-трепальном агрегате. Поэтому их использование для подбора технологического режима весьма проблематично в современных условиях, а сфера их использования ограничивается только теоретическими исследованиями.

В реальных условиях подбор технологического режима процесса трепания осуществляется с помощью регулирующих параметров – частоты вращения трепальных барабанов и линейной скорости перемещения слоя на основании свойств льнотресты, основными из которых являются длина стеблей и показатели отделяемости и прочности. Ниже приведены некоторые результаты подобных исследований.

Внутренние параметры являются постоянными для конкретной трепальной машины. Определение их значений и использование необходимо при проектировании новых или модернизации существующих трепальных машин. Как правило, большинство из них рассчитываются по аналитическим зависимостям или принимаются на основе результатов эксплуатации существующего оборудования.

Выше отмечалось, что регулируемыми параметрами процесса трепания являются частота вращения барабанов и скорость зажимного конвейера. Для конкретной трепальной машины от частоты вращения барабанов зависит интенсивность воздействий бильных планок на материал, а от совокупности частоты вращения барабанов и скорости зажимного конвейера – количество воздействий K , получаемых материалом за время обработки, которое рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{n_6 Z_1 Z_2 L_6}{v_{тр}}, \quad (1)$$

где n_6 – частота вращения трепальных барабанов, мин⁻¹; Z_1 – число трепальных барабанов, участвующих в обработке одного конца горсти, шт.; Z_2 – количество бильных планок на барабанах, шт.; L_6 – рабочая длина бильной планки барабана, м; $v_{тр}$ – скорость зажимного конвейера, м/мин.

Величины Z_1 , Z_2 , L_6 постоянные для машины данной конструкции, а n_6 , $v_{тр}$ могут изменяться в зависимости от свойств перерабатываемой тресты – прочности и отделяемости. Нахождение их значений, обеспечивающих максимальный выход длинного льноволокна при лучшей его очистке, является задачей оптимизации работы трепальной машины. Это возможно только экспериментальным путем, что будет выполнено в ходе последующих исследований.

В работе [3] получены математические зависимости, описывающие влияние влажности льнотресты, частоты вращения трепальных барабанов и количества воздействий на сырец в процессе трепания на выход длинного волокна и содержание в нем костры, имеющие вид:

$$B(W, n, K) = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot n + a_3 \cdot K + a_4 \cdot W \cdot n + a_5 \cdot W \cdot K + a_6 \cdot n \cdot K + a_7 \cdot W^2 + a_8 \cdot n^2 + a_9 \cdot K^2, \quad (2)$$

$$Z(W, n, K) = b_0 + \frac{b_1}{W} + \frac{b_2}{n} + \frac{b_3}{K^2} + \frac{b_4}{n^2} + \frac{b_5}{W \cdot K} + \frac{b_6}{K \cdot n} + \frac{b_7}{W \cdot n} + b_8, \quad (3)$$

где B – выход длинного волокна, %; W – влажность тресты, %; n – частота вращения трепальных барабанов, мин⁻¹; K – количество воздействий, ед.; Z – содержание костры в длинном волокне, %; $a_0 \dots a_9, b_0 \dots b_8$ – эмпирические константы.

Предложен также алгоритм поиска оптимального режима работы трепальной машины в зависимости от влажности поступающей льнотресты. Однако разработанный алгоритм требует непрерывного контроля влажности слоя льнотресты, что в настоящее время трудноосуществимо.

В работе [4] предложена методика оперативного видеоконтроля варьирования технологических свойств льнотресты и автоматический выбор соответствующего режима мяльно-трепального агрегата. Режим переработки льнотресты устанавливается по отделяемости при условии, что влажность тресты не превышает 15–20 %. В зависимости от этого показателя изменяются число частоты вращения барабанов трепальной машины, скоростные параметры зажимного конвейера, мяльной и слоеформирующих машин.

Недостатком предложенной методики является то, что она базируется на использовании контроля только одного показателя качества льнотресты – отделяемости – и использовании для выбора режима ранее разработанных рекомендаций. Оценки по конечному результату и корректировки режима не предусмотрено.

В работе [5] приводится обоснование возможности организации автоматизированной системы контроля следующих основных параметров льнотресты:

- влажности;
- отделяемости;
- пригодности слоя к трепанию.

Предлагается определять показатель пригодности к трепанию в зависимости от дезориентации и среднего угла положения стеблей в слое льнотресты. Дезориентация и средний угол положения стеблей при этом определяются с использованием обработки видеоизображений с применением технологий распознавания образов. Для определения влажности и отделяемости предложено использовать методы инфракрасной спектроскопии.

Для оптимизации параметров трепания разработана нейронная сеть. Формирование выборки для нейронной сети проводилось на основе экспериментальных данных предыдущих исследователей, данных ЦНИИЛВ и рекомендаций в справочной литературе. На основании проведенного анализа установлены границы нечетких множеств и правила соответствия между группами параметров льнотресты и группами режимов обработки.

С помощью разработанной гибридной нейронной сети была получена графическая интерпретация зависимости количества воздействий и частоты вращения трепальных барабанов от двух возмущающих факторов: влажности и отделяемости льнотресты (рис. 2). Скорость транспортирования сырца определяется из полученных значений числа воздействий и частоты вращений барабанов.

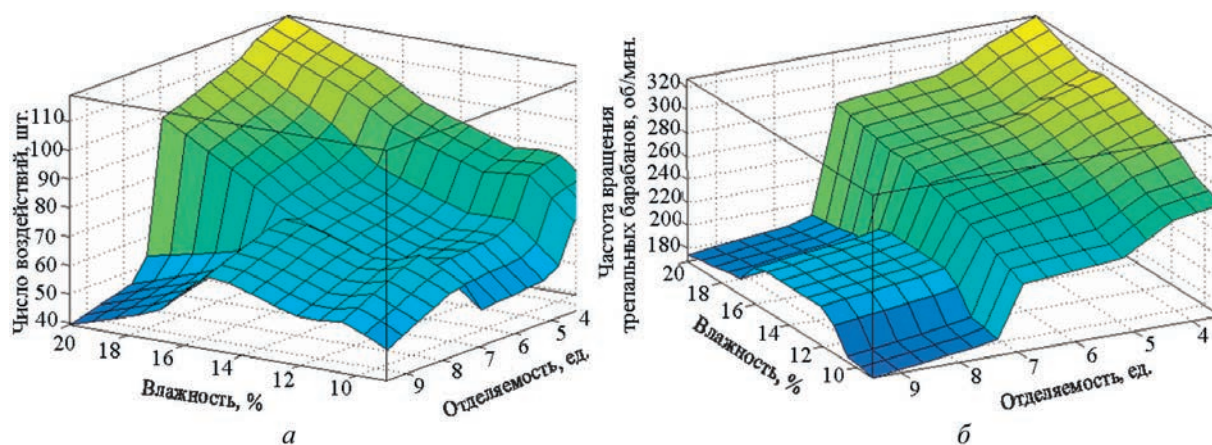


Рис. 2. Зависимости числа воздействий и частоты вращения трепальных барабанов от влажности и отделяемости волокна: a – число воздействий; b – частота вращения

В работе [6] приводится разработка алгоритма управления режимами обработки льнотресты в трепальной машине с учетом контроля ее влажности, отделяемости и прочности методом инфракрасной спектроскопии. При разработке алгоритма управления режимами обработки льнотресты в качестве прототипа используется нейронная сеть, учитывающая три возмущающих фактора – влажность, отделяемость и прочность льнотресты, и ставящая им в соответствие 27 групп уточненных режимов обработки льнотресты.

Разработанная нейронная сеть позволяет получить графическую интерпретацию зависимости количества воздействий и частоты вращения трепальных барабанов от совместного влияния следующих возмущающих факторов: влажность и прочность, отделяемость и прочность льнотресты. Скорость транспортирования сырца определяется из полученных значений числа воздействий и частоты вращений барабанов.

Заключение

Совершенствованием процесса трепания занимались многие исследователи. Создана солидная теоретическая основа, обеспечивающая возможность для совершенствования и дальнейшего развития машиностроения в этой области. Большинство проанализированных научно-исследовательских работ заканчивались либо на стадии теоретического и экспериментального обоснования различных параметров трепальных машин, либо на стадии создания лабораторных установок.

Теоретические исследования процесса трепания заключались в анализе и обосновании:

- диаметра и конусности трепальных барабанов;
- количества билльных планок;
- угла винтовой подъема винтовой линии бил барабанов;
- взаимодействия одного или двух бил трепальных барабанов, одновременно воздействующих на прядь;
- скоростей и ускорений прядей в переносном и относительном движениях;
- сил (инерционных, трения, аэродинамических, реактивных, натяжения, давления пряди на кромку).

В целом разработанные методики и результаты проведенных теоретических исследований позволяют в значительной мере проводить проектные расчеты и анализ принимаемых при проектировании решений. Однако следует отметить, что проведенные теоретические исследования по расчету сил, возникающих при взаимодействии прядей с рабочими органами, позволяют только косвенно оценить результаты этого взаимодействия, которые в полной мере выражаются в результатах переработки льнотресты – выходе и качестве длинного волокна. Этот результат можно получить только при экспериментальных исследованиях.

Список использованных источников

1. Дьячков, В. А. Теоретическое обоснование технологических и конструктивных параметров машин для производства длинных волокон льна : дис. ... докт. техн. наук : 05.19.02 / В. А. Дьячков. – Кострома, 2007. – 230 с.
2. Дьячков, В.А. Проектирование машин для первичной обработки лубяных волокон : учеб. пособие / В. А. Дьячков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2006. – 208 с.
3. Катков, А. А. Управление режимом работы мяльно-трепального агрегата в зависимости от влажности льнотресты : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / А. А. Катков. – Кострома, 2008. – 168 с.
4. Петров, С. С. Оптимизация режимов технологического процесса первичной обработки льнотресты за счет применения комплекса автоматического контроля технологических параметров льнотресты / С. С. Петров, В. Г. Дроздов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 4С. – С. 37–41.
5. Ефремов, А. С. Оптимизация процесса трепания при обработке льнотресты в зависимости от ее влажности и отделяемости : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / А. С. Ефремов. – Кострома, 2008. – 166 с.
6. Мозохин, А. Е. Совершенствование метода контроля технологических свойств льняной тресты с использованием инфракрасной спектроскопии : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / А. Е. Мозохин. – Кострома, 2014. – 158 с.

Л. В. Мисун¹, В. В. Азаренко², Ал-й Л. Мисун¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM_90@mail.ru

²Президиум Национальной академии наук Беларуси

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы безопасности и причины пожаров на мобильной сельскохозяйственной технике, предложено патентное техническое решение пожаротушения на кормоуборочном комбайне.

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн, эксплуатация, безопасность, возгорание, пожаротушение, техническое решение.

L. V. Misun¹, V. V. Azarenko², Al-i L. Misun¹

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM_90@mail.ru

²Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

ORGANIZATIONAL MEASURES AND TECHNICAL SOLUTIONS TO IMPROVE THE PRODUCTION AND FIRE SAFETY OF FORAGE HARVESTERS

Abstract. The article deals with safety issues and causes of fires on mobile agricultural machinery, a patent technical solution for fire extinguishing on a forage harvester is proposed.

Keywords: forage harvester, operation, safety, ignition, fire extinguishing, technical solution.

Введение

Повышение производственной безопасности и предупреждение пожаров на кормоуборочных комбайнах – важнейшие задачи в период уборки кормовых культур. В случаях непринятия своевременных мер по организации безопасной эксплуатации, предупреждению и тушению пожаров кормоуборочной техники возможно быстрое распространение огня с нанесением значительных материальных потерь. Так, например, согласно официальным данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [1], в сельскохозяйственных организациях в период проведения заготовки кормов от пожаров на кормоуборочных комбайнах в 2021 году уничтожено 14 единиц техники, в том числе 13 кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Палессе», из них пять на полях Минской области, четыре – Витебской, по два кормоуборочных комбайна – в Брестской и Гомельской областях и один – в Гродненской.

В целях повышения производственной и пожарной безопасности кормоуборочных комбайнов необходимо постоянно следить за их техническим состоянием, наличием изолирующих колпачков на клеммах генератора, аккумуляторной батареи (АКБ), стартера, датчиков и другого электрооборудования, а также защиты электропроводов в местах возможных механических, тепловых и химических повреждений, проводить очистку искрогасителей от нагара, оборудовать топливные

баки визуальными указателями. При этом не забывать, что наиболее распространенными причинами пожаров на кормоуборочных комбайнах являются:

- возгорание в моторном отсеке из-за замыкания силового провода аккумулятора на металлические детали корпуса с последующим воспламенением его изоляции;
- неисправность электрического оборудования, возникающая, как правило, вследствие его старения, коррозии, механических повреждений (перетиранье изоляции в местах ее соприкосновения с гранями металлических узлов и деталей кормоуборочного комбайна);
- образование легкогорючего слоя на узлах и деталях кормоуборочного комбайна, состоящего из мелких растительных остатков, топлива, масла в результате их подтекания из-за неплотности соединений в системе питания, смазки и гидрооборудования;
- техническая неисправность кормоуборочного комбайна и нарушение правил пожарной безопасности при его эксплуатации;
- неосторожное обращение с огнем;
- нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ.

Результаты исследований

Эксплуатация кормоуборочных комбайнов при повышенных нагрузках, несоблюдении требований производственной безопасности может стать причиной возникновения внештатной ситуации с возгоранием проводки или элементов системы питания двигателя. Последствиями подобных ситуаций могут быть сгоревший комбайн и охваченные пожаром прилегающие сельскохозяйственные территории. Ущерб в таких случаях исчисляется миллионами рублей. Следует отметить, что возгорание в подкапотном пространстве мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) часто удается устранить с помощью ручных огнетушителей, но даже в этом случае МСХТ может получить значительные повреждения. Дело в том, что возгорание должен заметить оператор МСХТ, остановить технику, снять огнетушитель со штатного места, дойти до очага возгорания и активировать средство пожаротушения. На эти действия у оператора МСХТ уходит несколько минут, в течение которых огонь может перекинуться на другие узлы МСХТ и на поле. Кроме того, оператор МСХТ при обнаружении обильного дыма, как правило, физически не способен осуществить подачу тушащей струи порошка в подкапотное пространство. Этому мешает перегретый корпус, обильное задымление и сложность передвижения в условиях пожара. Поэтому огнетушитель, в первую очередь, необходим для обеспечения безопасности самого оператора МСХТ. Что же касается повышения пожаробезопасности непосредственно МСХТ, рассмотрим событие A – возникновение загорания на МСХТ. Это событие является следствием того, что не выполнены требования пожарной безопасности D_j ($j=1, 2, \dots, i$). В результате проведенных исследований с использованием теории вероятности и математической статистики установлено, что вероятность возникновения рассматриваемого события $P(D_j)$ можно определить из следующего выражения:

$$P(D_j) = P(D_{1j}) + P(D_{2j}) + \dots + P(D_{ij}) = P_1 + P_2 + \dots + P_i. \quad (1)$$

Это событие состоит из двух совместных событий: E_i – не выполнено требование и D_i – возникновение возгорания на МСХТ из-за невыполнения требования. Всего имеется N_i таких сочетаний для $E_1 D_1, E_2 D_2, E_3 D_3, \dots, E_{N_i} D_{N_i}$. Тогда

$$P(A) = P(E_1 D_1 + E_2 D_2 + \dots + E_{N_i} D_{N_i}), \quad (2)$$

$$P(A) = 1 - (1 - P(E_1) P(D_1)) (1 - P(E_2) P(D_2)) \dots (1 - P(E_{N_i}) P(D_{N_i})).$$

Выражение (2) получено на основании того факта, что нарушение требований пожарной безопасности и влияние этого требования на вероятность возгорания на МСХТ – события независимые. Так как $P(E_i)$ ($i=1; N_i$) может принимать значения только 0 или 1, то формулу (2) представим в виде:

$$P(A) = 1 - (1 - P(D_{K_1})) (1 - P(D_{K_2})) (1 - P(D_{K_3})) \dots (1 - P(D_{K_{N_i}})), \quad (3)$$

где $K_1 \dots K_{N_i}$ – номера невыполненных требований.

При возникновении источника возгорания на МСХТ, то есть выполнении события *A* – распространение огня происходит не только по конструктивным причинам технического средства, но и обуславливается особенностями выполнения технологического процесса.

Чтобы сохранить технику и ликвидировать очаги возгорания на первых стадиях образования огня, за рубежом активно применяют автоматические системы пожаротушения AFEX, принцип работы которых основан на автоматизации процесса подачи тушащих веществ. При этом МСХТ оснащается тепловыми датчиками, которые способны зафиксировать появление огня в любой точке подкапотного пространства МСХТ, автоматически информация передается на центральный блок системы пожаротушения AFEX, происходит оповещение оператора МСХТ звуковым и световым сигналами. Учитывая все риски, например при эксплуатации кормоуборочного комбайна, заказчик системы пожаротушения AFEX составляет техническое задание с указанием зоны рисков возгорания на кормоуборочном комбайне, приводятся схемы разведения датчиков, обосновывается объем с порошковым тушащим веществом. Алгоритм функционирования системы автоматического пожаротушения включает: принудительную остановку двигателя, вентилятора системы охлаждения, запуск системы распыления огнетушащего вещества. Следует, однако, отметить, что согласно результатам исследований [2–4] сухие химические вещества пожаротушения обеспечивают недостаточную защиту технических средств от возможного повторного возгорания.

Для повышения производственной и пожарной безопасности, устранения возгорания на МСХТ возможно применение устройств аэрозольно-порошкового пожаротушения, содержащих генераторы огнетушащего аэрозоля [5], диспергированной воды, характеризующейся высокой пожаротушащей эффективностью и экологичностью [6], пленкообразующих пенообразователей, из которых получается пена низкой кратности, что позволяет охладить зону горения и защитить от повторного воспламенения [7]. Для пожаротушения моторного отсека также известно устройство [8], содержащее герметичную емкость с огнетушащим реагентом, электромагнитный клапан, контроллер, средство распыления огнетушащего реагента. К недостатку использования такого устройства можно отнести следующее – начало возгорания должно фиксироваться оператором МСХТ, что приводит к несвоевременности начала тушения возгорания. Для автоматической локальной пожарной защиты мобильных технических средств находит применение и устройство, выполненное в виде капсулы в оболочке [9], при разрушении которой происходит выделение огнетушащего порошка. Широкое применение такого устройства ограничивается сложностью его установки и высокой стоимостью изготовления. Тушение возгорания в моторном отсеке МСХТ возможно с применением и других технических решений [10–11], например, когда в качестве огнетушащей среды используется охлаждающая жидкость из штатной системы охлаждения ДВС. При этом необходимость существенного переоборудования технического средства с целью подключения установки пожаротушения к системе охлаждения двигателя требует дополнительных финансовых затрат на установку оборудования и не исключает риск самовоспламенения используемой в качестве огнетушащего вещества жидкости из системы охлаждения ДВС.

Анализ проведенных исследований причин, средств и устройств пожаротушения [2–11] позволил, в частности, обосновать конструкцию технического устройства для повышения производственной безопасности на заготовке кормов, оперативного устранения возгорания на МСХТ и, в частности, на кормоуборочном комбайне [12]. Такое устройство состоит из автономной системы охлаждения двигателя, пускового клапана, оросителей (рис. 1), каждый из которых выполнен в виде пневматического распылителя с установленной на нем пирозарядной капсулой, гидравлически связанной через электромагнитный клапан с емкостями для пенообразователя и антипирена.

Для приготовления антипирена [13] необходим гидрофосфат аммония в количестве 36,3–39,7 мас. %, фосфорная кислота – 20,6–48,4 мас. % и карбамид в количестве 15,3–39,7 мас. %. В эту смесь добавляют никелевый катализатор – 0,2–0,5 % от общей массы сухих веществ, перемешивают и нагревают до температуры 120–125°C. Смесь выдерживают 15–25 минут, а затем охлаждают и разбавляют водой до шестидесятипроцентной концентрации (растворимость антипирена сухого вещества составляет от 40 до 150 г на 100 г воды) [14]. Следует отметить, что пирозарядная капсула имеет электрический контакт с автоматическим предохранителем, автономным извещателем, датчиками дыма и пламени, электромагнитным клапаном, а также с электрической

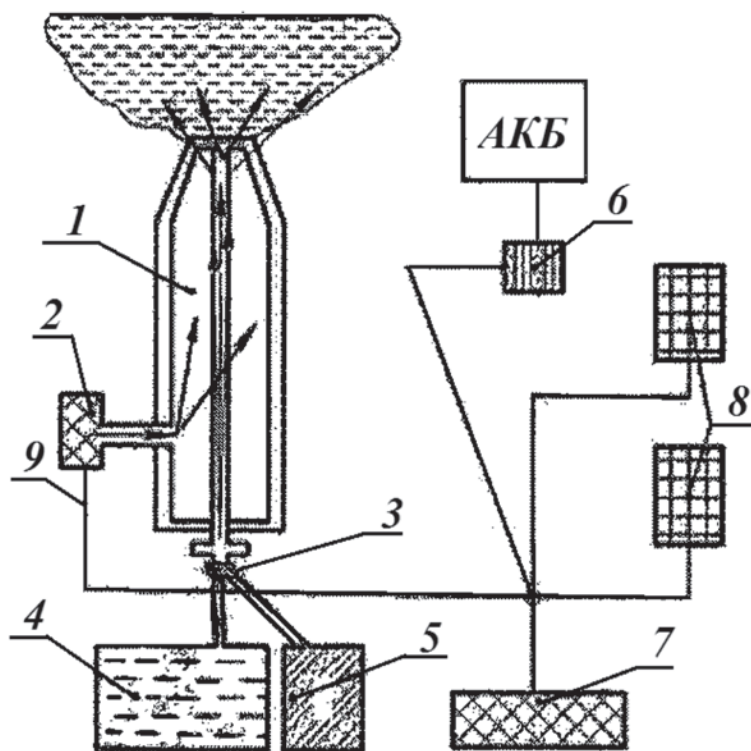


Рис. 1. Техническое устройство пожаротушения на кормоуборочном комбайне [12]:

1 – пневматический распылитель; 2 – пирозарядная капсула; 3 – электромагнитный клапан; 4 – емкость для хранения антипирена; 5 – пенообразователь; 6 – автоматический предохранитель; 7 – автономный извещатель; 8 – датчик дыма и пламени; 9 – основная электрическая цепь кормоуборочного комбайна

цепью кормоуборочного комбайна. При срабатывании датчиков дыма и пламени, реагирующих на возникающий очаг возгорания, подается импульс на автономный извещатель, автоматический предохранитель, пирозарядную капсулу и электромагнитный клапан. При этом автономный извещатель воспроизводит звуковой сигнал, который оповещает оператора кормоуборочного комбайна о возникшей угрозе для его безопасности. Автоматически открывается электромагнитный клапан и срабатывает пирозарядная капсула, что приводит к выделению под давлением газа, который подается в пневматический распылитель, а затем – в кольцевой канал. Согласно закону Бернулли, в потоке газа создается зона пониженного давления и происходит одновременное эжектирование по гидравлическим каналам антипирена и пенообразователя, происходит смешение газа и жидкости, образование смеси, которая распыляется в виде факела пенного аэрозоля на очаг возгорания [15].

Заключение

На основании результатов проведенных исследований производственной и пожарной безопасности кормоуборочных комбайнов при их эксплуатации предложено авторское техническое решение, защищенное патентом Республики Беларусь [12], для оперативного реагирования на возникновение возгорания на комбайне посредством установки в его подкапотном пространстве устройства пожарной сигнализации с пневматическим распылителем и пирозарядной капсулой, что позволяет устранить очаг возгорания и в целом способствует безопасному выполнению технологического процесса кормоуборки.

Список использованных источников

1. Об обеспечении безопасности труда и пожарной безопасности на заготовке кормов [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.mshp.gov.by/ru/ohranatruda-ru/view/informatsionnoe-pismo-ob-obespechenii-bezopasnosti-truda-i-pozharnoj-bezopasnosti-na-zagotovke-kormov-8552>. – Дата доступа: 04.05.2023.

2. Автоматическая система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: пат. RU 39832 / В. Г. Демидов, А. И. Подоляка, А. И. Пинаев. – Оpubл. 20.08.2004.
3. Автоматическая система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: пат. BY 1913 / В. Г. Демидов, А. И. Подоляка, А. И. Пинаев. – Оpubл. 30.06.2005.
4. Система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: пат. RU 93285 / С. Н. Баев, В. Н. Шеин. – Оpubл. 27.04.2010.
5. Устройство аэрозольно-порошкового пожаротушения: пат. BY 198340 / А. В. Мельничук, В. В. Мельничук, А. И. Пинаев, В. Е. Галузо. – Оpubл. 02.07.2020.
6. Fire extinguishing composition: patent US 8366955/ S. C. Thomas, Ch. Powell, A. C. Regina. – Publ. 05.02.2013.
7. Пути предотвращения пожаров на зерноуборочных комбайнах, возникающих за счет выделения тепла в узлах трения / В. Н. Пасовец [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 206–211.
8. Устройство пожаротушения моторного отсека транспортного средства: пат. RU 167997 / С. В. Сергеевич. – Оpubл. 16.01.2017.
9. Устройство автоматической локальной пожарной защиты и способ разрушения оболочки капсулы с нанопорошком: пат. RU 2633955 / З. В. Иванович. – Оpubл. 19.10.2017.
10. Установка пожаротушения: пат. RU 2031672 / Ю. В. Быстров, В. И. Смирнов, С. Г. Ульянов, А. Б. Великоредчанин. – Оpubл. 27.03.1995.
11. Устройство пожаротушения автомобиля: пат. RU 189180 / Н. Е. Курносков, А. В. Морев, К. В. Лебединский, С. Ю. Киреев, А. В. Тарнопольский. – Оpubл. 15.05.2005.
12. Устройство пожаротушения для кормоуборочного комбайна: пат. BY 12716 / А. Л. Мисун, Л. В. Мисун, О. Г. Агейчик, В. А. Агейчик. – Оpubл. 30.10.2021.
13. Ожиганов, Ю. Г. Комбинированный состав повышенной эффективности со свойствами антипирена и антисептика / Ю. Г. Ожиганов, В. В. Мишин, А. В. Родькина // Лаки, краски, эмали, пигменты и герметики. – 2016. – № 3. – С.17–22.
14. Способ получения антипирена: патент RU 2172242 / А. А. Леонович, А. В. Шелоумов. – Оpubл. 20.08.2001.
15. Мисун, Л. В. Техническое решение пожаротушения при возгорании мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун, В. Л. Мисун, О. Г. Агейчик // Главный агроном. – 2022. – № 2. – С. 18–20.

Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, П. В. Яровенко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ
И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СДВОЕННОГО
ТИПА НА ПОТЕРИ ТРАВЯНЫХ КОРМОВ И ЗАСОРЕНИЕ ПРИМЕСЯМИ
ФОРМИРУЕМОГО ВАЛКА**

Аннотация. В статье представлены результаты проведения экспериментальных исследований процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа.

Ключевые слова: грабли колесно-пальцевые, валкование травяных кормов, сгребание, колесо «солнышко», двойное пальцевое колесо, палец, загрязнение кормов, потери кормов, качество кормов.

E. V. Dyba, L. I. Trofimovich, P. V. Yaravenka

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

**RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS TO ESTABLISH THE DEPENDENCE
OF THE INFLUENCE OF DESIGN AND KINEMATIC PARAMETERS OF DOUBLE TYPE
WORKING BODIES ON LOSS OF GRASS FORAGE AND COLLECTION WITH IMPURITIES
OF THE FORMATED SHAFT**

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the process of felling grass feed with a wheel-finger rake with double-type working bodies.

Keywords: wheel-finger rake, felling of grass feed, raking, “sun” wheel, double finger wheel, finger, feed pollution, feed loss, feed quality.

Введение

Сгребание высушенной или провяленной зеленой массы в валки является важным звеном технологического процесса заготовки травяных кормов. Известно, что сохранение энергетической ценности травяных кормов в процессе уборки во многом зависит от качества их сгребания [1–4].

Ротационные и колесно-пальцевые грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток – волочение травяной массы по поверхности поля, что увеличивает вероятность увлечения за собой в валок камней и других инородных тел. Следовательно, при уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения и выхода из строя кормоуборочной техники. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблей (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводит к засорению формируемого валка землей и пылью (особенно при работе граблей на ровном рельефе), а также высоким потерям листьев и соцветий, особенно при многоукосной системе заготовки кормов.

Основная часть

Для исследования процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа в сравнении с серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в соответствии с раз-

работанной конструкторской документацией изготовлена макетная установка колесно-пальцевых граблей с рабочими органами сдвоенного типа для сгребания (валкования) травяных кормов [5].

Макетная установка оснащена приводными колесами диаметром 1400 мм, а также сменными сгребующими колесами диаметром 1200, 1250 и 1300 мм. Расстояние между сгребующими и приводными колесами (регулируемое) – 400, 450, 500 мм. Расстояние между соседними сдвоенными колесами – 750 мм.

Исследование процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа (рис. 1) проводили для бобовых трав – на базе хозяйства ОАО «Сейловичи» Несвижского района Минской области, для злаковых трав – на базе хозяйства РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» Пуховичского района Минской области.



Рис. 1. Сгребание провяленной люцерны граблями колесно-пальцевыми с рабочими органами сдвоенного типа

В ходе проведения экспериментальных исследований определялись потери и показатели качества травяных кормов (массовая доля сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы). Для сравнительной оценки производилось сгребание травяных кормов серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями.

В целом колесно-пальцевые грабли с рабочими органами сдвоенного типа качественно выполняют технологический процесс сгребания в валок травяных кормов, не загрязняя их примесями почвы и пыли. Потери травяной массы составили не более 1 %. При оценке функциональных показателей макетной установки граблей рабочая скорость при номинальных оборотах двигателя трактора составила от 9,2 до 12,3 км/ч. Фактическая ширина захвата макетной установки граблей при сгребании бобовых и злаковых травяных кормов составила 2,48 м, ширина валка при этом составила от 1,39 до 1,48 м [6].

Однако качество такого сгребания зависит от конфигурации рабочих органов, а именно от соотношения диаметров сгребующих и приводных колес, а также расстояния между ними (рис. 2). В ходе проведения исследований было установлено, что при увеличении зазора от нижней край-

ней точки зуба до поверхности почвы сгребающие колеса не полностью сгребают травяную массу, а именно не захватывают нижний слой прокоса. Остатки травяной массы догребались в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходило повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли. При уменьшении зазора от нижней крайней точки зуба до поверхности почвы сгребающие колеса работают так же, как и приводные – по поверхности почвы, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли [6].

Установлено, что при соотношении диаметров колес:

- приводных – 1400 мм и сгребающих – 1200 мм зазор от нижней крайней точки зуба сгребающих колес до поверхности почвы составил от 77 до 98 мм;
- приводных – 1400 мм и сгребающих – 1250 мм зазор от нижней крайней точки зуба сгребающих колес до поверхности почвы составил от 52 до 73 мм;
- приводных – 1400 мм и сгребающих – 1300 мм зазор от нижней крайней точки зуба сгребающих колес до поверхности почвы составил от 27 до 48 мм;
- приводных – 1400 мм и сгребающих – 1350 мм зазор от нижней крайней точки зуба сгребающих колес до поверхности почвы составил от 0 до 23 мм.

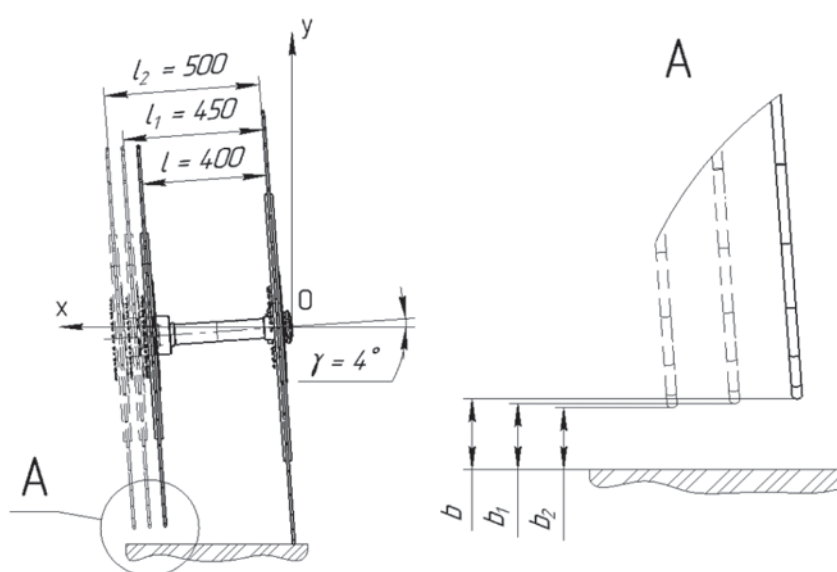


Рис. 2. Технологическая схема рабочего органа сдвоенного типа с изменением расстояния между приводным и сгребающим колесами

Оптимальным вариантом для качественного сгребания травяных кормов следует считать промежуточные диаметры сгребающих колес 1250 мм и 1300 мм, которые находились в интервале между диаметрами 1200 мм и 1350 мм.

В ходе проведения экспериментальных исследований по определению качества сгребания травяных кормов была установлена следующая закономерность. После прохода граблей вдоль сформированного валка были обнаружены хаотично расположенные камни диаметром от 27 до 80 мм (рис. 3–4). В основном камни были расположены на расстоянии 250–550 мм от края валка, что совпадает с расстояниями между приводными и сгребающими колесами – 400 мм, 450 мм и 500 мм. То есть во время работы рабочего органа сдвоенного типа сгребающее колесо в зависимости от зазора от нижней крайней точки зуба до поверхности почвы, который определяется диаметром сгребающего колеса, пропускало находящийся в прокосе камень, диаметр которого не превышал имеющееся значение зазора, и не сгребало его в валок, а приводное колесо либо подгребало камень и оставляло его на расстоянии от валка, равном расстоянию между приводным и сгребающим колесом, либо пропускало камень между зубьями колеса [6].

Результаты определения показателей качества травяных кормов представлены в табл. 1 – для злаковых трав и в табл. 2 – для бобовых трав [6].



Рис. 3. Расположение камней после прохода граблей колесно-пальцевых с рабочими органами сдвоенного типа



Рис. 4. Расположение камней после прохода граблей колесно-пальцевых с рабочими органами сдвоенного типа

Таблица 1. Показатели качества травяных кормов, полученные при сгребании злаковых трав колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа

Диаметр приводного колеса / сгребającego колеса / расстояние между приводным и сгребającym колесом, мм	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырая зола, %
Зеленая масса из прокоса (првяленная 8 ч)	47,9	6,81	33,3	4,90
1400/1250/400 (прокос 1)	50,7	7,06	32,6	6,19
1400/1250/450 (прокос 1)	50,2	7,03	32,26	6,06
1400/1250/500 (прокос 1)	49,3	6,62	33,8	6,28
1400/1300/400 (прокос 2)	52,2	6,81	32,18	5,92
1400/1300/450 (прокос 2)	53,41	7,31	31,7	5,60
1400/1300/500 (прокос 2)	53,8	7,44	30,68	5,30
Сгребание серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями (прокос 3)	51,7	6,13	34,3	6,33

Таблица 2. Показатели качества травяных кормов, полученные при сгребании бобовых трав колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа

Диаметр приводного колеса / сгребającego колеса / расстояние между приводным и сгребającym колесом, мм	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырая зола, %
Исходные показатели качества травяной массы после скашивания				
Прокос 1	20,4	20,56	21,3	11,76

Диаметр приводного колеса / сгребающего колеса / расстояние между приводным и сгребающим колесом, мм	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырая зола, %
Прокос 2	20,9	20,25	20,4	11,69
Прокос 3	20,86	20,44	20,2	11,61
Прокос 4	20,70	20,18	21,8	11,81
Показатели качества травяной массы после первого ворошения				
Прокос 1	21,7	19,06	20,9	13,63
Прокос 2	22,88	19,92	19,3	12,06
Прокос 3	22,6	20,16	20,7	11,7
Прокос 4	21,82	18,86	21,4	13,21
Показатели качества травяной массы после второго ворошения				
Прокос 1	27,8	18,41	21,16	13,96
Прокос 2	28,2	19,62	21,5	12,63
Прокос 3	28,4	19,88	21,05	11,97
Прокос 4	27,7	18,25	21,5	13,81
Показатели качества травяной массы после сгребания в валок				
1400/1200/400 (прокос 1)	38,97	18,44	24,12	14,93
1400/1200/450 (прокос 1)	39,4	18,54	23,78	14,9
1400/1200/500 (прокос 1)	39,89	19,25	24,79	13,85
1400/1250/400 (прокос 2)	38,6	18,62	24,02	14,89
1400/1250/450 (прокос 2)	39,2	18,66	24,9	15,21
1400/1250/500 (прокос 2)	41,12	19,03	24,6	13,45
1400/1300/400 (прокос 3)	37,81	18,41	23,85	15,06
1400/1300/450 (прокос 3)	40,05	18,75	24,66	14,32
1400/1300/500 (прокос 3)	43,22	19,55	23,4	12,64
Сгребание серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями (прокос 4)	39,69	18,43	24,6	15,67

Заключение

В ходе проведения экспериментальных исследований было установлено, что при увеличении зазора от нижней крайней точки зуба до поверхности почвы сгребающие колеса не полностью сгребают травяную массу, а именно не захватывают нижний слой прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли. При уменьшении зазора от нижней крайней точки зуба до поверхности почвы сгребающие колеса работают так же, как и приводные – по поверхности почвы, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли. Загрязнение сгребаемой травяной массы землей отсутствует в комбинации рабочих органов диаметром 1400/1250 мм и 1400/1300 мм.

В результате экспериментальных исследований установлена следующая закономерность: после прохода граблей вдоль сформированного валка на расстоянии от 250 до 550 мм от края валка остаются хаотично расположенные камни диаметром от 27 до 80 мм. Благодаря этому при сгребании травяных кормов в валок попадает меньше камней, что способствует надежной (без поломок) работе подборщика кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика.

Анализ результатов определения показателей качества травяных кормов (массовой доли сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы) покажет наиболее эффективные параметры рабочих органов сдвоенного типа.

Список использованных источников

1. Дыба, Э. В. Предпосылки к изучению влияния параметров рабочего органа сдвоенного типа к колесно-пальцевым граблям на качество валкования скошенных трав / Э. В. Дыба, В. В. Миккульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 145–149.

2. Дыба, Э. В. Анализ современных конструкций колесно-пальцевых граблей, применяемых для валкования травяных кормов / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., посв. 100-летию со дня рождения М. М. Севернёва, Минск, 21–22 октября 2021 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2021. – С. 50–63.

3. Дыба, Э. В. Анализ известных типов граблей-валкователей / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., посв. 100-летию со дня рождения М. М. Севернёва, Минск, 21–22 октября 2021 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2021. – С. 104–109.

4. Дыба, Э. В. Поиск путей повышения качества травяных кормов / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Т. А. Непарко // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 июня 2021 года / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 408–413.

5. Макетная установка граблей колесно-пальцевых с рабочими органами сдвоенного типа / Э. В. Дыба [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., посв. 75-летию образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Минск, 20–21 октября 2022 г. – Минск, 2022. – С. 267–271.

6. Исследование процесса валкования травяных кормов с обоснованием параметров рабочих органов сдвоенного типа // Протокол от 08.12.2022 № 2-2022 проведения экспериментальных исследований / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. темы 6.8.1 Э.В. Дыба. – Минск, 2022. – С. 24–55.

Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, П. В. Яровенко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

**АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА
ВАЛКОВАНИЯ ТРАВЯНЫХ КОРМОВ КОЛЕСНО-ПАЛЬЦЕВЫМИ ГРАБЛЯМИ
С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ СДВОЕННОГО ТИПА**

Аннотация. В статье представлен анализ полученных результатов экспериментальных исследований процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа.

Ключевые слова: грабли колесно-пальцевые, валкование травяных кормов, сгребание, колесо «солнышко», двойное пальцевое колесо, палец, загрязнение кормов, потери кормов, качество кормов.

E. V. Dyba, L. I. Trofimovich, P. V. Yaravenka

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

**ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES
OF THE PROCESS OF GRASS FORAGE SWATHING WITH WHEEL-FINGER RAKE
WITH DOUBLE TYPE WORKING BODIES**

Abstract. The article presents an analysis of the results of experimental studies of the process of felling grass feed with a wheel-finger rake with double-type working bodies.

Keywords: wheel-finger rake, felling of grass feed, raking, “sun” wheel, double finger wheel, finger, feed pollution, feed loss, feed quality.

Введение

Сгребание высушенной или провяленной зеленой массы в валки является важным звеном технологического процесса заготовки травяных кормов. Известно, что сохранение энергетической ценности травяных кормов в процессе уборки во многом зависит от качества их сгребания.

Ротационные и колесно-пальцевые грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток – волочение травяной массы по поверхности поля, что увеличивает вероятность увлечения за собой в валок камней и других инородных тел. Следовательно, при уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения и выхода из строя кормоуборочной техники. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблей (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводят к засорению формируемого валка землей и пылью (особенно при работе граблей на неровном рельефе), а также высоким потерям листьев и соцветий, особенно при многоукосной системе заготовки кормов.

Основная часть

На основании проведенных экспериментальных исследований [1] по определению потерь и показателей качества травяных кормов при их валковании колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа, а также в соответствии с предоставленными лабораторией технологии кормопроизводства и биохимических анализов РУП «НПЦ НАН Беларуси по животновод-

ству» данными показателей качества травяных кормов выполнен анализ показателей и обобщены полученные результаты.

Зависимость содержания сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей представлена на рис. 1–4.

Анализ показателей содержания сухого вещества в пробах люцерны показывает, что построенные на графике кривые изменения содержания сухого вещества люцерны (рис. 1) в зависимости от комбинации рабочих органов значительно отличаются конечными ответвлениями, а именно: на этапе сгребания показатели сухого вещества люцерны значительно разнятся и имеют интервал варьирования от 37,81 до 43,22 % (5,4 %). Объясняется такая разность тем, что при сгребании травяной массы конфигурация рабочих органов, а именно соотношение диаметров приводных и сгребующих колес, а также расстояния между ними изменялись, и соответственно каждая комбинация рабочих органов по-своему влияла на качество сгребания.

Наиболее высокий показатель содержания сухого вещества составляет 43,22 % и достигается при соотношении диаметров колес приводного – 1400 мм и сгребующего – 1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 3,53 % выше серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей с диаметром колес 1400 мм. Наименьший показатель содержания сухого вещества – 37,81 % достигается при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм и расстоянии между ними 500 мм. Такая разность показателей содержания сухого вещества (5,41 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге ускоряет выход влаги из него. В свою очередь, при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1200 мм происходит неполное сгребание травяной массы, а именно не захватываются зубьями сгребующего колеса нижний и средний слои прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также уплотнение валка (образование «косички»), что в итоге замедляет выход из него влаги [2].

Анализ показателей содержания сырого протеина в пробах люцерны (рис. 2) показывает, что наименьшее снижение содержания сырого протеина в люцерне происходит при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и 1400/1300 мм – и составляет от 18,54 до 19,55 % соответственно, что в среднем на 0,53 % выше в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наибольшее снижение содержания сырого протеина люцерны происходит при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм – и составляет от 18,41 до 18,62 %, что в среднем на 0,06 % выше в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей [2].

При этом наиболее высокий показатель содержания сырого протеина составляет 19,55 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 1,12 % выше показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наименьший показатель содержания сырого протеина – 18,41 % достигается при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм и расстоянии между ними 500 мм. Такая разность показателей содержания сырого протеина (1,14 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, также за счет отсутствия эффекта волочения сохраняется наибольшее количество листьев и соцветий на стебле растений, которые содержат наибольшее количество протеина. В свою очередь, при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1200 мм происходит неполное сгребание травяной массы, а именно не захватываются зубьями сгребующего колеса нижний и средний слои прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также обивание листьев и соцветий люцерны, что в итоге снижает содержание сырого протеина в корме [2].

Анализ показателей содержания сырой золы в пробах люцерны (рис. 3) показывает, что наименьшее увеличение сырой золы в люцерне происходит при соотношении диаметров колес

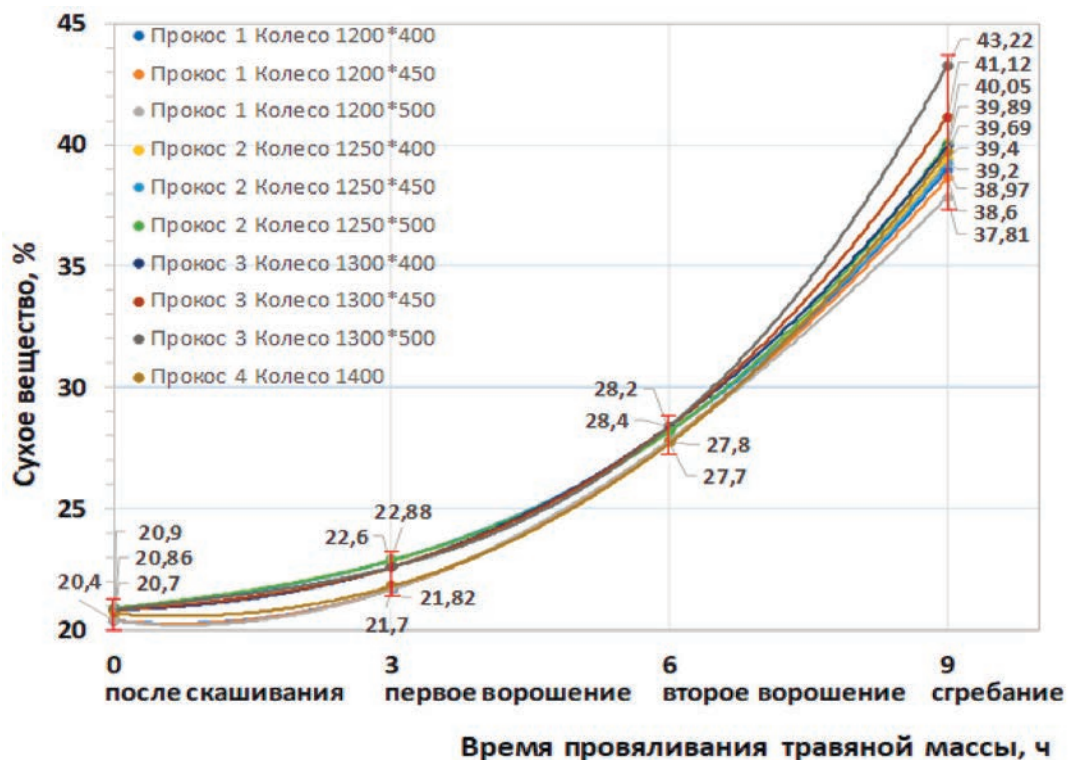


Рис. 1. Зависимость содержания сухого вещества в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

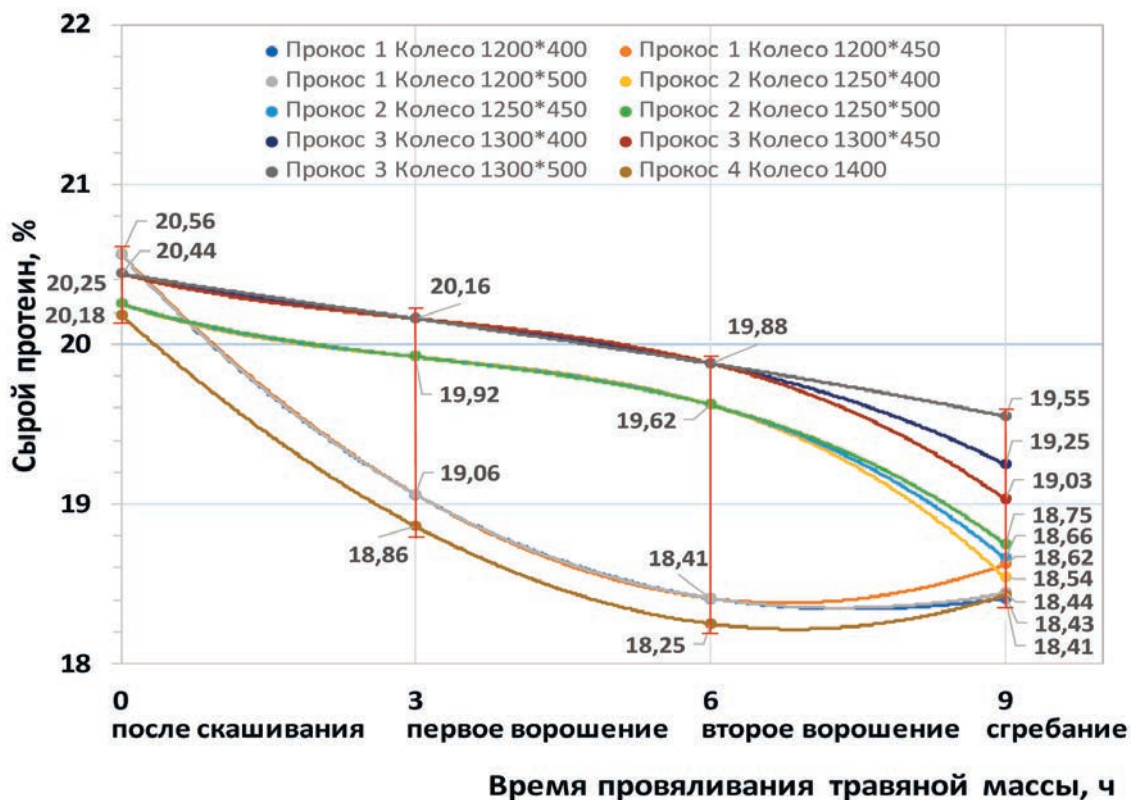


Рис. 2. Зависимость содержания сырого протеина в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

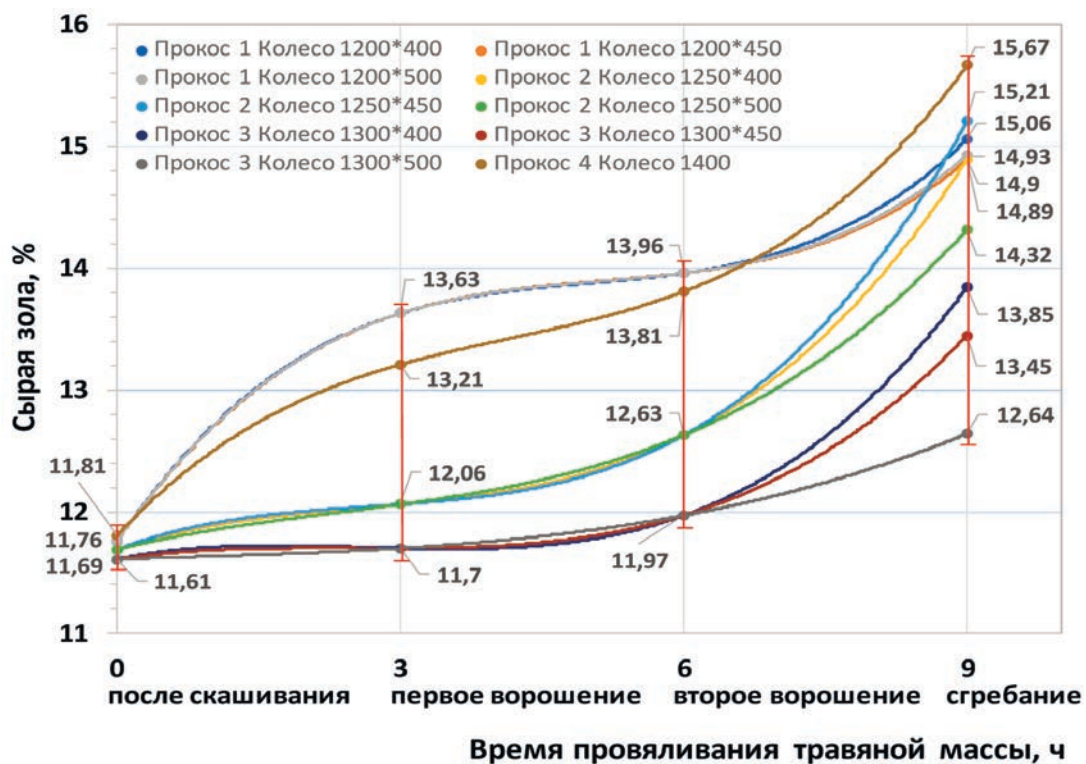


Рис. 3. Зависимость содержания сырой золы в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

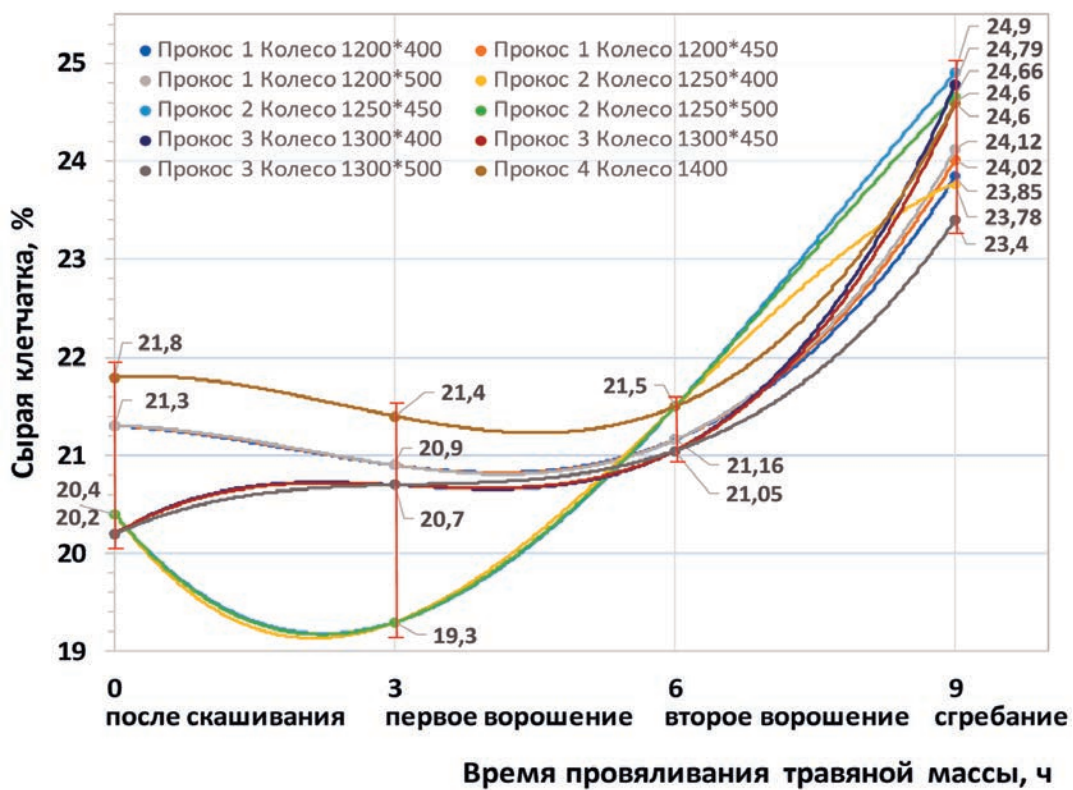


Рис. 4. Зависимость содержания сырой клетчатки в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

1400/1300 мм и составляет от 12,64 до 13,85 %, что в среднем на 2,36 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наибольшее увеличение содержания сырой золы в люцерне – 15,67 % происходит при использовании серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей, а также при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 500 мм – 15,21 %. Высокие показатели содержания сырой золы показали и пробы травяных кормов, полученные при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм – от 14,89 до 15,06 % [2].

При этом наиболее низкий показатель содержания сырой золы составляет 12,64 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм. Наибольший показатель содержания сырой золы – 15,67 % достигается при использовании серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Такая разность показателей (3,03 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребаящими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, а также за счет отсутствия эффекта волочения, что в итоге сохраняет корм чистым [2].

Анализ показателей содержания сырой клетчатки в пробах люцерны (рис. 4) показывает, что на этапе сгребания травяной массы в зависимости от комбинации рабочих органов показатели сырой клетчатки увеличиваются и имеют различные значения в интервале от 23,4 до 24,9 % при среднем значении 24,27 %, что на 3,34 % выше исходных показателей после скашивания и двух ворошений. Такое резкое увеличение показателей клетчатки объясняется тем, что при сгребании люцерны в валки происходит обивание подсохших листьев и соцветий растений рабочими органами граблей. Соответственно из-за потерь листьев и соцветий люцерны, которые в меньшей степени содержат клетчатку, а в большей протеин, происходит увеличение содержания сырой клетчатки и уменьшение содержания сырого протеина. На графиках (рис. 2 и 4) видно, что после двух ворошений и сгребания травяной массы содержание протеина в люцерне с каждой операцией уменьшается, а клетчатки – увеличивается из-за потерь (обивания листьев и соцветий) [2].

На графике (рис. 4) видно, что наименьшее увеличение содержания сырой клетчатки в люцерне происходит при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм и составляет 23,4 %, что на 1,20 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей, и на 1,50 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 450 мм. Такая разность показателей (1,20–1,50 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, а также за счет отсутствия эффекта волочения и более бережного контакта рабочих органов граблей с травяной массой, вследствие чего обивается меньшее количество листьев и соцветий растений [2].

Зависимость содержания сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы в тимофеевке от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей представлена на рис. 5 и 6.

Анализ показателей содержания сухого вещества в пробах тимофеевки (рис. 5) показывает, что после сгребания травяной массы в зависимости от комбинации рабочих органов показатели сухого вещества увеличились в среднем на 3,71 % и варьируются в диапазоне от 49,3 до 53,8 % [2].

При этом наиболее высокий показатель содержания сухого вещества составляет 53,8 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 5,9 % выше исходного показателя травяной массы, и на 2,1 % выше показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наименьший показатель содержания сухого вещества – 49,3 % достигается при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 500 мм. Такая разность показателей содержания сухого вещества (4,5 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребаящими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге ускоряет выход влаги из него, а также позволяет сохранить большее количество листовенной части растения, в которой содержится меньшее количество влаги относительно стебля. В свою очередь, при сгребании травя-

ных кормов сгребающими колесами диаметром 1250 мм происходит неполное сгребание травяной массы, а именно местами не захватываются зубьями сгребающего колеса нижний и средний слой прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также агрессивное воздействие на травяную массу, что приводит к потерям ее лиственной части [2].

Показатели сырой клетчатки в тимофеевке после сгребания колебались от 30,68 до 34,3 % при среднем значении 32,5 % (рис. 5). Объясняется такое высокое содержание сырой клетчатки тем, что злаковые травы были скошены не в агрономические сроки, то есть культура, пройдя этап кушения, начала удлиняться, что называется выходом в трубку.

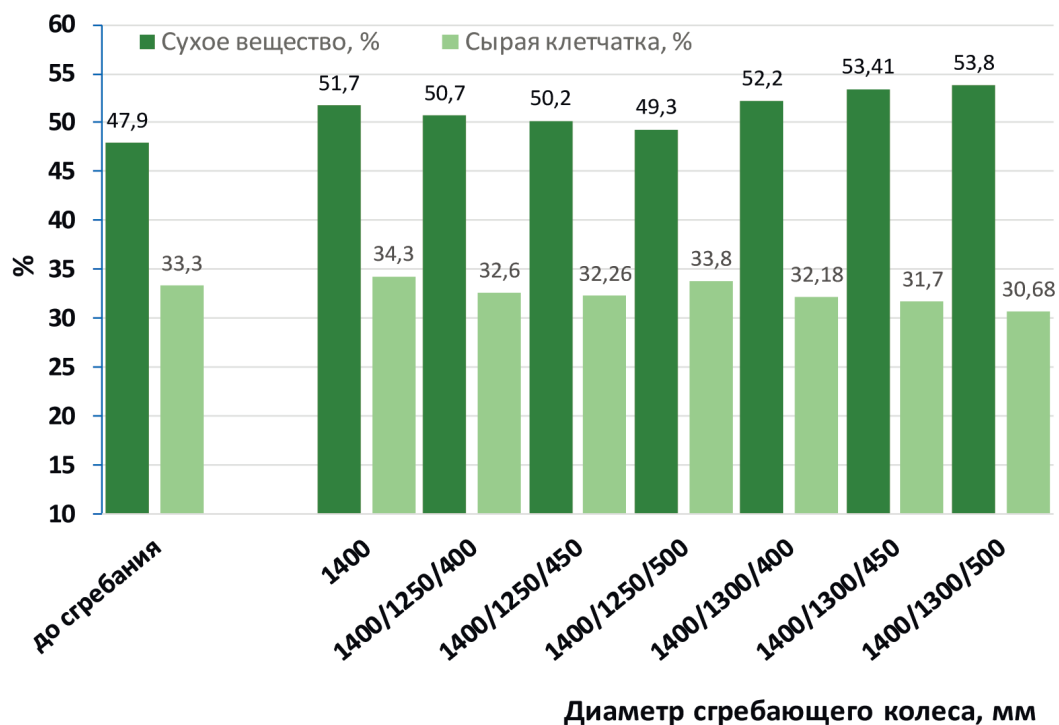


Рис. 5. Зависимость содержания сухого вещества и сырой клетчатки в тимофеевке от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

В зависимости от комбинации рабочих органов показатели сырой клетчатки в тимофеевке после сгребания отличаются, но незначительно. Так, наименьшее увеличение содержания сырой клетчатки в тимофеевке происходит при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм и составляет 30,68 %, что на 3,62 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра сгребающих колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей, и на 3,12 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 500 мм [2].

Такая разность показателей (3,12–3,62 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, а также за счет отсутствия эффекта волочения и более бережного контакта рабочих органов граблей с травяной массой, вследствие чего происходит меньшее количество потерь лиственной части растений.

Анализ показателей содержания сырого протеина показывает, что после сгребания травяной массы серийно-выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями, в том числе с рабочими органами сдвоенного типа, содержание протеина в пробах тимофеевки варьируется в диапазоне от 6,13 до 7,44 %. Как видно на графике (рис. 6), в зависимости от комбинации рабочих органов содержание сырого протеина в пробах травяной массы отличается. Так, при изменении диаметров сгребающих

колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1250/400 до 1400/1250/450–500 происходило увеличение сырого протеина от 6,62 до 7,06 %. При изменении диаметров сгребающих колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1300/400 до 1400/1300/450–500 содержание сырого протеина увеличилось от 6,81 до 7,44 % [2].

При этом наиболее высокий показатель содержания сырого протеина составляет 7,44 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 0,63 % выше исходного показателя травяной массы, и на 1,31 % выше показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Такая разность показателей (0,63–1,31 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребающими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы сгребающих колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, а также за счет отсутствия эффекта волочения сохраняется наибольшее количество листовенной части на стебле растений, которые содержат наибольшее количество протеина. В свою очередь, при сгребании колесно-пальцевыми граблями происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также обивание (потери) листовенной части растений, что в итоге снижает содержание сырого протеина в корме.

Как видно на графике (рис. 6), минимальное количество сырой золы (4,9 %) содержится в пробах тимфеевки, взятых из прокосов до сгребания. Средний показатель содержания сырой золы после сгребания составил 5,95 %, а интервал варьирования показателей – от 5,3 до 6,33 %. Существенное увеличение содержания сырой золы в пробах тимфеевки происходило после сгребания травяной массы серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями и составило 6,33 %, что на 1,43 % выше исходного показателя. Также происходило увеличение содержания сырой золы в пробах тимфеевки после сгребания травяной массы рабочими органами сдвоенного типа [2].

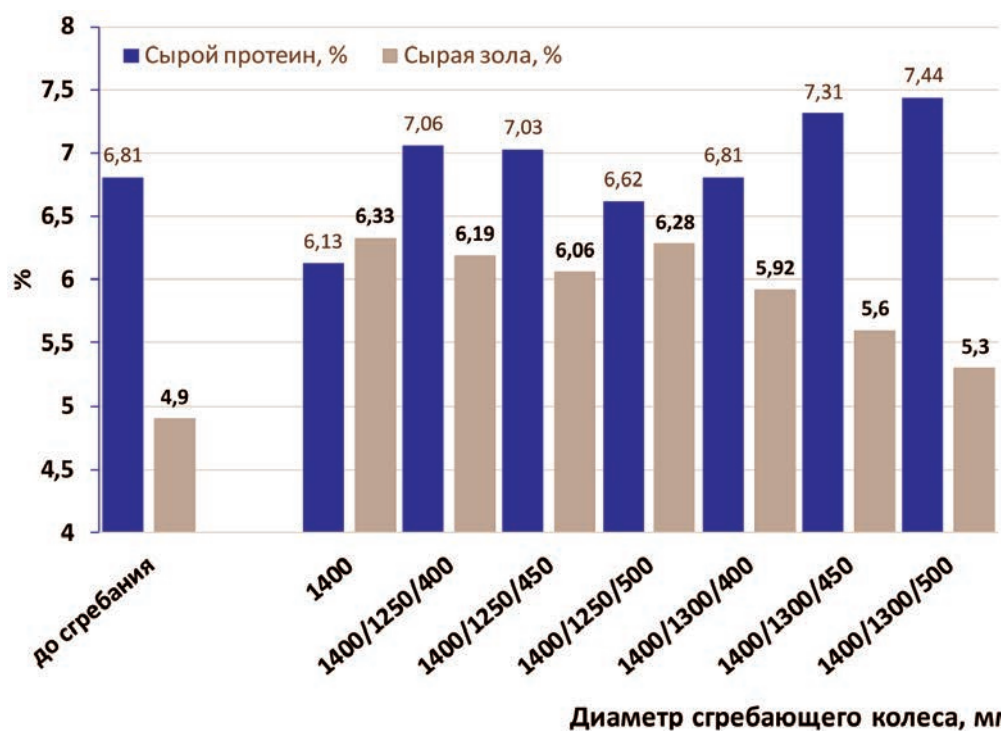


Рис. 6. Зависимость содержания сырого протеина и сырой золы в тимфеевке от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

Так, при изменении диаметров сгребающих колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1250/400 до 1400/1250/450–500 происходило увеличение сырой золы от 6,06 до 6,28 %. При изменении диаметров сгребающих колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1300/400 до 1400/1300/450–500 содержание сырой золы увеличилось от 5,3 до 5,92 %.

При этом наиболее низкий показатель содержания сырой золы составляет 5,3 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 0,4 % выше исходного показателя травяной массы и на 1,03 % ниже показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Такая разность показателей объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребаящими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, а также за счет отсутствия эффекта волочения, что в итоге сохраняет корм чистым [2].

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлены следующие рациональные параметры рабочих органов сдвоенного типа макетной установки колесно-пальцевых граблей:

- диаметр приводных колес – 1400 мм;
- диаметр сгребаящих колес – 1300 мм;
- расстояние между приводным и сгребаящим колесами – 500 мм.

Применение таких параметров рабочих органов сдвоенного типа в сравнении с серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями позволит:

– при сгребании бобовых травяных кормов ускорить влагоотдачу, повысив содержание сухого вещества на 5,41 %, повысить содержание сырого протеина на 1,14 %, снизить загрязнение травяной массы почвой, что выражается в снижении содержания сырой золы на 3,03 %, снизить содержание сырой клетчатки на 1,5 %, а также минимизировать попадание камней в валок;

– при сгребании злаковых травяных кормов ускорить влагоотдачу, повысив содержание сухого вещества на 5,9 %, повысить содержание сырого протеина на 0,63 %, снизить загрязнение травяной массы почвой, что выражается в снижении содержания сырой золы на 1,03 %, снизить содержание сырой клетчатки на 3,62 %, а также минимизировать попадание камней в валок.

В результате экспериментальных исследований установлена следующая закономерность: после прохода граблей вдоль сформированного валка на расстоянии от 250 до 550 мм от края валка остаются хаотично расположенные камни диаметром от 27 до 80 мм. Благодаря этому при сгребании травяных кормов в валок попадает меньше камней, что способствует надежной (без поломок) работе подборщика кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика.

Список использованных источников

1. Исследование процесса валкования травяных кормов с обоснованием параметров рабочих органов сдвоенного типа // Протокол от 08.12.2022 № 2-2022 проведения экспериментальных исследований / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; рук. темы 6.8.1 Э.В. Дыба. – Минск, 2022. – С. 24–55.
2. Исследование процесса валкования травяных кормов с обоснованием параметров рабочих органов сдвоенного типа // отчет о НИР (промежуточный) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; рук. темы 6.8.1 Э. В. Дыба. – Минск, 2023. – 69 с.

А. А. Жешко, А. В. Ленский, В. И. Володкевич, А. В. Шах

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: azeshko@gmail.com*

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПАРКА МОБИЛЬНЫХ КОРМОУБОРОЧНЫХ МАШИН

Аннотация. Представлены результаты проектирования приложения для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин.

Ключевые слова: тяговое сопротивление, комплектование машинно-тракторных агрегатов, автоматизированная система, функциональная и информационная модель.

A. A. Zheshko, A. V. Lenski, V. I. Volodkevich, A. V. Shah

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: azeshko@gmail.com*

RESULTS OF DESIGNING AN APPLICATION FOR AUTOMATED FORMATION OF THE STRUCTURE OF A FLEET OF MOBILE FORAGE HARVESTING MACHINES

Abstract. The results of designing an application for the automated formation of the structure of a fleet of mobile forage harvesting machines are presented.

Keywords: traction resistance, acquisition of machine-tractor units, automated system, functional and information model.

Введение

При формировании рациональной структуры парка кормоуборочной техники необходимо учитывать природно-климатические факторы, особенности размещения предприятия и его базовых материальных объектов, наличие исправной и работоспособной техники для заготовки кормов, размеры и контуры рабочих участков, вопросы внутрихозяйственной логистики и размещение мест хранения сенажа и силосных ям, а также другие внешние факторы.

После сбора исходных данных необходимо проводить вычисления для определения основных технико-экономических показателей, наиболее значимыми из которых являются производительность и расход топлива для конкретных производственных условий. Далее, выполнив расчеты для различных базовых и перспективных комплексов уборочных машин, можно сделать выводы о целесообразности применения уборочных комплексов на конкретных сельскохозяйственных предприятиях.

Основная часть

Согласно диаграмме последовательности функционирования программного приложения для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин, представленной на рис. 1, пользователь взаимодействует с интерфейсом и активирует элементы управления, отвечающие за поиск данных в каталоге, формирование технологических операций по уборке кормовых культур, и осуществляет вычисления, направленные на определение расхода топлива и производительности при заготовке кормов и формировании структуры парка кормоуборочной техники.

В качестве ответа на действия пользователя клиентская часть приложения через веб-интерфейс обращается к серверу, на котором хранятся скрипты для проведения соответствующих расчетов кормоуборочных операций и исходный код для взаимодействия с базой данных. Для получения необходимых для вычислений данных скрипт серверной части приложения отправляет SQL запросы серверу базы данных, который возвращает технические характеристики машин и другую служебную информацию. Обработка и систематизация информации, полученной от сервера базы данных, а также выполнение расчетов осуществляется на сервере, после чего упорядоченная информация через веб-интерфейс передается в приложение и отображается пользователю [1].

Между объектами системы в процессе формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин происходит обмен синхронными и асинхронными сообщениями (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма последовательности функционирования программного приложения для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин

Приложение для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин реализовано в рамках паттерна MVC [2], «Модель-Представление-Контроллер». Представление приложения – его интерфейс, отвечает за отображение данных модели пользователю, реагируя на изменения модели. Контроллер осуществляет функцию взаимосвязи между пользователем и бизнес-логикой приложения, он обрабатывает действия пользователя, передает данные в модель. Модель представляет бизнес-логику приложения, данные и методы их обработки, функции для вычисления технико-экономических показателей при заготовке кормов, формирование каталога, формирование запросов к базе данных и обработку ответов [3, 4].

Реализация результатов проектирования в программном приложении для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин в технологиях заготовки кормов из трав и силосных культур представлена на рисунках 2–5.

На рис. 2 представлено окно выбора сохранённых результатов вычислений по кормоуборочным комплексам машин. Окно состоит из заголовка 1 и заголовков типа заготавливаемых кормов 2.

При наведении курсора на соответствующий селектор типа заготавливаемых кормов 4 появляется всплывающая ссылка для перехода к соответствующему разделу вычислений 3.

В результате перехода по ссылке отрывается главное окно работы приложения (рис. 3). В верхней части окна расположен заголовок с наименованием кормоуборочной операции 1. В левом верхнем углу расположены общие характеристики условий работы: площадь убираемого участка, а также тип почвы.

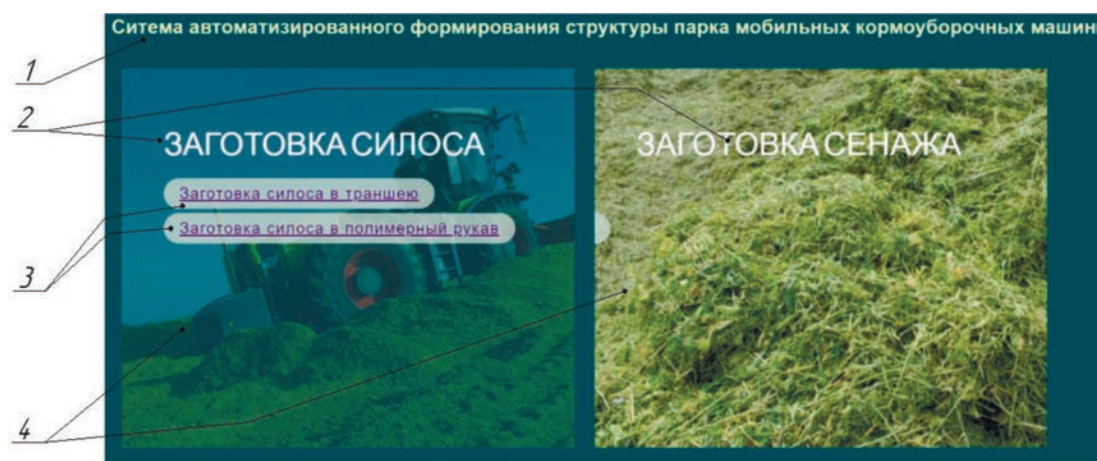


Рис. 2. Интерфейс выбора технологии заготовки кормов: 1 – заголовок окна; 2 – заголовки типа заготавливаемых кормов; 3 – всплывающая ссылка для перехода к соответствующему разделу вычислений; 4 – селектор типа заготавливаемых кормов

№ операции	Наименование операции	Начало работ (норматив)	Окончание работ (норматив)	Фактически отработано машин	Марка трактора	Марка агрегата	Производительность агрегатов, га/ч	Требуется агрегатов, топливалллата ед	Расход агрегатов, топлива л/га	Заработная плата
1	Скашивание трав с плоскением	20.06.2022	25.06.2022	124.302	EasyCut 3210 CV	Беларус 82.1	2.98 га/ч	2.59	2.69 кг/га	3.85
2	Ворошение	21.06.2022	30.06.2022	30.428	KW 13.02/12 T	Беларус 1221.2	12.16 га/ч	0.38	0.81 кг/га	3.85
3	Стребание	22.06.2022	01.07.2022	50.216	Swadro 907	John Deere 6920	7.37 га/ч	0.628	1.45 кг/га	3.85
4	Подбор валков и измельчение	24.06.2022	03.07.2022	83.047	Jaguar 850		4.45 га/ч	1.038	9.63 кг/га	3.85
5	Транспортировка	24.06.2022	03.07.2022	153.292	МАЗ 457040		36.2 т/ч	1.916	32 л/100 км	3.85
6	Трамбовка измельченной массы	24.06.2022	03.07.2022	458.257	К 2-3	Беларус 1523	0.81 га/ч	5.728	3.95 кг/га	3.85

Рис. 3. Главное окно приложения: 1 – заголовок главного окна; 2 – общие характеристики условий работы; 3 – элементы управления приложением; 4 – главная таблица с результатами вычислений

Также в левом верхнем углу главного окна расположены элементы управления приложением 3. К элементам привязаны следующие функции:

- вставка новой технологической операции в главную таблицу;
- формирование новой операции;
- обновление нумерации в перечне кормоуборочных работ;
- перемещение операции внутри перечня;
- удаление выделенной операции;
- сохранение результатов редактирования и вычислений;
- включение режима редактирования уборочного комплекса машин;
- подсветка взаимосвязанных операций.

При выделении соответствующей операции в главном окне приложения в нижней части экрана появляется «Редактор технологической операции» (рис. 4).

Редактор технологической операции представляет собой окно, состоящее из заголовка 1 и динамически обновляемого контента, который меняется при выделении различных технологических операций в главном окне. В верхней части редактора технологической операции расположен селектор типа операции по наименованию 2, который позволяет редактировать операцию. При изменении содержимого верхнего селектора все последующие элементы придется выбирать заново.

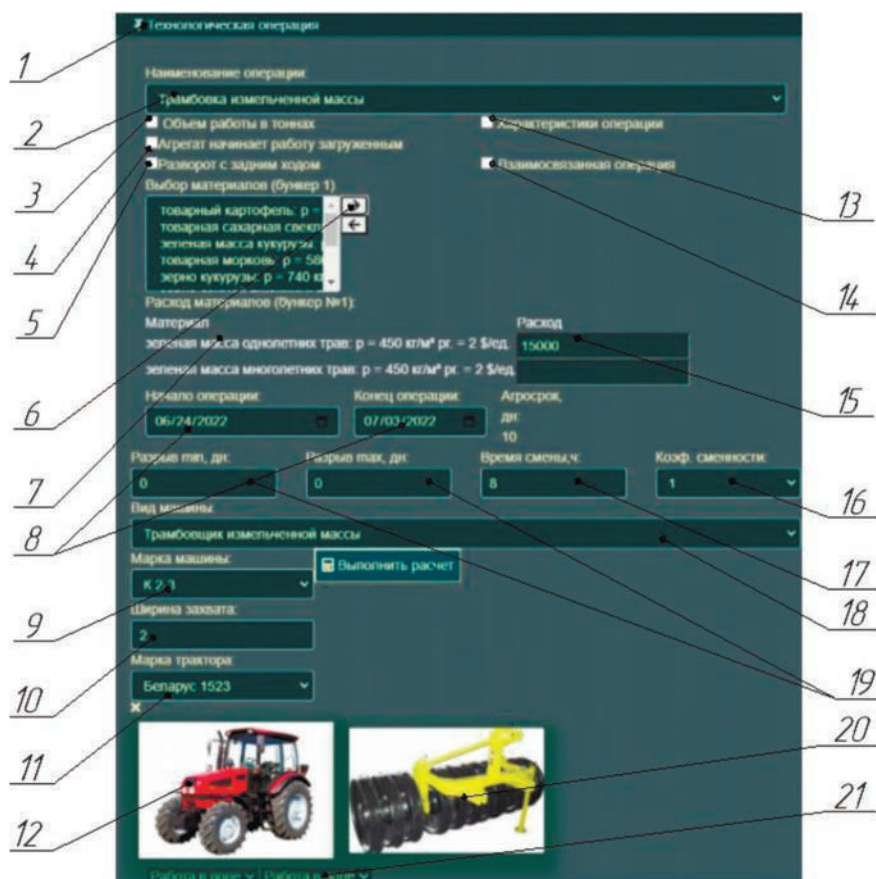


Рис. 4. Редактор технологической операции: 1 – заголовок окна; 2 – селектор типа операции по наименованию; 3 – переключатель единицы объема работ; 4 – переключатель условий работы; 5 – переключатель типа разворота; 6 – селектор выбора материала; 7 – информационное сообщение о типе материала, его плотности и стоимости; 8 – редактор начала и окончания операции; 9 – селектор выбора машины по марке; 10 – селектор выбора ширины захвата машины; 11 – селектор выбора марки трактора; 12 – изображение выбранного трактора; 13 – переключатель характеристики операции; 14 – переключатель взаимосвязанной операции; 15 – редактор расхода материала; 16 – селектор коэффициента сменности; 17 – селектор времени смены; 18 – селектор вида машины; 19 – редактор разрывов операции; 20 – изображение выбранной машины; 21 – селектор внутрихозяйственной логистики

Под селектором 2 расположены переключатели, которые позволяют изменить единицы объема выполняемых работ 3 – выбрать тонны или гектары. Переключатель типа разворота 5 позволяет вносить изменения в результаты расчета в связи с особенностями движения уборочного агрегата по полю. Селектор выбора типа материала 6 позволяет редактировать и добавлять соответствующие материалы:

- зеленая масса для заготовки силоса;
- провяленная сенажная масса.

После выбора типа материала в окне редактора появляется информационное сообщение 7 о типе материала, его плотности и стоимости. Данные можно изменить в редакторе расхода материала 15. Редактор начала и окончания операции 8 позволяет изменить сроки выполнения работ.

Селектор выбора машины по марке 9 позволяет изменить или выбрать марку машины для реализации редактируемой операции. При этом для выполнения расчета в автоматическом режиме из базы подтягиваются необходимые характеристики выбранной машины. Селектор 10 позволяет дополнительно указать ширину захвата выбранной машины, что является важным моментом в связи с существующей разномарочностью и наличием различных модификаций сельскохозяйственных машин. В зависимости от тягового класса, с которым агрегируется выбранная машина, в селекторе 11 будет предложен соответствующий перечень тракторов для соответствующей машины. Изображения выбранных трактора 12 и машины 20 после выбора будут загружены в окно редактора.

Для ввода дополнительных характеристик технологических операций, таких как высота среза при скашивании или длина резки при измельчении, необходимо использовать переключатель 13. Для информирования приложения о том, что выбранная операция является взаимосвязанной с другими технологическими операциями, необходимо выбрать переключатель 14.

Селекторы коэффициента сменности 16 и выбора времени смены 17 позволяют ввести соответствующие значения и использовать данные для выполнения расчетов.

Селектор вида машины 18 используется как фильтр и позволяет упростить выбор необходимой машины по марке. Редактор разрывов операции 19 позволяет ввести соответствующие данные для выполнения расчетов. Селектор внутривладельческой логистики 21 позволяет сделать выбор места выполнения операции для вычисления расстояния перемещения техники, выбора рациональных маршрутов движения и решения логистических задач.

По результатам вычисления основных показателей относительно экономической эффективности, производительности и расхода топлива при использовании различных сочетаний уборочной, погрузочной, транспортной и дополнительной специализированной техники для выполнения уборочных работ с учетом конкретных производственных условий принимается решение о рациональном формировании парка мобильных кормоуборочных машин.

На рис. 5 представлен модуль вычисления технико-экономических показателей мобильной кормоуборочной техники.

Рис. 5. Модуль вычисления технико-экономических показателей мобильной кормоуборочной техники: 1 – селектор марки кормоуборочного комбайна; 2 – селектор типа транспортного агрегата; 3 – селектор марки транспортного агрегата; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 – редактируемые поля со значениями урожайности, расстояния перевозки, среднего уклона, длины выезда, длины участка, ширины участка, класса груза и плотности кормов соответственно; 12 – редактируемые поля со значениями времени на замену транспортного агрегата, отдых, ежесменное техническое обслуживание, подготовку к переезду, получение наряда, переезды в начале и конце смены соответственно; 13 – фотографические изображения основной и вспомогательной кормоуборочной техники, 14 – информационные текстовые поля со значениями мощности, массы, радиуса поворота и удельного расхода топлива кормоуборочного агрегата; 15 – селектор монтируемого оборудования; 16 – информационные поля со значениями ширины захвата и марки оборудования; 17 – информационные поля со значениями грузоподъемности, объема кузова и расхода топлива транспортного средства; 18 – кнопка для выполнения расчета

Для использования модуля необходимо указать марку кормоуборочного комбайна путем редактирования информации в селекторе 1. После выбора марки кормоуборочного комбайна из базы данных будут загружены его технические характеристики и будут отображаться в виде информационных текстовых полей 14 со значениями мощности, массы, радиуса поворота и удельного расхода топлива кормоуборочного комбайна. Указать тип транспортного агрегата можно, выбрав соответствующий пункт в селекторе 2.

После выбора марки комбайна станет доступным выпадающий список с перечнем монтируемого оборудования, предназначенного для эксплуатации с выбранным кормоуборочным комбайном. После выделения необходимого пункта из селектора монтируемого оборудования 15 в нижней части основного окна модуля появятся информационные поля 16 со значениями ширины захвата и марки оборудования.

После выбора марки транспортного агрегата в селекторе 3 в окне модуля появится дополнительная информация в виде текстовых полей 17 со значениями грузоподъемности, объема кузова и расхода топлива транспортного средства.

Для выполнения расчетов нужно отредактировать поля переменных значений:

– 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 – редактируемые поля со значениями урожайности, расстояния перевозки, среднего уклона, длины выезда, длины участка, ширины участка, класса груза и плотности кормов соответственно;

– 12 – редактируемые поля со значениями времени на замену транспортного агрегата, отдых, ежесменное техническое обслуживание, подготовку к переезду, получение наряда, переезды в начале и конце смены соответственно.

После нажатия на кнопку 18 появится окно с результатами расчета основных технико-экономических показателей мобильной кормоуборочной техники.

Заключение

В результате проведенных исследований по разработке программного приложения для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин в технологиях заготовки кормов из трав и силосных культур можно сделать следующие выводы:

1) разработаны диаграммы вариантов использования, последовательностей и развертывания, которые позволили рассмотреть программное приложение для формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин на концептуальном уровне, выявить взаимодействие между объектами системы и определить архитектуру ее исполнения;

2) по результатам выполненных исследований результаты проектирования реализованы в программном приложении для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин в технологиях заготовки кормов из трав и силосных культур. Приложение состоит из окна выбора сохраненных результатов вычислений, главного окна и редактора технологических операций. В результате вычисления основных показателей экономической эффективности, производительности и расхода топлива при использовании различных сочетаний уборочной, погрузочной, транспортной и дополнительной специализированной техники для выполнения уборочных работ с учетом конкретных производственных условий принимается решение о рациональном формировании парка мобильных кормоуборочных машин.

Список использованных источников

1. Гаст, Х. Объектно-ориентированное проектирование: концепции и программный код / Х. Гаст. – М.: Диалектика, 2018. – 1040 с.
2. Розин, В. М. Проектирование и программирование: Методологическое исследование. Замысел. Разработка. Реализация. Исторический и социальный контекст / В. М. Розин. – М.: Ленанд, 2018. – 160 с.
3. Круз, Р. Л. Структуры данных и проектирование программ / Р. Л. Круз. – М.: Бином, 2014. – 765 с.
4. Михайлов, Л. Объектно-ориентированная технология разработки программных систем. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 298 с.

В. К. Клыбик, И. С. Пылило

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: Labts@mail.ru*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СНОСА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ УЛЬТРОМАЛООБЪЕМНОМ ОПРЫСКИВАНИИ

Аннотация. Проведены испытания системы и определены рациональные режимы работы сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для внесения жидких растворов из условия минимального сноса рабочей жидкости при заданных частоте вращения распылителя и размере капель.

Ключевые слова: распылитель, агротребования, вращающиеся тарелки, диск, жидкие растворы, ультра-малообъемное, доза.

V. K. Klybik, I. S. Pylilo

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: Labts@mail.ru*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEMOLITION OF THE WORKING FLUID DURING ULTRA-LOW VOLUME SPRAYING

Abstract. The system was tested and the rational modes of operation of an agricultural unmanned aerial vehicle for the introduction of liquid solutions from the condition of minimal demolition of the working fluid at a given rotational speed of the rotating sprayer and the size of droplets were determined

Keywords: sprayer, agricultural requirements, rotating plates, disk, liquid solutions, ultra-low volume, dose.

Введение

Контролируемое капельное опрыскивание является одним из наиболее эффективных методов уменьшения расхода рабочей жидкости без снижения биологической эффективности применения пестицидов. Реализация данного метода возможна за счет использования вращающихся распылителей специальной конструкции, а также перфорированных барабанов для авиационных и полевых опрыскивателей [1].

Успех эффективного применения пестицидов заключается в равномерном и точном распределении рабочей жидкости на целевом объекте. Немаловажную роль также играет размер капель при внесении препарата. У большинства серийных распылителей, применяемых на полевых тракторных опрыскивателях, факел распыла состоит из полидисперсных капель. При таком способе внесения препарата большие капли не достигают целевого объекта и попадают на землю, а мелкие сносятся ветром. Таким образом неэффективно используется значительная часть вносимых пестицидов, которые вместо использования по целевому назначению загрязняют окружающую среду.

В зависимости от задачи, которая решается с использованием тех или иных средств защиты растений, существует определенный размер капель, которому соответствует наибольший биологический эффект. Основной целью контролируемого капельного опрыскивания является создание факела, состоящего из монодисперсных капель, размер которых в максимальной степени способствует повышению биологического эффекта от применения средств защиты растений.

Основная часть

Беспилотный летательный аппарат для защиты растений оснащен центробежной распылительной форсункой. Испытание на размер частиц и анализ ширины распыления центробежной распылительной форсунки проводятся на основе закона движения группы капель.

Для проверки показателей сноса рабочей жидкости для защиты растений макетный образец оснащен центробежной распылительной форсункой. Учитывая, что порывы ветра на открытом воздухе являются серьезным ограничением при измерении осаждения капель, испытание проводилось в закрытом помещении.

Общий вид макетного образца для проверки показателей сноса рабочей жидкости представлен на рис. 1. Номинальное напряжение мембранного насоса системы подачи жидкости составляет 50 В, расход насоса составляет 700 мл/мин, а система измерения размера частиц состоит из миллиметровой бумаги и лабораторного микроскопа МПБ-2. Рабочие параметры и принцип работы этой системы следующие: частота инвертора регулируется таким образом, чтобы частота вращения катушки составляла от 8,33 до 16,67 об/с, производительность насоса регулируется до 700 мл/мин, температура внутри помещения составляет $(30 \pm 2) ^\circ\text{C}$, относительная влажность $35 \pm 10 \%$, выходное отверстие распылителя находится на расстоянии 0,3 м от земли, в помещении нет ветра. Начало координат находится непосредственно под центром форсунки.



Рис. 1. Общий вид макетного образца

Был проведен полный факторный эксперимент. Параметр оптимизации обозначен символом u , и в качестве его был принят показатель сноса рабочей жидкости, измеряемый в метрах [2].

За факторы процесса, влияющие на показатель параметра оптимизации, были приняты скорость ветра (м/с), размер капель (мкм) и частота вращения распылителя (об/мин) (табл. 1).

Таблица 1. Перечень регулировочных факторов, характеризующих процесс внесения жидких растворов

Тип машин	Факторы		
	x_1	x_2	x_3
Макет системы внесения жидких растворов	V_w	Dk	n

Скорость ветра определяли анемометром. Размер капель определяли с помощью микроскопа после нанесения подкрашенного раствора на бумагу. Изменение частоты вращения вращающегося распылителя осуществляли частотным регулятором, а фактическое значение измеряли тахометром.

Выбор уровней значений для каждого из факторов, включенных в эксперимент, составил: для $V_w = 0,5-3,00$ м/с, $Dk = 0,16-0,34$ мм, $n = 8,33-16,67$ об/мин. Для каждого фактора определяли основной уровень и интервал варьирования.

Для проведения полнофакторного эксперимента построили план-матрицу проведения опытов с реализацией всех возможных сочетаний упорядоченных комбинаций факторов (табл. 2).

Таблица 2. План-матрица проведения опытов

№ опыта	$x_1 \rightarrow V_w$	$x_2 \rightarrow Dk$	$x_3 \rightarrow n$
1	0,5	0,34	8,33
2	3,0	0,34	8,33
3	0,5	0,16	8,33
4	3,0	0,16	8,33
5	0,5	0,34	16,67
6	3,0	0,34	16,67
7	0,5	0,16	16,67
8	3,0	0,16	16,67

Для записи априорных сведений о факторах процесса, записи верхних, нижних и основных уровней варьирования факторов, интервалов варьирования, плана матрицы планирования, результатов эксперимента, промежуточных и конечных результатов расчета, для проверки воспроизводимости эксперимента, значимости коэффициентов, проверки адекватного описания процесса подготовили к заполнению журнал планирования эксперимента.

Порядок проведения опытов рандомизирован. По каждой точке плана матрицы планирования устанавливали действительные значения факторов, верхний или нижний уровень, в порядке реализации опытов первой серии эксперимента. Требуемые фактические значения факторов поддерживали постоянными в течение опыта.

После реализации опыта получили действительные значения ожидаемого показателя параметра оптимизации по всем точкам плана матрицы планирования.

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов декодировали уравнение регрессии [3, 4, 5]. Для этого нашли значения факторов x_1 , x_2 и x_3 в натуральных их значениях по формуле

$$x_j = \frac{2z_j - z_{jn} - z_{je}}{z_{je} - z_{jn}},$$

где z_j – натуральное значение факторов; z_{jn} – нижний предел натурального значения фактора; z_{je} – верхний предел натурального значения фактора.

Фактор скорости ветра в натуральных значениях:

$$x_1 = \frac{2V_w - 0,5 - 3,0}{3,0 - 0,5} = 0,8V_w - 1,4.$$

Фактор размера капель:

$$x_2 = \frac{2Dk - 0,34 - 0,16}{0,16 - 0,34} = -11,1Dk + 2,78.$$

Фактор частоты вращения диска:

$$x_3 = \frac{2n - 8,33 - 16,67}{16,67 - 8,33} = 0,24n - 3.$$

Подставив натуральные значения факторов x_1 , x_2 и x_3 в уравнение регрессии, получили функцию отклика в зависимости от натуральных значений

$$y = -0,24 + 1,62 \cdot V_w - 0,86 \cdot Dk - 0,005 \cdot n + 0,02 \cdot Dk \cdot n - 0,085 \cdot V_w \cdot Dk \cdot n + 1,06 \cdot V_w \cdot Dk + 0,02V_w \cdot n.$$

При анализе функции отклика по влиянию факторов получены следующие значения: при максимальной скорости ветра $V_w = 3,0$ м/с с минимальными размером капель $Dk = 0,34$ мм и минимальной частотой вращения вращающегося распылителя $n = 8,33$ об./с снос рабочей жидкости

составил 5,2 м; при минимальной скорости ветра $V_w = 0,5$ м/с с максимальным размером капель $Dk = 0,16$ мм и минимальной частотой вращения вращающегося распылителя $n = 8,33$ об./с снос рабочей жидкости снижается до 0,53 м; а при минимальной скорости ветра $V_w = 0,5$ м/с с минимальными размером капель $Dk = 0,34$ мм и максимальной частотой вращения вращающегося распылителя $n = 16,67$ об./с снос рабочей жидкости составил 0,41 м. Следовательно, на снос рабочей жидкости наибольшее влияние оказывает скорость бокового ветра. Влияние других факторов сказывается в меньшей степени, однако учитывать их стоит.

Рациональные режимы работы сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для внесения жидких растворов выбираем из условия минимального сноса рабочей жидкости при заданных частоте вращения вращающегося распылителя и размере капель. Для обоснования конструктивных решений по полученному уравнению регрессии была построена диаграмма зависимости смещения рабочего раствора от скорости ветра и размера капель (рис. 2).

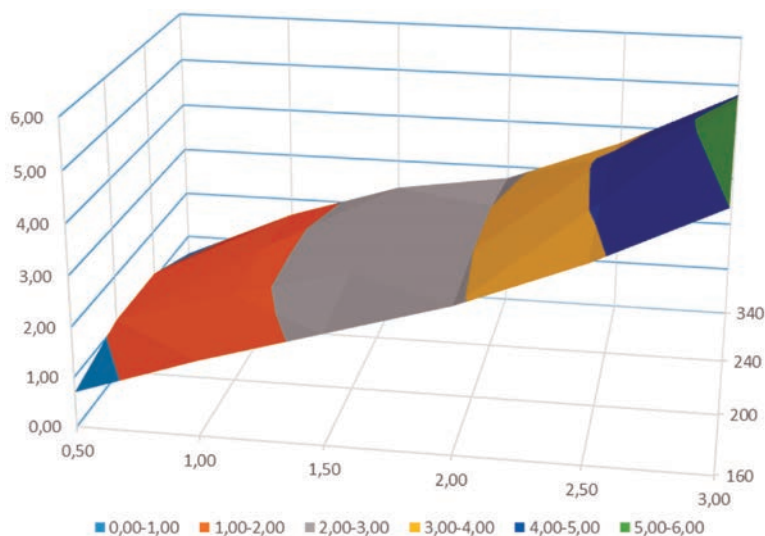


Рис. 2. Диаграмма зависимости смещения рабочего раствора от скорости ветра и размера капель

На рис. 3 показано соответствие между расстоянием дрейфа капли и скоростью ветра при различных размерах капель.

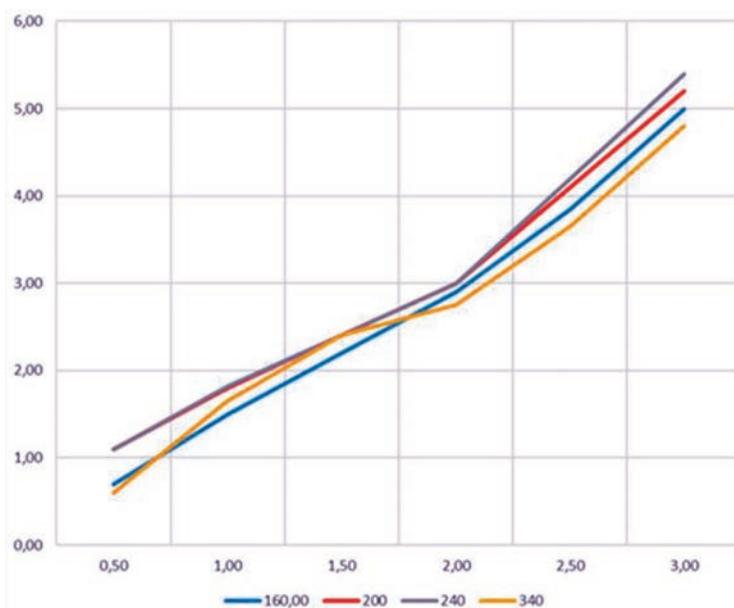


Рис. 3. Графики зависимости сноса рабочей жидкости от скорости ветра при различных размерах капель

Под воздействием ветра процесс дрейфующего движения капли включает в себя взаимодействие капли и поля воздушного потока, обмен импульсом и энергией между непрерывной фазой и дискретной фазой, а также турбулентную пульсацию поля потока. В то же время эти факторы также связаны друг с другом. Такая зависимость факторов приводит к тому, что модель дрейфа распыления мультироторного беспилотного летательного аппарата для защиты растений демонстрирует сильную нелинейность. Для выяснения взаимосвязи между дрейфом капель и этими факторами необходимо проведение дополнительных исследований.

Заключение

Анализ полученных зависимостей и закономерностей показал, что в случае, когда размер капли составляет 240 мкм, расстояние дрейфа капли становится все больше по мере постепенного увеличения скорости ветра. При скорости наветренной стороны менее 1,75 м/с скорость нисходящего потока воздуха роторов БПЛА влияет на боковое перемещение капли и таким образом боковое расстояние капли медленно увеличивается, а увеличение расстояния дрейфа постепенно уменьшается. Когда скорость ветра увеличивается до 1,75 м/с или более, влияние наветренного потока воздуха на движение капель постепенно становится выше, чем влияние нисходящего потока воздуха от ротора. Следовательно, поперечное расстояние капли увеличивается быстрее, а расстояние дрейфа увеличивается постепенно.

Следовательно, в целом, когда скорость ветра находится в пределах 3 м/с, чем больше размер частиц, тем дальше уносится капля; но, когда размер частиц достигает определенного уровня, наветренный поток воздуха становится доминирующим фактором, влияющим на расстояние дрейфа капли, и чем больше размер частиц, тем ближе дрейф капель. Когда скорость ветра составляет 2 м/с, а размер частиц колеблется от 150 до 350 мкм, расстояние дрейфа капли превышает площадь нисходящего потока. По мере увеличения размера частиц расстояние дрейфа капли сначала увеличивается, а затем уменьшается.

Список использованных источников

1. Беспилотники в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] // Российские беспилотники. Russian Drones. – Режим доступа: <https://russiandrone.ru/publications/bespilotniki-v-selskomkhozyaystve>. – Дата доступа: 24.09.2020.
2. Вейников, В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Вейников. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
3. Вольф, В. Г. Статистическая обработка опытных данных / В. Г. Вольф. – М.: Колос, 1966. – 255 с.
4. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1972. – 358 с.
5. Губин, В. И. Статистические методы обработки экспериментальных данных / В. И. Губин, В. Н. Осташков: учеб. пособие для студентов технических вузов. – Тюмень: Изд-во «ТюмГНГУ», 2007. – 202 с.

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВ

Аннотация. Статья посвящена анализу технических средств для сортировки плодов семечковых культур.
Ключевые слова: плоды, метод осмотра, вероятность осмотра, площадь плода, объект контроля, приемник излучения.

Anton N. Yuryn

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF INSPECTION FOR OPTICAL IDENTIFICATION OF FRUIT QUALITY

Abstract. This article provides a rationale for the method of inspecting the surface of fruits during their sorting by means of an optical method using a technical vision system.

Keywords: fruits, inspection method, inspection probability, area of the fetus, control object, radiation receiver.

Введение

Потери плодов от уборки и до момента поступления к конечному потребителю составляют до 30 %. Это вызывает потребность их сортирования. В настоящее время контроль качества плодов – мало механизированный процесс, и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки плодов [1–4].

В процессе сортировки учитываются размер плодов, их цвет, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

Качественно данную работу при ручном сортировании может выполнить опытный специалист-сортировщик. Однако производительность работ при ручной сортировке на три товарных сорта составляет 40–70 кг/ч, хотя плоды подвергаются минимальному механическому травмированию [1].

В 2019 г. в общественном секторе республики произведено более 157,3 тыс. т яблок. Для осуществления их сортировки требуются трудозатраты в количестве 24,5 тыс. чел.дн [2]. Учитывая складывающийся дефицит рабочих в сельском хозяйстве, актуально внедрение в производство средств механизации и автоматизации, облегчающих или полностью исключаящих ручной труд при сортировке плодов.

В связи с этим создание технического средства, позволяющего определить качество поверхности плода [4–8], является важной агроинженерной задачей.

Основная часть

Повышение производительности труда на операции сортирования возможно за счет сокращения времени осмотра плода автоматическими сортировочными устройствами. Автоматизированная сортировка осуществляется без участия или с частичным участием человека сканирующим устройством, которое осуществляет фото- или видеосъемку плода, распознавание его, присвоение плоду соответствующего сорта и выдачу управляющего сигнала для рабочего органа, осуществляющего непосредственное отделение плода от общего потока яблок.

Для этого в настоящее время используют системы технического зрения (далее – СТЗ). Однако известные в настоящее время технические средства с СТЗ позволяют качественно осуществлять сортировку плодов только по размеру и цвету. Сортировка же по наличию повреждений от вредителей, болезней и механического повреждения не осуществляется, что снижает качество конечного продукта и требует затрат труда операторов-сортировщиков, которым необходимо осуществлять дополнительный контроль качества на выходе продукции.

Системы распознавания качества плодов. В настоящее время существуют различные устройства, предназначенные для съема оптической информации с поверхности плодов. В работах [9–15] предложен и развит принцип осмотра поверхности плода – поэлементный обзор – сканирование поверхности. Сканирующее устройство при осмотре должно обеспечивать:

- 1) съём оптической информации с поверхности плода в определенных диапазонах спектра оптического излучения;
- 2) определенное быстродействие, зависящее от производительности сортировочного устройства;
- 3) количество одновременно осматриваемых плодов должно соответствовать производительности сортировочного устройства, размерам плодов и скорости их перемещения в процессе сортирования;
- 4) «бережное» отношение к плоду – сканирующее устройство не должно наносить плодам дополнительных повреждений.

Сканирующие устройства можно классифицировать по следующим признакам:

- по количеству спектральных диапазонов;
- по принципу действия;
- по способу осмотра поверхности плода;
- по количеству одновременно осматриваемых плодов (по количеству плодов, одновременно находящихся в поле зрения).

По количеству спектральных диапазонов сканирующие устройства подразделяются на монохромные и спектральнональные.

Монохромные сканирующие устройства используют один диапазон оптического излучения, оптимальный для распознавания, как правило, одного показателя качества продукции.

Спектральнональные сканирующие устройства имеют несколько параллельных работающих оптических каналов, каждый из которых выделяет из оптического спектра определенный диапазон, оптимально отвечающий процессу распознавания отдельного показателя качества, причем это может быть как видимый, так и инфракрасный или ультрафиолетовый диапазоны.

Достоинством спектральнональных сканирующих устройств является возможность получения высокой чувствительности при выделении определенного объекта, недостатком – сложность и оригинальность конструкции, приводящие к высокой стоимости изготовления и низкой эксплуатационной надежности. Цветные сканирующие устройства являются разновидностью спектральнональных. Они работают в трех диапазонах, соответствующих чувствительности человеческого глаза – красном, зеленом и синем. Так как этот принцип используют телевизионные камеры вещательного стандарта, то подобные сканирующие устройства получили широкое распространение как в телевидении, так и в прикладных отраслях – медицине, биологии, космических исследованиях и др. При этом современные технологии позволяют изготавливать эти устройства – видеодатчики высокого качества и надежности.

По принципу действия сканирующие устройства разделяются на оптико-механические и электронно-оптические.

Принцип действия оптико-механических устройств заключается в механической развертке изображения поверхности продукта [15].

В начале исследований по данной проблеме они широко применялись в исследованиях и экспериментальных устройствах. Однако, ввиду своей специфичности и низкой надежности, они не нашли дальнейшего применения.

Электронные оптические сканирующие устройства в современных приборах представлены в основном твердотельными датчиками (видеокамерами) [14, 15].

Электронно-оптические сканирующие устройства разделяются на вакуумные и твердотельные.

По способу осмотра поверхности плода сканирующие устройства могут быть:

- с односторонним осмотром поверхности объекта;
- с многосторонним осмотром поверхности объекта;
- с несколькими одновременно осматриваемыми плодами.

Так как дефекты плодов могут располагаться на разных сторонах плода, целесообразной является сканирующая система с *многосторонним осмотром поверхности объекта*, так как только она сможет обеспечить качественную сортировку плодов.

Очевидно, что сканирующее устройство, осуществляющее видеосъемку одновременно большого количества плодов, является наиболее перспективным, так как обеспечивает более высокую производительность труда.

Заключение

1. Существующее многообразие сортировочных устройств в настоящее время не решает на должном уровне проблемы сортировки плодов по качеству поверхности.

2. Задачей создания технических средств автоматического сортирования плодов является создание средств распознавания их качества в видимой области спектра оптического излучения, основу которых составляют видеокамеры.

3. Система СТЗ должна быть основана на цветной электронной видеокамере видимого спектра оптического излучения, осуществляющей многостороннюю одновременную съемку большого количества плодов.

Список использованных источников

1. Юрин, А. Н. Перспективы развития садоводства в Республике Беларусь. [Электронный ресурс] // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/perspektivy-razvitiya-sadovodstva-v-respublike-belarus>. – Дата доступа: 30.04.2018.
2. Юрин, А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А. Н. Юрин. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 208 с.
3. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.
4. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация производства. – 1989. – № 9. – С. 23.
5. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М.: Колос, 1970. – 246 с.
6. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
7. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 235 с.
8. Валовой сбор и урожайность фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – 14 с.
9. Будаговская, О. Н. Лазерно-оптические методы и технические средства многопараметрической диагностики растений и плодов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / О. Н. Будаговская ; Моск. гос. агроинж. ун-т им. В. П. Горячкина. – М., 2013. – 39 с.
10. Гурьянов, Д. В. Распознавание качества плодов. Сортировочные устройства для плодов по их качеству / Д. В. Гурьянов // Робототехника в с.-х. технологиях : сб. ст. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 177–182.
11. Применение методов люминесцентного анализа в системах технического зрения при сортировании плодов / М. В. Кирина [и др.] // Робототехника в с.-х. технологиях : сб. ст. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 188–191.
12. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов. – Мичуринск, 2004. – 199 л.
13. Будаговская, О. Н. Оптические методы диагностики зрелости и качества плодоовощной продукции / О. Н. Будаговская // Вестн. Мичурин. гос. аграр. ун-та : сб. ст. / Всерос. науч.-исслед. ин-т садоводства им. И. В. Мичурина. – 2011. – № 2 (2). – С. 83–91.
14. Родиков, С. А. Совершенствование методов электрического и оптического контроля качества яблок при созревании и хранении : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / С. А. Родиков ; Всерос. НИИ садоводства им. Мичурина. – Мичуринск-Наукоград, 2010. – 39 с.
15. Лакомов, Д. В. Обработка изображений при распознавании образов сельскохозяйственной продукции / Д. В. Лакомов // Цифровизация агропром. комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 окт. 2018 г. / М-во науки и высш. образования / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2018. – Т. 1. – С. 261–263.

А. Н. Юрин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ СРЕЗАННЫХ ВЕТОК В САДАХ ИНТЕНСИВНОГО ТИПА

Аннотация. В данной статье представлен анализ технологий утилизации обрезанных веток в садах интенсивного типа Республики Беларусь.

Ключевые слова: измельчение веток, заделка щепы, технология утилизации, механизация уборки.

Anton N. Yuryn

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

ANALYSIS OF UTILIZATION TECHNOLOGIES OF CUT BRANCHES IN INTENSIVE GARDENS

Abstract. This article presents an analysis of the technologies for recycling cut branches in intensive gardens in the Republic of Belarus.

Keywords: branch chopping, chip embedding, recycling technology, harvesting mechanization.

Введение

Важным агротехническим приемом ухода за плодовыми насаждениями является обрезка деревьев. Она влияет на урожайность возделываемых насаждений, качество плодов и периодичность плодоношения. Отличительной чертой данной операции является то, что после ее осуществления в междурядьях сада остаются отходы обрезки – срезанные ветки. В зависимости от конструкции насаждения и его возраста объем срезаемых ветвей составляет 3–28 т/га [1].

Такое количество отходов требует проведения технологических операций по их утилизации. Поэтому проблема утилизации и рационального использования отчуждаемой плодовой древесины является актуальной.

Основная часть

В настоящее время существуют различные технологии утилизации обрезанных веток в саду (рис. 1).

Первый способ уборки заключается в собирании сучьев рабочими вручную с погрузкой в транспортное средство,двигающееся непосредственно по междурядью, и вывозу сучьев за пределы сада с последующим их сжиганием. Этот способ очень трудоемкий и малопродуктивный. Кроме того, при погрузке и разгрузке возможно травмирование людей.

Более производительным является способ формирования валка обрезанных веток посередине междурядий, получивший наибольшее распространение в садоводческих хозяйствах в настоящее время. После формирования валка производится свалакивание ветвей из междурядий волокушей или граблями, сбор ветвей в кучу за пределами сада с последующим сжиганием.

Наиболее распространена в республике технология свалакивания срезанных ветвей за пределы сада при помощи волокуши типа В-2,5М и СВ-1 (рис. 2–3) [1–3]. Подобная технология обладает

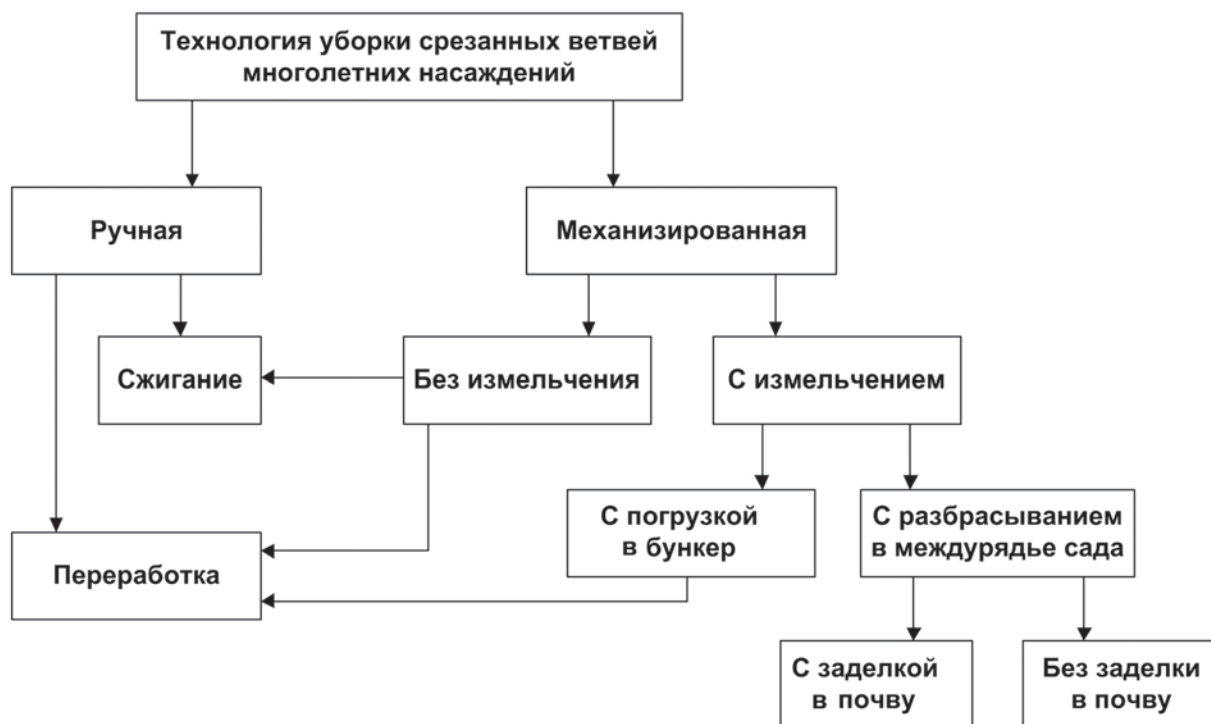


Рис. 1. Классификация технологий уборки срезанных ветвей многолетних насаждений



Рис. 2. Волокуша садовая В-2,5М



Рис. 3. Машина для сбора срезанных ветвей СВ-1

рядом недостатков. При свалакивании сучьев из междурядий они накапливаются в рабочем объеме волокуши, выходят за ее пределы и, цепляясь за деревья, срывают плодовые почки и ломают ветви, что приводит к ежегодным потерям урожая, достигающим 56–140 кг/га [3].

Недостатком также является нерациональное использование плодовой древесины – сжигание, которое приводит к загрязнению окружающей среды. Так, с каждой тонны сожженных веток в воздух выделяется 2–3 кг оксида углерода, 0,2 кг диоксида серы и другие вредные вещества. Это оказывает токсичное действие на природную экосистему и здоровье человека. При этом, кроме загрязнения окружающей среды, происходит выжигание почвы. Из сельскохозяйственного оборота изымается до 2 % плодородной почвы [3].

Целью технологии механизированной уборки с измельчением является получение технологической щепы. При этом на размерные параметры полученной массы накладывается ограничение, связанное с технологическими процессами дальнейшей переработки. Кроме того, промышленное производство должно вестись круглый год, тогда как место насаждения плодовых деревьев должно быть освобождено от отходов обрезки в течение 2–4 месяцев [3]. Поэтому для равномерной круглогодичной загрузки перерабатывающего предприятия собранная масса ветвей должна

складироваться. Однако хранение древесной массы в виде технологической щепы осложняется ее склонностью к самовозгоранию.

Этот и другие описанные способы уборки обрезанной древесной массы не учитывают систему содержания почвы в садах, состояния рельефа междурядий.

Более рациональной с этой точки зрения является технология измельчения сучьев непосредственно при движении по междурядью сада и заделка щепы в почву. Положительным аспектом применения данной технологии является использование обрезанной биомассы для повышения плодородия почвы в садах.

Исследования [4, 5] показали, что при освоении закустаренных земель методом прямой заделки кустарника разложение его происходит в течение 2–4 лет, а перегнившие древесные остатки повышают плодородие почвы и улучшают ее структуру, обогащая гумусом, способствующим активной деятельности микрофлоры. Однако во время разложения запаханные древесные остатки снижают урожайность сельскохозяйственных культур. Это объясняется содержанием в древесине смол и танидов. Поэтому попытки применения технологии в садах на сильнорослых подвоях привели к снижению урожайности плодовых деревьев, в результате чего от нее отказались.

Другая картина наблюдается в садах на слаборослых подвоях, там, где корневая система деревьев практически полностью находится в радиусе 1 м от штамба [1, 2]. Свободная часть междурядья, предназначенная для передвижения садовой техники, остается чистой от корней, благодаря чему угнетающий эффект разложения не влияет на плодоношение насаждений.

Другой положительной стороной применения данной технологии является возможность совмещения операции утилизации срезанных ветвей с осенней обработкой почвы [3].

Положительные отзывы по применению данной технологии при освоении закустаренных земель представлены в работах [4–14], в которых обоснована и доказана ее экономическая и экологическая эффективность.

Технология измельчения сучьев непосредственно при движении по междурядью сада без заделки щепы в почву применяется для получения мульчирующего эффекта от щепы.

Мульчирование почвы в междурядьях сада щепой срезанных веток способствует улучшению агрофизических свойств почвы, ее объемная масса в слое 10 см снижается на 10–13 %, на 10 % увеличивается водопроницаемость почвы, под мульчой складывается более благоприятный тепловой режим, где температура почвы увеличивается на 2,7–3 °С, снижается испарение влаги из почвы и на 30–33 мм возрастает количество продуктивной влаги.

Кроме того, мульчирование обеспечивает повышение урожайности возделываемых культур на 15,7–35,9 % [14], средней массы плода на 9,2–17,3 %, сокращение затрат труда до 142 чел.ч/га, получение экологически чистой продукции и снижение энергоемкости получения 1 кг плодов до 1,09–1,23 МДж.

Таким образом, измельчение ветвей непосредственно в междурядье сада является наиболее рациональной технологией утилизации обрезанных веток для садов интенсивного типа Беларуси.

Заключение

1. Проведенными научными исследованиями обоснованы параметры и режимы работы измельчителей, обеспечивающих измельчение ветвей деревьев с одновременной заделкой измельченных остатков в почву или без нее.

2. До настоящего времени нерешенным остается вопрос сбора ветвей по всей ширине междурядья сада, который бы позволил полностью механизировать процесс утилизации обрезанных ветвей и осуществлять измельчение и валкование древесных остатков за один проход по саду.

Список использованных источников

1. Интенсивные технологии в садоводстве / Nowe technologie w sadownictwie / пер. с пол. Н. А. Чупеева. – М. : Агропромиздат, 1990. – 300 с.
2. Завражнов, А. И. Теоретический анализ процесса измельчения плодовой древесины / А. И. Завражнов, К. А. Маенаев, В. Ю. Ланцев // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2001. – № 4. – С. 41–45.

3. Завражнов, А. А. Передовые производственные технологии в решении проблем механизации трудоемких процессов в промышленном садоводстве / А. А. Завражнов, А. И. Завражнов, В. Ю. Ланцев // Достижения науки и техники АПК : науч.-тех. журнал. – 2017. – Т. 31. – № 8. – С. 58–61.
4. Манаенков, К. А. Ресурсосберегающие технологии и комплекс машин для ухода за почвой в интенсивных садах: автореф. дисс. ... докт. техн. наук : 05.20.01 / К. А. Манаенков ; Мичуринский государственный аграрный университет. – Мичуринск, 2010. – 35 с.
5. Манаенков, К. А. Ресурсосберегающий уход за почвой в интенсивных слаброслых садах / К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев, В. Г. Бросалин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2006. – № 1. – С. 144–148.
6. Завражнов, А. И. Технологии и техника для интенсивного садоводства России / А. И. Завражнов, А. А. Завражнов, В. Ю. Ланцев // Инновационная деятельность – основа повышения эффективности и модернизации садоводства и ягодоводства в современных условиях : материалы междунар. дист. науч.-практ. конф., Мичуринск, 1-15 сент. 2013 г. / Мичуринский государственный аграрный университет ; ред.: Трунов Ю.В. [и др.]. – Мичуринск, 2013. – С. 57–61.
7. Требования интенсивного сада. / И. М. Куликов [и др.]. // Информационно-аналитический бюллетень БЭА. – 2017. – № 2. – 41 с.
8. Машина для измельчения древесного материала и заделки полученной массы в почву: пат. RU 2188524 С2 / А. И. Завражнов, К. А. Манаенков, В. Ю. Ланцев. – Оpubл. 10.09.2002.
9. Currant, aronia and raspberry roots shredder – Samson [Electronic resource]. – Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/root-shredder/?from=1316>. – Date of access: 17.07.2020.
10. Berta bush cutter Samson [Electronic resource]. – Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/bush-cutter/?from=1306>. – Date of access: 17.07.2020.
11. Косилка-измельчитель MU Profi (Tehnos) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.selagro.com/technics/id338>. – Дата доступа: 29.07.2020.
12. Heavy duty flail pruning choppers – Series KG en KK [Electronic resource]. – Mode of access: <https://vanwamel.nl/en/products/orchards-vineyards/pruning-choppers/134-kg-kk-heavy-duty-models>. – Date of access: 17.07.2020.
13. Flail toppe UML 150 – UML 170 – UML 190 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.megametal.hr/en/products/flail-topper/>. – Date of access: 17.07.2020.
14. Flail mowers and shredders – Dragone [Electronic resource]. – Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/mower-flail-shredder-dragone-2//>. – Date of access: 17.07.2020.

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ЯБЛОК

Аннотация. Статья посвящена актуальности создания технического средства для автоматизации процесса сортировки яблок, в частности, основного ее элемента – системы технического зрения.

В статье представлено обоснование способа обучения искусственной нейронной сети (ИНС) дефектам плодов, предложена её архитектура для решения данной задачи, обоснованы критерии оценки точности и полноты распознавания дефектов, а также приведены результаты функционирования системы технического зрения (СТЗ) с применением предложенной ИНС.

Разработанная СТЗ внедрена в линию сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, успешно прошедшую приемочные испытания и производственную проверку в ОАО «Остромечево» Брестской области. В ходе приемочных испытаний линии ЛСП-4 установлено, что она обеспечивает точность сортировки по размеру 75,4 %, по наличию дефектов – 73,1 % и производительность труда – 1,8 т/ч.

Ключевые слова: сортировка яблок, дефекты плодов, обучающая выборка, парша, гниль, нажим, прокол.

Anton N. Yuryn

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ARCHITECTURE OF A TECHNICAL VISION SYSTEM FOR SORTING APPLES

Abstract. The article is devoted to the relevance of creating a technical tool for automating the apple sorting process, in particular, its main element – a technical vision system. The article presents the rationale for the method of training an artificial neural network (ANN) for fruit defects, proposes its architecture for solving this problem, substantiates the criteria for assessing the accuracy and completeness of defect recognition, and also presents the results of the operation of a technical vision system (VS) using the proposed ANN.

The developed technical vision system was introduced into the LSP-4 apple sorting and packaging line, which successfully passed acceptance tests and production inspection at Ostromechevo OJSC, Brest region. During acceptance tests of the LSP-4 line, it was found that it ensures sorting accuracy by size of 75.4 %, by the presence of defects – 73.1 % and labor productivity – 1.8 t/h.

Keywords: apple sorting, fruit defects, training set, scab, rot, pressure, puncture.

Введение

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование, в процессе которого продукцию разделяют на сорта по качеству в зависимости от размера и наличия дефектов. Эта операция осуществляется, как правило, вручную при визуальном осмотре плодов рабочими, что требует большого количества ручного труда [1–6]. В настоящее время на данную операцию приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки плодов.

Использование автоматизированных сортировальных машин для идентификации и разделения плодов на сорта позволяет значительно повысить качество сортирования и производительность.

Наиболее подходящим для автоматизации способом идентификации качества плодов является метод оптического контроля, поскольку он обеспечивает высокую точность оценки качества и соответствует условиям технологии.

Поэтому создание оптико-электронной системы (в дальнейшем – ОЭС), позволяющей определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии с тем, как это делает человек [7–13], является важной агроинженерной задачей.

Цель исследования – повышение эффективности садоводства Республики Беларусь посредством внедрения в производство СТЗ для автоматизированной сортировки яблок по размеру и наличию дефектов.

Задачи исследования – обоснование конструктивно-технологической схемы и основных параметров ОЭС, разработка алгоритма её функционирования и программного обеспечения, проведение испытаний.

Материалы и методы. Исследованиями предусматривалось проведение лабораторных опытов по распознаванию дефектов яблок и производственных испытаний изготовленной на основе исследований технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4. Для создания обучающей выборки помологических особенностей и дефектов плодов использованы плоды урожая 2020–2021 гг. производства ОАО «Остромечеве» сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер», а также была создана лабораторная установка системы технического зрения, включающая в себя оптический модуль со структурной подсветкой, стол с вращающимися роликами и электронный блок управления.

Результаты и их обсуждение

Глубокое обучение нейронной сети. Глубокое обучение – это класс методов машинного обучения, в котором признаки для классификации образов определяются и задаются не вручную, а автоматически генерируются с помощью математических моделей – ИНС [1, 2]. Технически обучение ИНС заключается в нахождении коэффициентов связей (весов) между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Под термином «обобщение» понимается способность ИНС на основе обучающей выборки генерировать правильный ответ при анализе входных данных, которые не встречались в процессе обучения. Схематически процесс обучения ИНС представлен на рис. 1.

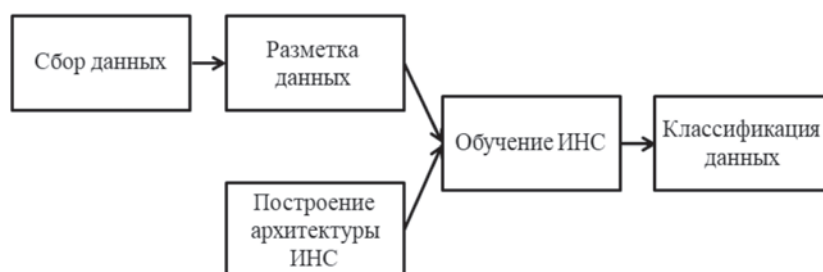


Рис. 1. Процесс обучения ИНС

Способность моделей глубокого обучения автоматически выделять признаки для классификации образов приводит к тому, что для их обучения требуется большой объем обучающих данных, который значительно превышает объем, достаточный для обучения других, классических моделей машинного обучения. Для оптимизации процесса формирования обучающей выборки создаются открытые базы данных размером в миллионы цифровых изображений. Однако при решении конкретных практических задач нередки случаи, когда в базах данных отсутствуют изображения, содержащие искомые для конкретной технической задачи эталонные образы. Это требует использования других подходов к формированию обучающей выборки: на основе реальных изображений; на основе синтетических изображений; из синтетических данных, сгенерированных на основе реальных изображений.

Кроме обучающих данных, необходимо также построить архитектуру ИНС, приемлемую для решения конкретной задачи. Для задачи распознавания дефектов на изображениях яблок исполь-

зуются ИНС, называемые детекторами. Детекторы способны указать местоположение объекта на изображении и его класс. Учеными предложено множество архитектур детекторов. Самыми популярными из них являются SSD (Single Shot MultiBox Detector) [3], R-FCN (Region-based Fully Convolutional Networks) [4] и Faster RCNN (Faster Region-based Convolutional Neural Networks) [5]. Эти детекторы обладают разными характеристиками быстродействия и точности. В работе [6] детекторы были обучены на наборе данных COCO dataset и протестированы. Результаты исследования представлены на рис. 2.

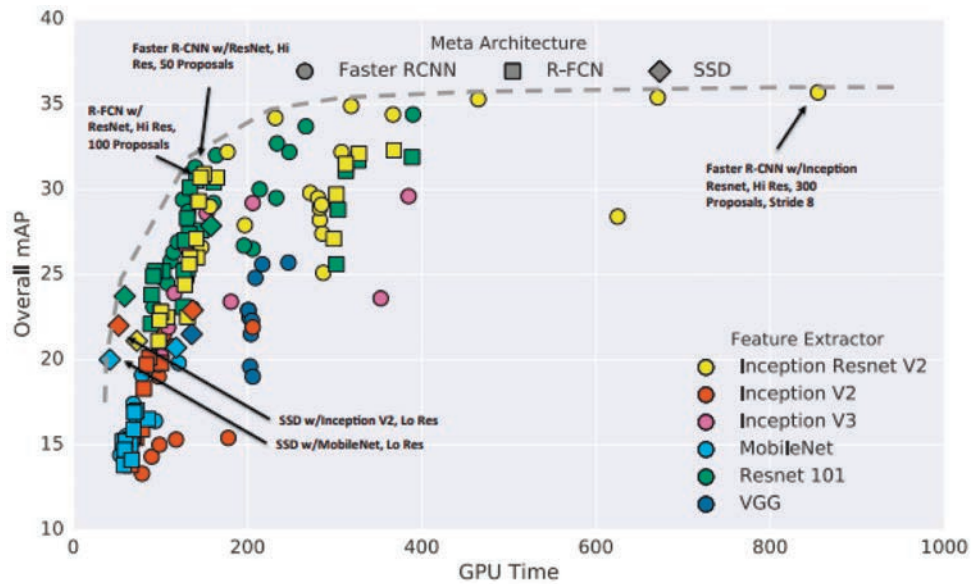


Рис. 2. Сравнительные характеристики детекторов

По вертикальной оси представлены значения оценки средней точности работы детектора, по горизонтальной оси – быстродействие работы. Самым быстрым оказался детектор SSD на основе нейронной сети MobileNet, а самым точным – детектор Faster R-CNN на основе нейронной сети Inception Resnet V2. Так как задача сортировки яблок на конвейере требует высокой точности результатов, то для реализации алгоритма распознавания дефектов был выбран детектор Faster R-CNN Resnet V2.

Архитектура детектора Faster R-CNN по сути является комбинацией двух нейронных сетей: детектора Fast R-CNN и нейронной сети, предсказывающей ограничивающие объекты прямоугольники, называемой RPN [4] (рис. 3).

Работу детектора можно разделить на несколько шагов.

Шаг 1. Получить из входного изображения карту свойств, используя любую сверточную сеть без последних полносвязных слоев, служащих для классификации.



Рис. 3. Архитектура детектора Faster R-CNN

Шаг 2. Получить ограничивающие объекты прямоугольники, используя сеть RPN (рис. 4).

На вход сети RPN поступает карта свойств, полученная на предыдущем шаге, на выходе – координаты ограничивающих прямоугольников, в которых предположительно содержится объект, и вероятности нахождения объекта в предложенных ограничивающих прямоугольниках.

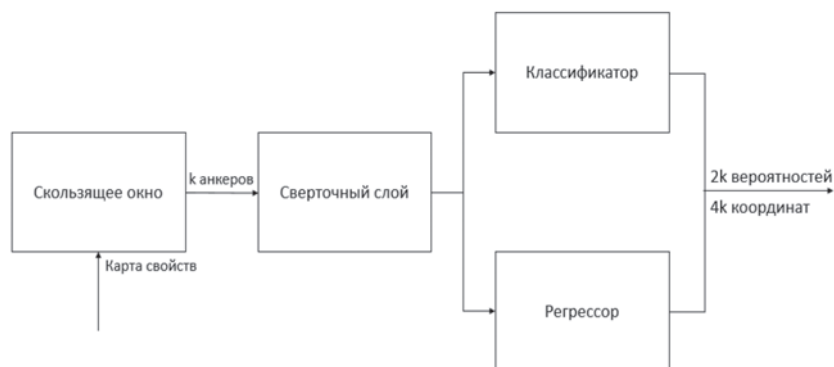


Рис. 4. Архитектура нейронной сети RPN

RPN – это небольшая полносвязная сверточная нейронная сеть, состоящая из сверточного слоя размером $n \times n$, за которым следуют два параллельных полносвязных сверточных слоя размером 1×1 , используемые для классификации и регрессии. Для генерации ограничивающих прямоугольников сеть использует небольшое скользящее окно размером $n \times n$ над картой свойств, которое генерирует k прямоугольников разных размеров и пропорций, называемых анкерами. Небольшая часть карты свойств, ограниченная анкерами, поступает на слои классификации и регрессии для предсказания ограничивающих прямоугольников и вероятностей нахождения в них объектов. Таким образом, на выходе слоя регрессии получается $4k$ координаты ограничивающих прямоугольников, а на выходе слоя классификации – $2k$ вероятностей нахождения объекта в ограничивающем прямоугольнике. Авторы предлагают брать $k = 9$ и $n = 3$.

Шаг 3. Классифицировать ограничивающие прямоугольники, полученные на шаге 2, используя карту свойств, полученную на шаге 1, также уточнить координаты ограничивающих прямоугольников.

После формирования обучающей выборки и выбора подходящей архитектуры ИНС можно приступить к непосредственному ее обучению. Для этого на вход ИНС поочередно подаются изображения обучающей выборки, а на выход – их разметка, т. е. координаты ограничивающих прямоугольников и соответствующие им классы. Необученная ИНС, пропуская через себя входное изображение, генерирует координаты ограничивающих прямоугольников и соответствующие им вероятности принадлежности объектов классам. Затем выход, полученный необученной ИНС, сравнивается с эталонным выходом, получая оценку схожести, и методом обратного распространения ошибки параметры нейронов ИНС корректируются таким образом, чтобы минимизировать оценку схожести. Обучение останавливается тогда, когда эта оценка достигает заранее установленного порога.

В итоге результатом процесса обучения является ИНС, которая на вход будет получать изображение, поступающее от камеры, а на выходе будет выдавать список повреждений яблока вместе с их координатами, если таковые имеются.

Для задачи распознавания дефектов на изображениях яблок используются ИНС, называемые детекторами. Детекторы способны указать местоположение объекта на изображении и его класс. Анализ работы детекторов, проведенный в работе [14], показал, что подходящей для выполняемой работы является сегментационная сеть `lraspp mobilenetV3` из пакета `mmsegmentation PyTorch`.

Функция потерь `CrossEntropyLoss`, optimizer Adam (learning rate 0.01).

Для каждого объекта в выборке возможны 4 ситуации:

– правильное предсказание положительной метки. Такие объекты относятся к группе true positive (TP);

- ошибочное предсказание положительной метки – false positive (FP);
- правильное предсказание отрицательной метки – true negative (TN);
- ошибочное предсказание отрицательной метки – false negative (FN).

Для оценки качества работы детектора использовали метрики IoU и Accuracy.

Метрика Accuracy является величиной, обозначающей долю правильных ответов алгоритма, значение которой определялось по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}.$$

Метрика Intersection over Union (IoU) – величина, показывающая, насколько у двух объектов (эталонного и текущего) совпадает внутренняя площадь:

$$\text{IoU} = \frac{pBB}{tBB},$$

где tBB – реальная площадь объекта; pBB – площадь объекта, предсказанная детектором.

Обучение нейронной сети происходило до 400 эпох. Значения метрик для различных дефектов, распознанных нейронной сетью, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значение метрик IoU и Accuracy для различных дефектов яблок

Класс	IoU	Accuracy
Apple (яблоко)	0.981	0.975
Background (фон)	0.932	0.967
«Point»	0.857	0.874
«Pressure»	0.744	0.858
«Hail»	0.691	0.785
«Rot»	0.798	0.764
«Scratch»	0.774	0.741
«Scab»	0.815	0.772
«Spotting»	0.753	0.734
«Lumps»	0.716	0.758
«Net»	0.759	0.682
«Wart»	0.703	0.697
Среднее значение	0.793	0.8

Как видно из таблицы, наибольшие значения показателей метрик соответствуют дефектам «нажим», «гниль», «парша» в виде точек, а наименьшие – сетка, градобоина. Это объясняется меньшим объемом обучающей выборки именно этих дефектов яблок.

Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок обученной нейронной сетью приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок обученной нейронной сетью

Сорт яблок	Accuracy
Высший	0.763
Первый	0.825
Второй	0.851
Бессортной	0.864

Реализация результатов исследований. Результаты исследований использованы при создании технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».



Рис. 5. Технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 на испытаниях в ОАО «Остромечев»

Приемочные испытания линии проведены в ОАО «Остромечев» Брестского района в 2020–2021 годах. По результатам приемочных испытаний линии ЛСП-4 получен положительный протокол от 25.02.2022 № 004-1/3-2022 [15].

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 %. Производительность линии составила 1,8 т/ч. Наибольшая точность распознавания обеспечивается при определении дефектов «pressure» и «point» (83 и 85 % соответственно), а наименьшая – для «net» и «wart» (73 и 72 % соответственно). Очевидно, для повышения точности распознавания дефектов плодов необходимо увеличение обучающей выборки не менее чем в 2–3 раза.

Выводы

Результаты исследований внедрены в технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 разработки РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», которая обеспечивает точность сортирования плодов по размеру на 75,4 %, а точность по наличию дефектов – на 73,1 %.

Благодарности. Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Распознавание качества плодов / Д.В. Гурьянов // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 177–182.
2. Применение методов люминесцентного анализа в системах технического зрения при сортировании плодов / М. В. Кирина [и др.] // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 188–191.
3. Лакомов, Д. В. Обработка изображений при распознавании образов сельскохозяйственной продукции / Д. В. Лакомов // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 окт. 2018 г. : в 2 т. / Тамб. гос. техн. ун-т [и др.]. – Тамбов, 2018. – Т. 1. – С. 261–263.
4. Рудник, Ю. А. Робототехническая система для сортирования яблок / Ю. А. Рудник, С. В. Журавлев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 32–34.

5. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – № 1 (38) – С. 133–141.
6. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ Д. В. Гурьянов. – Мичуринск, 2004. – 199 с.
7. Ganganagowdar, N.V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques / N. V. Ganganagowdar, A. V. Gundad // Agr. Engineering Intern.: Agr. Engineering Intern.: CIGR J. – 2019. – Vol. 21, N 3. – P. 171–178.
8. Lu, Y. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples / Y. Lu, R. Lu // Trans. of the ASABE. – 2017. – Vol. 60, N 4. – P. 1379–1389.
9. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / И. М. Куликов [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 164 с.
10. Training deep face recognition systems with synthetic data / A. Kortylewski [et al.] // Cornell University Library [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>. – Дата доступа: 16 April 2018.
11. Чигорин, А. Классификация автодорожных знаков на основе сверточной нейросети, обученной на синтетических данных / А. Чигорин, Б. Моисеев // The 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision, Москва, Россия, 1–5 октября 2012 г. – С. 284–287.
12. Жиркова, А. А. Автоматизированная система гиперспектрального контроля дефектов яблок / А. А. Жиркова, П. В. Балабанов, А. Г. Дивин // Современная наука: теория, методология, практика : материалы III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апр. 2021 г. / Тамб. гос. техн. ун-т ; редкол.: П. В. Монастырев [и др.]. – Тамбов, 2021. – С. 291–296.
13. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П.В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. : в 2 т. / Тамб. гос. техн. ун-т [и др.]. – Тамбов, 2020. – Т. 2. – С. 44–47.
14. Huang, J. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors [Electronic resource] / J. Huang // Cornell University Library [Электронный ресурс]. – 2016. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1611.10012.pdf>. – Date of access: 04.06.2019.
15. Протокол приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 : № 004 1/3-2022. – Введ. 25.02.2022. – п. Привольный : ГУ «Белорусская МИС».

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА АКТИВАТОРА ЯГОДОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Аннотация. В данной статье представлен анализ конструкций вибровозбудителей ягодоуборочного комбайна и обоснованы основные параметры двухвального дебалансного механизма привода активатора.

Теоретическими исследованиями определены тип и конструктивно-технологическая схема вибровозбудителя с двумя дебалансами, имеющими жесткую связь друг с другом и вращающимися в одном направлении со смещением на 180°. Анализ функционирования такого вибровозбудителя позволил установить рациональные значения массы грузов $m_a = 4,0$ кг и длину плеч $r = 0,02$ м, обеспечивающие получение вибраций с амплитудой $A = 23...27$ мм в диапазоне частот колебаний 8...20 Гц, что соответствует агротехническим требованиям к уборке широкого перечня ягодных культур.

Результаты исследований использованы при разработке прицепного ягодоуборочного комбайна КПЯ, созданного РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Он обеспечивает качественную уборку урожая с минимальными повреждениями ягод и кустарников аронии, смородины, крыжовника, шиповника и малины, что установлено в результате приемочных испытаний.

Ключевые слова: активатор, дебаланс, частота колебаний, амплитуда, повреждение ягод, качество уборки.

Anton N. Yuryn

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE ACTIVATOR DRIVE OF A BERRY HARVESTER

Abstract. This article presents an analysis of the main modes of operation of the activator of a berry harvester and provides a rationale for the main parameters of a two-shaft unbalanced activator drive mechanism. The quality of the harvesting processes in the cultivation of perennial plantations is determined mainly by the frequency and amplitude of oscillations of the harvester activator. As a result of theoretical studies, the type and design and technological scheme of a two-shaft vibration exciter with two unbalances that are rigidly connected to each other and rotate in the same direction with a displacement of 180° are substantiated. The analysis of the functioning of the vibration exciter made it possible to establish rational values of the mass of goods $m_a = 4,0$ kg and the length of the arms $r = 0,02$ m, providing vibrations with an amplitude of $A = 23...27$ mm in the frequency range of oscillations of 8...20 Hz, which corresponds to harvesting a wide range of berry crops. The results of the research were used to create a trailed berry harvester КРЯА, the use of which ensures high-quality harvesting with minimal damage to berries and shrubs of chokeberry, currant, gooseberry, dog rose and raspberry.

Keywords: activator, unbalance, oscillation frequency, amplitude, berry damage, harvesting quality.

Введение

Качество выполнения уборочных процессов при возделывании многолетних насаждений определяет состояние не только выращенной продукции, но и самих растений после их взаимодействия с рабочими органами уборочной машины.

Поэтому главный принцип разработки ягодоуборочной техники – на основе изучения свойств растений создавать рабочие органы, воздействующие на них аналогично операциям, выполняемым вручную.

Исследованиями в области механизированной уборки ягод в разное время занимались Г. П. Варламов, Ю. А. Утков, В. В. Бычков, Я. Л. Овчинников, Л. М. Махиня, С. В. Протасов, В. К. Спиридонов, И. Г. Смирнов и др. [1–8]. Ими установлено, что наибольшее воздействие на качественные показатели работы ягодоуборочного комбайна оказывает активатор, непосредственно контактирующий с ветвями многолетних насаждений.

Исследованиями [9–14] установлена рациональная конструкция активатора ягодоуборочного комбайна, представляющая собой вертикальную или наклонную трубу с закрепленными на ней пальцами, совершающими колебательные движения относительно оси симметрии трубы.

Основными параметрами активатора, определяющими качество выполнения агротехнических показателей, являются амплитуда и частота колебаний [9–14]. При этом если амплитуда колебаний для различных культур примерно одинакова и составляет 20–25 мм, то частота колебаний разная и должна составлять для:

- черноплодной рябины (аронии) – 16–18 Гц;
- смородины – 15–16 Гц;
- крыжовника (шиповника) – 12–14 Гц;
- малины – 8–12 Гц.

Отклонение от указанной рациональной частоты колебаний при уборке урожая этих культур приводит к снижению степени отделения плодов (при снижении частоты) и увеличению повреждений насаждений и ягод (при ее превышении) [4–8, 11].

Таким образом, для эффективной уборки ягод определенной культуры нужна стабильная частота колебаний активатора. Однако в универсальном комбайне, предназначенном для уборки разных культур, требуется изменение частоты колебаний активатора в широком диапазоне.

Многочисленными исследованиями [8–10] обоснована конструкция активатора ягодоуборочного комбайна, представляющая собой вертикальную или наклонную трубу с закрепленными на ней пальцами, совершающими колебательные движения относительно оси симметрии трубы, и его основные рациональные параметры. Однако до настоящего времени обоснование параметров устройства, способного генерировать колебания постоянной амплитуды с частотой от 8 до 18 Гц, не выполнено.

Обоснование типа и основных параметров вибровозбудителя

Для создания вибрации используются вибровозбудители. В зависимости от вида энергии, используемой для возбуждения вибрации, различают вибровозбудители **механические, электрические, пневматические и гидравлические**.

Для возбуждения вибраций в сельскохозяйственных машинах наиболее подходящими являются механические вибровозбудители кривошипно-шатунного или центробежного типа (дебалансные).

В **кривошипно-шатунных** вибровозбудителях происходит преобразование вращательного движения ведущего звена (кривошипа, эксцентрика, кулачка) в возвратно-поступательное или качательное движение рабочего органа по закону, близкому к гармоническому, что оптимально подходит для привода активатора комбайна.

Однако такие вибровозбудители при высоких частотах создают значительные инерционные нагрузки, которые нагружают опоры и подшипники рабочего органа, а также передают нежелательные вибрации на раму машины. Это вызывает необходимость их уравнивания. Поэтому такие вибровозбудители не получили широкого распространения в мобильных сельскохозяйственных машинах.

Центробежные вибровозбудители наиболее распространены, так как отличаются простотой конструкции и универсальностью применения. В сельскохозяйственном машиностроении используются преимущественно одно- или двухвальные дебалансные вибровозбудители.

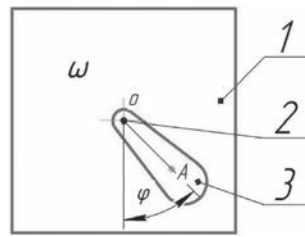


Рис. 1. Схема одновального дебалансного вибровозбудителя:
1 – корпус вибровозбудителя; 2 – ось вращения груза; 3 – груз

В одновальных вибровозбудителях (рис. 1) при вращении груза 3 относительно оси 2 возникает центробежная сила, вызывающая колебания корпуса вибровозбудителя. В то же время возникающие вибрации передаются не только на рабочий орган машины, но и на ее раму, что недопустимо по требованиям безопасности для машин, на которых находятся люди. Двухвальные вибровозбудители не имеют этого недостатка. Поэтому рассмотрим их рабочий процесс.

При уборке отделение ягод от растения происходит вследствие колебаний, передаваемых от активатора ягодоуборочного комбайна к ветвям насаждения. При этом ягоды убираемой культуры совершают гармонические колебания относительно места крепления плодоножки к ветви кустарника. Для создания таких колебаний активатор комбайна должен с определенной частотой совершать поворот на некоторый угол относительно своей оси с последующим возвращением в прежнее состояние. В таком случае радиально расположенные по периметру пальцы активатора будут совершать удары по ветвям кустарника, вызывая отделение ягод.

На рис. 2 представлена схема сил, возникающих при работе двухвального дебалансного вибровозбудителя. Здесь O – ось вибровозбудителя, совпадающая с осью вращения активатора ягодоуборочного комбайна и напрямую соединенная с ней, A и B – оси вращения грузов. Грузы вращаются вокруг осей в одном направлении со смещением друг относительно друга на угол 180° . При этом центры масс данных грузов равноудалены от оси вращения вибратора.

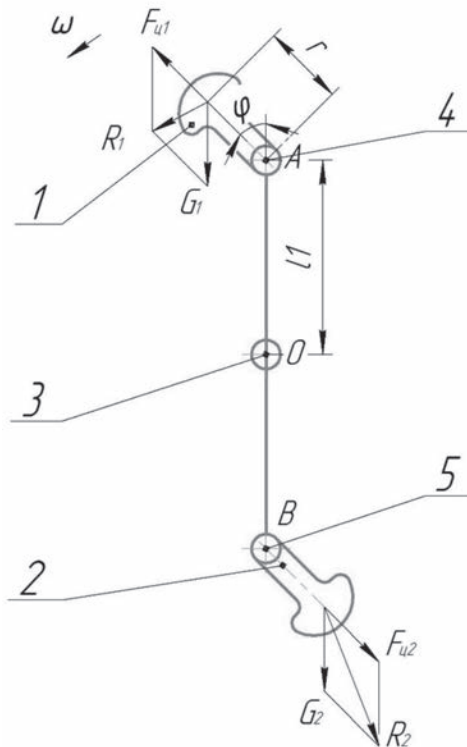


Рис. 2. Схема сил, возникающих при работе двухвального дебалансного вибровозбудителя:
1, 2 – грузы; 3 – ось вращения активатора; 4, 5 – оси вращения грузов

Рассмотрим вращение грузов дебалансов вибровозбудителя. Для этого составим схему сил, приложенных к системе.

При вращении дебалансов, закрепленных на осях 4 (точка A) и 5 (точка B), возникают центробежные силы $F_{ц1}$ и $F_{ц2}$. Кроме того, на грузы действуют силы тяжести G_1 и G_2 . Примем допущение, что вращение установившееся, при этом пренебрегаем весом направляющих дебалансов ввиду их незначительности в сравнении с центробежными силами, силами инерции и весом грузов при достаточно больших значениях угловых скоростей вращения дебалансов.

Центробежная сила первого дебаланса определяется как

$$F_{ц1} = m_{\partial 1} \omega^2 r,$$

где $m_{\partial 1}$ – масса первого дебаланса, кг; ω – угловая скорость вращения дебаланса, c^{-1} ; r – эксцентриситет (расстояние от оси вращения до центра тяжести неуравновешенной части дебаланса), м.

Сила тяжести первого дебаланса

$$G_1 = m_{\partial 1} g,$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Равнодействующая центробежной силы и силы тяжести для первого дебаланса составит

$$R_1 = \sqrt{F_{ц1}^2 + G_1^2 + 2F_{ц1}G_1 \cos(180 - \varphi)},$$

а вращающий момент от её действия на вал активатора:

$$M_1 = R_1 l_1,$$

где l_1 – плечо равнодействующей силы R_1 , φ – угол между направлением действия центробежной силы груза дебаланса и направляющей звена OA .

Тогда вращающий момент от действия первого дебаланса

$$M_1 = r \cos \varphi \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}. \quad (1)$$

По аналогии определяем для второго дебаланса равнодействующую сил

$$R_2 = \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}$$

и вращающий момент равнодействующей силы

$$M_2 = R_2 l_2,$$

где l_2 – плечо равнодействующей силы R_2 .

Значение плеча вращающего момента определяется по выражению

$$l_2 = r \cos(180 - \varphi).$$

Тогда:

$$M_2 = r \cos(180 - \varphi) \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}. \quad (2)$$

Суммарный вращающий момент сил на валу активатора составит

$$M_{сум} = M_1 + M_2.$$

В то же время

$$M_{сум} = I \varepsilon,$$

где I – момент инерции активатора, ε – ускорение активатора, $\varepsilon = d\omega/dt$.

Тогда

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{I}.$$

Момент инерции N тел определяется выражением

$$I = \sum_{i=1}^N \Delta m_i S_i^2,$$

где Δm_i – масса каждой i -й части тела, S_i – расстояние от каждой i -й части до центра масс тела.

Так как в дебалансных механизмах наибольшая масса сосредоточена именно в грузах, то для определения момента инерции одного дебаланса примем выражение для определения момента инерции обруча

$$I = m_e S^2 = (2m_{\partial 1} + m_a) S^2, \quad (3)$$

где S – расстояние от неподвижной оси до центра масс груза, м; m_e – масса виброактиватора, кг; m_{∂} – масса дебаланса, кг; m_a – масса активатора, кг.

Учитывая, что $m_{\partial 1} = m_{\partial 2}$, запишем:

$$I = (2 m_{\partial 1} + m_a) S^2.$$

Принимая, что $F_{y1} = F_{y2}$, а $G_1 = G_2$, запишем уравнение для определения суммарного вращающего момента сил относительно вала активатора:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{F_{y1}^2 + G_1^2 + 2F_{y1}G_1 \cos(180 - \varphi)} l_1 + \sqrt{F_{y2}^2 + G_2^2 + 2F_{y2}G_2 \cos(\varphi)} l_2. \quad (4)$$

Используя выражения (1) и (2), получим

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\sqrt{F_{y1}^2 + G_1^2 + 2F_{y1}G_1 \cos(180 - \varphi)} l_1 + \sqrt{F_{y2}^2 + G_2^2 + 2F_{y2}G_2 \cos(\varphi)} l_2}{(2m_{\partial 1} + m_a) S^2}. \quad (5)$$

В выражении (5) значение S изменяется от $l + r$ до $l - r$ по зависимости

$$S = l + r \cos \varphi.$$

Тогда:

$$I = (2m_{\partial 1} + m_a)(l + r \cos \varphi)^2.$$

Подставив их в выражение (5), получим

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} = & \frac{\sqrt{(m_{\partial} \omega_1^2 r)^2 + (m_{\partial} g)^2 + 2m_{\partial}^2 \omega_1^2 r \cos(180 - \varphi) r \cos \varphi}}{(2m_{\partial 1} + m_a)(l + r \cos \varphi)^2} + \\ & + \frac{\sqrt{(m_{\partial} \omega_2^2 r)^2 + (m_{\partial} g)^2 + 2m_{\partial}^2 g \omega_2^2 r \cos(\varphi) r \cos(180 - \varphi)}}{(2m_{\partial 1} + m_a)(l + r \cos \varphi)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Амплитуда колебаний вибровозбудителя определяется из выражения

$$A = \frac{M_{\text{сум}}}{m_e}.$$

Используя выражения (3) и (4), получим:

$$A = \frac{\sqrt{m_{\partial 1}^2 \omega_1^2 r^2 + m_{\partial 1}^2 g^2 + 2m_{\partial 1}^2 \omega_1^2 r g \cos(180 - \varphi)}(r \cos \varphi)}{2m_{\partial 1} + m_a} + \frac{\sqrt{m_{\partial 2}^2 \omega_2^2 r^2 + m_{\partial 2}^2 g^2 + 2m_{\partial 2}^2 \omega_2^2 r g \cos(\varphi)}(r \cos(180 - \varphi))}{2m_{\partial 1} + m_a} \quad (7)$$

Графическая интерпретация полученных выражений представлена на рис. 3.

Из графиков на рис. 3 видно, что вращающие моменты равнодействующих от сил изменяются по синусоидальному закону и значительно превышают момент инерции активатора.

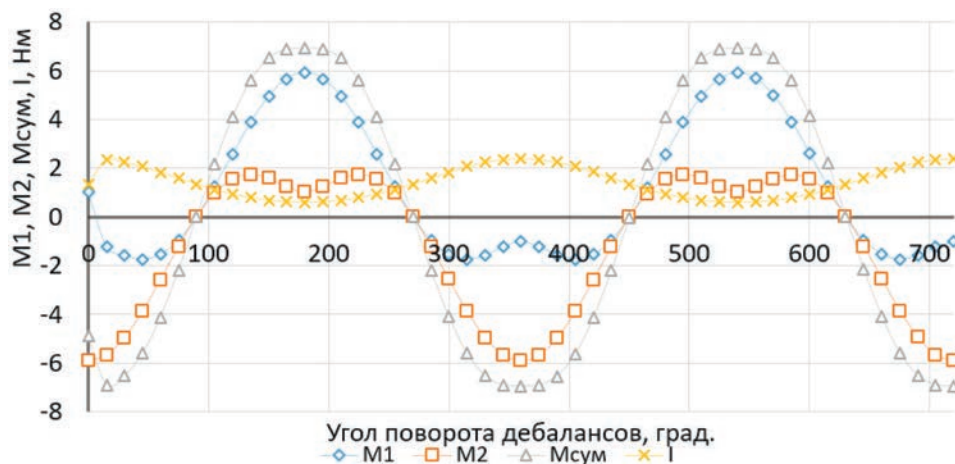


Рис. 3. Зависимости вращающих моментов сил и момента инерции активатора от угла поворота дебалансов

На рис. 4 представлен график зависимости изменения амплитуды колебаний от пальцев активатора в зависимости от угла поворота дебалансов.

Из графика (рис. 4) следует, что полученная амплитуда колебаний значительно превышает рекомендованную (20–25 мм), что не соответствует требованиям агротехники уборки ягод.

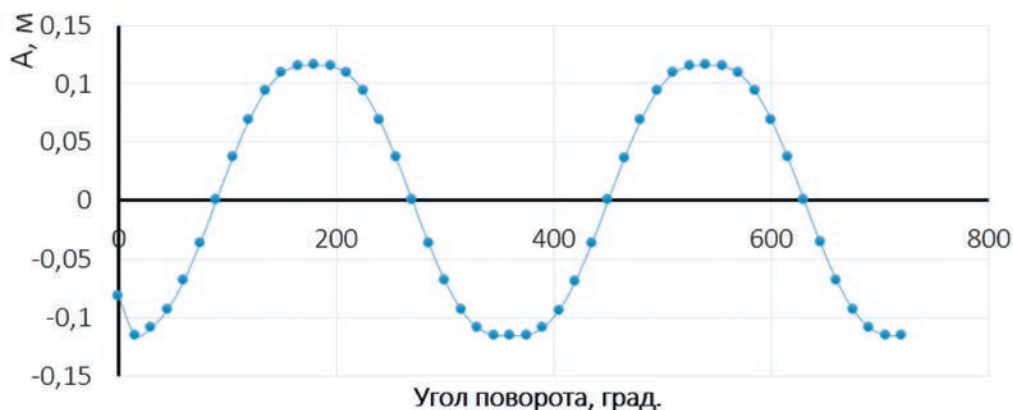


Рис. 4. Зависимость изменения амплитуды колебаний активатора от угла поворота дебалансов при $m_{\partial} = 5$ кг и $r = 0,05$ м

Из зависимости (7) можно определить, что наибольшее влияние на амплитуду колебаний оказывают два параметра – масса и длина плеч дебалансов.

Тогда построим графики зависимостей амплитуды колебаний при различных значениях данных переменных m_{∂} и r (рис. 5 и 6).

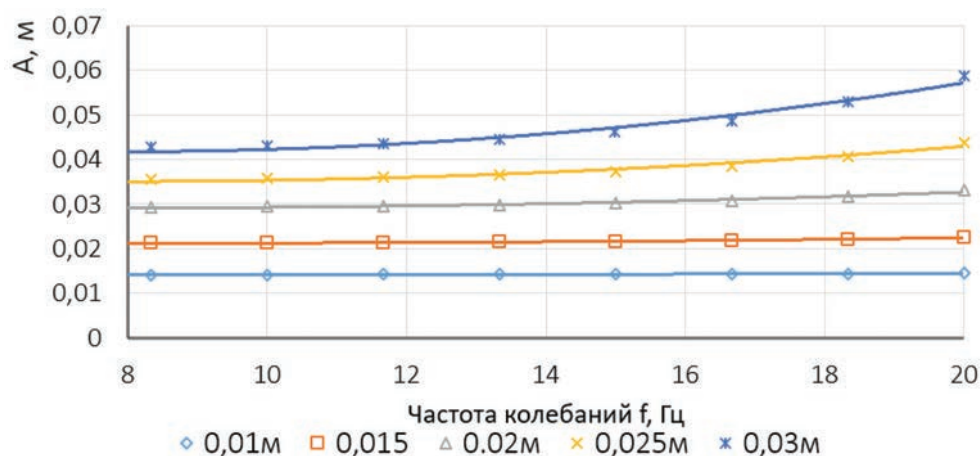


Рис. 5. Зависимость амплитуды A от частоты колебаний f при различной длине плеч дебаланса r

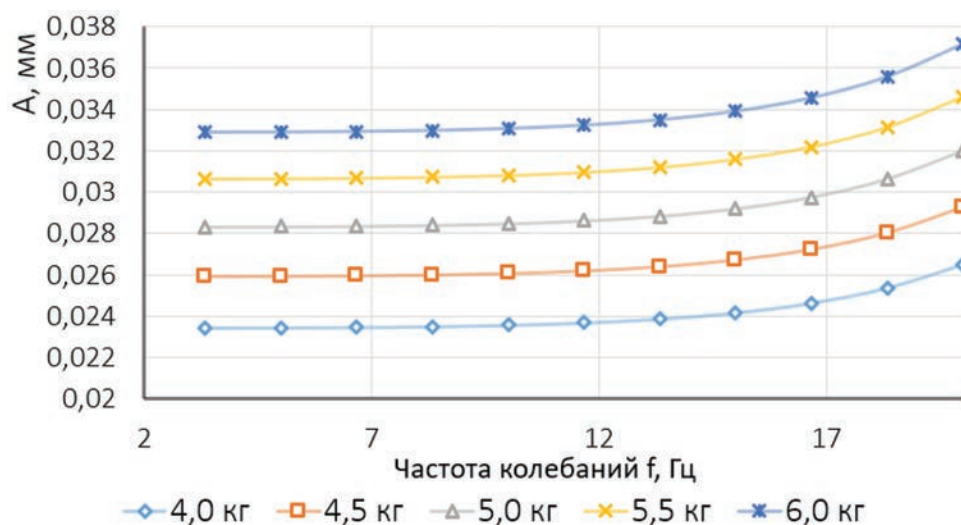


Рис. 6. Зависимость амплитуды A от частоты колебаний f при различной массе дебалансов m_0

При длине плеча дебаланса r равном 0,02 м амплитуда колебаний активатора в зависимости от частоты колебаний от 8 до 20 Гц составляет 0,028–0,032 м, что наиболее полно соответствует агротехническим требованиям.

Уточним рациональную массу дебаланса.

Из рис. 6 видно, что при массе груза 4,0 кг амплитуда колебаний в зависимости от частоты колебаний составляет 0,023–0,027 м.

Таким образом, для двухвального дебалансного виброактиватора мультикультурного ягодоуборочного комбайна масса дебаланса должна составлять $m_0 = 4,5$ кг, а длина плеча $r = 0,02$ м.

Такие значения переменных позволят обеспечить амплитуду колебаний $A = 23$ – 27 мм в диапазоне частот колебаний 8–20 Гц, что соответствует агротехническим требованиям к уборке ягод аронии, смородины, крыжовника, шиповника и малины.

Реализация исследований

Результаты проведенных исследований реализованы при создании прицепного ягодоуборочного комбайна КПЯ (рис. 7) [15, 16].

Приемочные испытания комбайна КПЯ проходили в РУП «Институт плодводства» пос. Самохваловичи Минского района и КФХ «Зеленая ферма» Столбцовского района в 2016–2017 годах.

По результатам приемочных испытаний комбайна прицепного ягодоуборочного КПЯ получен протокол № 073 Б 1/8-2017ИЦ от 28.12.2017 [17].



Рис. 7. Уборка смородины ягодоуборочным комбайном КПЯ

В результате проведенных испытаний были получены следующие показатели:

- полнота съема плодов – 94,6 % (по ТЗ не менее 85 %);
- полнота улавливания – 92,8 % (по ТЗ не менее 85 %);
- повреждение ягод – 1,5–1,7 % (по ТЗ не более 5,0 %).

При этом повреждение элементов куста составило 0,8–7,0 % (по ТЗ не более 8,0 %).

Анализ проведенных испытаний показал, что комбайн соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественную уборку урожая с минимальными повреждениями ягод и кустарников.

Выводы

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема двухвального дебалансного вибровозбудителя для привода активатора мультикультурного ягодоуборочного комбайна.

2. Теоретическими исследованиями определены рациональные значения массы $m_d = 4,0$ кг и длины плеча дебаланса $r = 0,02$ м вибровозбудителя, обеспечивающие получение вибраций с амплитудой $A = 23–27$ мм в диапазоне частот колебаний 8–20 Гц, что соответствует агротехническим требованиям к уборке ягодных культур.

3. Результаты исследований реализованы в прицепном ягодоуборочном комбайне КПЯ, созданном РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

4. Приемочные испытания КПЯ показали, что комбайн в полной мере соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественную уборку урожая с минимальными повреждениями ягод и кустарников.

Благодарности: Работа выполнялась в рамках задания Р 1.12.32 «Разработать и освоить производство прицепного комбайна для уборки ягод» подпрограммы «Белсельхозмеханизация» ГНТП «Агропромкомплекс-2020».

Список использованных источников

1. Машины для формирования крон и уборки урожая плодовых культур / Г. П. Варламов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1975. – 206 с.
2. Тенденция развития конструкций машин и приспособлений для уборки плодов и ягод / Г. П. Варламов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1971. – 43 с.
3. Бычков, В. В. Разработка и внедрение машин для механизации трудоемких работ в садоводстве : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. В. Бычков ; ВИМ. – М., 1992. – 20 с.

4. Утков, Ю. А. Анализ процесса отклонения ветви ягодного куста активатором уборочной машины / Ю. А. Утков, И. Г. Смирнов // Плодоводство и ягодоводство России : науч.-техн. журн. / Всерос. селекционно-технол. ин-т садоводства и питомниководства ; И. М. Куликов [и др.]. – 2001. – № 8. – С. 298–309.
5. Утков, Ю. А. Разработка и экспериментальное обоснование конструкции рабочих органов машин для поточного съема ягод : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ю. А. Утков ; Науч.-исслед. ин-т садоводства нечернозем. полосы. – М., 1970. – 22 с.
6. Овчинников, Я. Л. Параметры рабочего органа для уборки плодов черноплодной рябины и черной смородины : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Я. Л. Овчинников ; ВИМ. – М., 1986. – 23 с.
7. Махиня, Л. М. Исследование рабочего процесса активатора малиноуборочной машины : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Л. М. Махиня ; ВИМ. – М., 1981. – 23 с.
8. Протасов, С. В. Изыскание и исследование способа механизированного сбора ягод черной смородины и крыжовника : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. В. Протасов ; Науч.-исслед. ин-т садоводства нечернозем. полосы. – М., 1968. – 23 с.
9. Спиридонов, О. В. Технологическое и техническое обоснование рабочих органов малиноуборочной машины для наклонной формировки культуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / О. В. Спиридонов ; ВИМ. – М., 1983. – 17 с.
10. Смирнов, И. Г. Разработка технологических процессов и технических средств для интеллектуальных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / И. Г. Смирнов ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – М., 2019. – 363 л.
11. Устименко-Бакумовский, А. Г. Обоснование основных параметров формирователя смородиноуборочного комбайна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. Г. Устименко-Бакумовский ; ВИМ. – М., 1983. – 20 с.
12. Кашин, В. И. Принципы создания средств механизации для уборки ягод / В. И. Кашин, Ю. А. Утков // Тракторы и сельхозмашины : науч.-техн. журн. – 1995. – № 7. – С. 26–30.
13. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский [и др.]. // Механизация сельского хозяйства. – 2016. – № 2. – С. 28–34.
14. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси. / Я. П. Лобачевский [и др.]. // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10. – С. 16–20.
15. Результат испытаний ягодоуборочного комбайна КПЯ / А. Н. Юрин [и др.]. // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства ; ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 52. – С. 157–162.
16. Юрин, А. Н. Обоснование параметров активатора универсального ягодоуборочного комбайна / А. Н. Юрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства ; ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 55 – С. 96–111.
17. Протокол приемочных испытаний комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ : № 073 Б 1/8-2017ИЦ. – Введ. 28.12.2017. – п. Привольный : ГУ «Белорусская МИС», 2017. – 81 с.

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ С ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ЯБЛОК

Аннотация. В данной статье рассмотрен процесс создания обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети (в дальнейшем – ИНС) системы технического зрения. Обучение ИНС проводилось на основе аннотированных изображений реальных яблок, содержащих описание различных дефектов в виде отдельных полигонов посредством программы LabelMe. На изображении плода размечалось само яблоко и его помологические особенности, такие как цветоложе, плодоножка и лист, а также 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобоина и т. д. Полученные размеченные изображения плодов с дефектами сформировали эталонную обучающую выборку для ИНС. Проверка эффективности работы ИНС осуществлялась путем оценки правильности распознавания изображений плодов при сравнении их с эталонными изображениями. Обучение ИНС каждому из дефектов яблок останавливалось при достижении 95 % вероятности правильной оценки дефекта. ИНС, обученная на созданной обучающей выборке, использована в системе технического зрения технологической линии ЛСП-4, обеспечивающей сортировку яблок на три товарных сорта по размеру и дефектам от механических повреждений, болезней и вредителей. Точность сортировки по размеру составила 75,4 %, а по наличию дефектов – 73,1 %.

Ключевые слова: классификация, искусственные нейронные сети, дефект, лист, плодоножка, чашелистик, парша, градобоина, нажим, гниль, распознавание.

Anton N. Yuryn

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

CREATION OF A VISION SYSTEM WITH AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR SORTING APPLES

Abstract. This article describes the process of creating a training sample for training an artificial neural network (hereinafter referred to as ANN) of a vision system. ANN training was carried out on the basis of annotated images of real apples containing a description of various defects in the form of separate polygons using the LabelMe program. On the image of the fruit, the apple itself and its pomological features, such as receptacle, peduncle and leaf, were marked, as well as 10 different fruit defects, each of which was given an appropriate name: mesh, pressure, cut, rot, scab, hailstone, etc. The resulting labeled images of fetuses with defects formed a reference training set for the ANN. The performance of the ANN was tested by evaluating the correctness of recognition of fetal images when comparing them with reference images. The training of the ANN for each of the defects in apples was stopped when the 95% probability of the correct assessment of the defect was reached. The ANN trained on the created training sample was used in the vision system of the LSP-4 production line, which provides sorting of apples into three commercial varieties by size and defects from mechanical damage, diseases and pests. The accuracy of sorting by size was 75.4 %, and by the presence of defects – 73.1 %.

Keywords: classification, artificial neural networks, defect, leaf, stalk, sepal, scab, hailstone, pressure, rot, recognition.

Введение

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование, в процессе которого продукцию разделяют на сорта по качеству. Эта операция осуществляется, как правило,

вручную при визуальном осмотре плодов рабочими, что требует большого количества ручного труда [1, 2].

Использование автоматизированных сортировальных машин для идентификации и разделения плодов на сорта позволяет значительно повысить качество сортирования и производительность [3, 4].

Наиболее подходящим для автоматизации способом идентификации качества плодов является метод оптического контроля с использованием систем технического зрения, поскольку он обеспечивает высокую точность оценки качества и соответствует условиям технологии [5, 6].

В связи с этим создание технического средства с системой технического зрения (СТЗ), позволяющего определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии с тем, как это делает человек, является важной агроинженерной задачей.

Результаты и их обсуждение

Любое устройство для сортировки плодов выполняет процессы **подачи** плодов, их **классификации** и **разделения** [7] (рис. 1). В зависимости от целей сортировки, вида продукции и требований к ее выходной части, каждый из этих процессов может иметь свои особенности.



Рис. 1. Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству

Так **подачу** плодов можно разделить на подпроцессы формирования потока и транспортирования, **классификацию** – на обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений, а процесс **разделения** – на подпроцессы взвода исполнительного механизма, удара и движения объекта после него (рис. 1).

В данной схеме формирование потока и транспортирование являются подготовительными процессами, а подпроцессы механического разделения – заключительными. Разделение же плодов на сорта осуществляется в процессе их классификации.

В настоящее время актуальным является разделение плодов не только по размеру, но и по наличию дефектов, как это делает человек [8, 9].

Для этого оптическая система контроля должна осуществлять высокоскоростную съемку плодов, распознавание дефектов, а также отслеживание плодов в режиме реального времени.

При этом если диаметр яблок можно определить исходя из геометрических размеров получаемых видеокамерой изображений, то такие параметры, как механические повреждения и повреждения плодов болезнями и вредителями можно выявить только посредством применения аппарата глубокого обучения ИНС, в основу функционирования которой положен принцип распознавания изображений плодов, которые система сравнивает с запрограммированными в память ИНС эталонными образами, получившими название «обучающая выборка» [10, 11].

Обоснование процесса обучения искусственной нейронной сети глубокого обучения. Способность моделей глубокого обучения автоматически выделять признаки для классификации образов

приводит к тому, что для их обучения требуется большой объем обучающих данных. Для ускорения процесса формирования обучающей выборки создаются открытые базы данных цифровых изображений. Однако при решении конкретных практических задач нередки случаи, когда в базах данных отсутствуют изображения, содержащие искомые для конкретной технической задачи эталонные образы. Это требует использования других подходов к формированию обучающей выборки:

- 1) на основе реальных изображений;
- 2) на основе синтетических изображений;
- 3) из синтетических данных, сгенерированных на основе реальных изображений.

Практика показывает, что наилучшие результаты дает метод обучения на основе реальных моделей. Поэтому обучение ИНС проводили с использованием этого метода [12, 13].

Разметка изображений для создания обучающей выборки ИНС. Для создания обучающей выборки помологических особенностей и дефектов плодов использованы плоды урожая 2020–2021 гг. производства ОАО «Остромечово» сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер», а также была создана лабораторная установка системы технического зрения.

Лабораторная установка системы технического зрения, как показано на рис. 2, включала в себя: фотомодуль, состоящий из механического защищенного корпуса 1 с видеокамерой 2 и структурированной подсветкой 3, защищенного электрического шкафа 4 с вычислительным модулем 5 и сенсорной панелью управления 6.

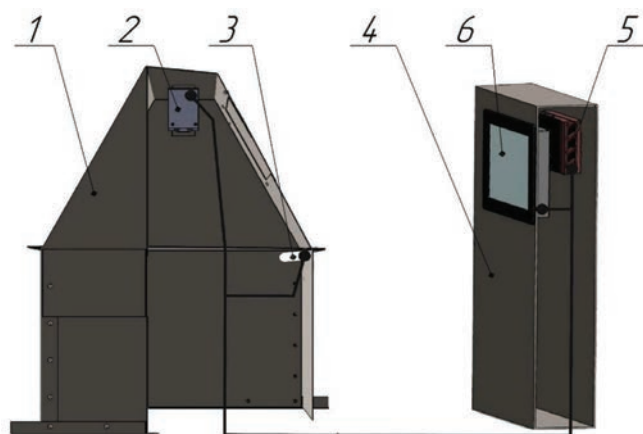


Рис. 2. Лабораторная установка системы технического зрения

Видеокамера использовалась VCXU-32C фирмы Baumer с оптическим сенсором Sony Pregius CMOS площадью ПЗС-матрицы в 1/1.8". Видеокамера оснащалась объективом AZURE-0818M3M с фокусным расстоянием $f = 8$ мм и диафрагмой F1.8.

В качестве вычислительного модуля использовался промышленный компьютер фирмы CINCOSE серии DS-1200, оснащенный процессором Intel Core™ i7-8700 Hexa-Core. На компьютере установлена операционная система Ubuntu (Linux).

В качестве структурированной подсветки использовались светодиодные лампы Smd 5050 суммарной мощностью 160 Вт.

Для выделения дефектов яблок использовалась программа LabelMe, установленная на персональных компьютерах лаборатории с операционной системой Windows 8.1 с установленными пакетами PyQt5 и lxml. [14, 15].

Обучающая выборка ИНС на основе реальных моделей формировалась поэтапно. Для обучения искусственных нейронных сетей, используемых в системе, необходимо создать обучающую выборку.

Во-первых, было снято реальное видео движения яблок по конвейеру. Для фотографирования яблок со всех сторон движущимся по конвейеру яблокам придавалось вращение посредством парных роликов 3 индивидуальных кареток конвейера (рис. 3), установленных на одной оси, которые при прохождении под фотомодулем набегают на приводной ремень, придающий им вращение

в направлении, противоположном движению конвейера. Ролики, перемещаясь по вертикали относительно корпуса 1, поднимают яблоки с тарелок 2 и заставляют их вращаться.

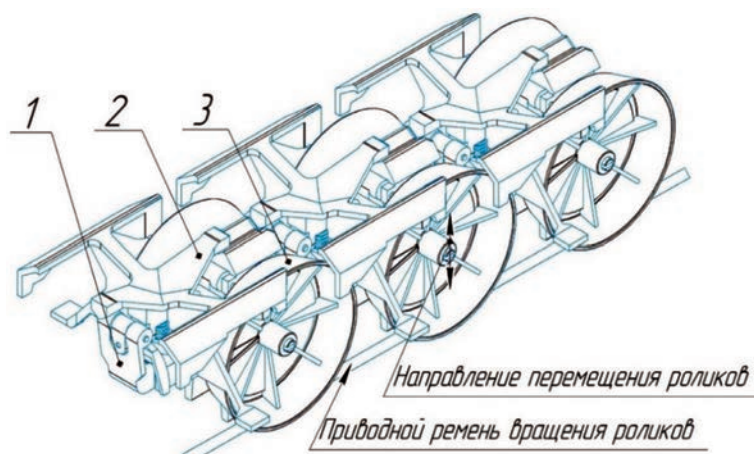


Рис. 3. Индивидуальные каретки для яблок конвейера

Во-вторых, перед обучением ИНС собранные изображения поврежденных плодов размечались вручную. Для разметки изображений использовалась программа для обработки LabelMe (рис. 4) [16, 17].

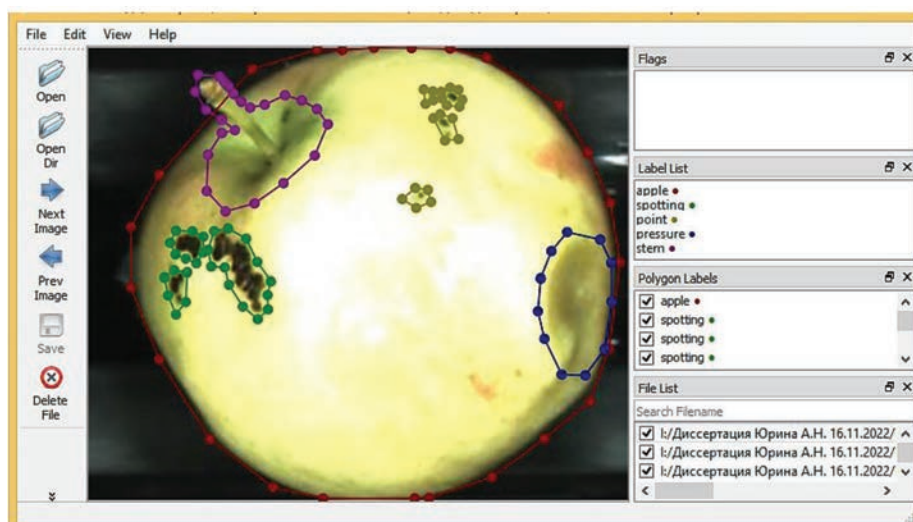


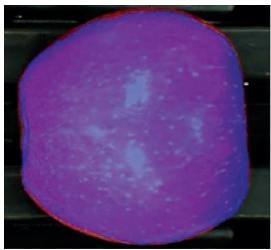
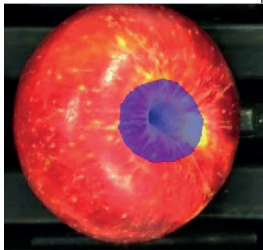
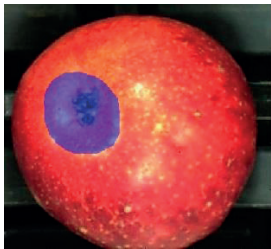


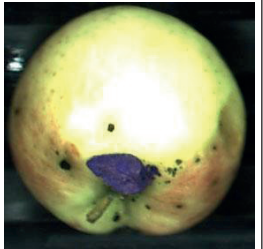
Рис. 4. Графическое окно приложения LabelMe

На изображении плода размечалось само яблоко (apple) и его помологические особенности, а именно цветоложе (sepal), плодоножка (stam, funnel, leg) и лист (leaf). Данные «особенности» плода не являются дефектами и необходимы для того, чтобы ИНС в дальнейшем при работе не распознавала их как дефект и не «забраковывала» плод (табл. 1). После этого была выполнена разметка всех обнаруженных дефектов.

Для обучения ИНС использовались 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобоина (табл. 2).





Для более эффективной классификации некоторые из дефектов для обучения ИНС были разделены на несколько подклассов. Так, заболевание паршой может проявляться как наличием мелких черных точек на поверхности плода, так и большим их скоплением, а также «бородавками» и обширной «ороговевшей поверхностью». Поэтому каждому из указанных дефектов был присвоен свой подкласс с отдельной выборкой дефектов.

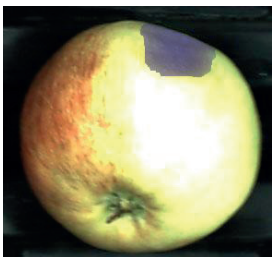
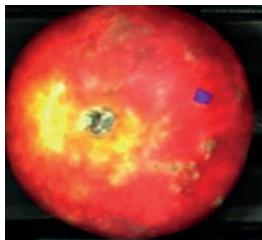




Таблица 1. Помологические особенности яблок

Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
apple	яблоко		funnel	«Воронка» плодоножки без плодоножки	
sepal	цветоложе		leg	Плодоножка без «воронки» (не видна)	
stam	«Воронка» плодоножки с плодоножкой		leaf	Лист	

Особое внимание при создании обучающей выборки уделено разделению таких классов, как нажим (pressure) и гниль (rot), так как в большинстве случаев механическое повреждение плодов с образованием гематомы в последующем приводит к образованию в этом месте загнивания.

Таблица 2. Дефекты яблок

Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
net	Сетка		point	Парша	
scratch	Порез		spotting	Парша	

Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
pressure	Нажим		wart	Парша	
hail	Градобоина		lumps	Парша	
rot	Гниль		scab	Парша	

Однако если для первого и второго сорта плодов в соответствии с требованиями к их качеству по СТБ 2288-2012¹ допускается некоторое повреждение, то даже небольшое загнивание плода приводит к его выбраковке (табл. 3). То есть четко разделять эти виды повреждений яблок важно для качественной сортировки плодов.

На третьем этапе после формирования обучающей выборки осуществлено ее обучение ИНС. Необученная ИНС, пропуская через себя входное изображение, генерирует координаты ограничивающих прямоугольников и соответствующие им вероятности принадлежности объектов классам. Затем выход, полученный необученной ИНС, сравнивается с эталонным выходом, получая оценку схожести, и методом обратного распространения ошибки параметры нейронов ИНС корректируются таким образом, чтобы максимизировать оценку схожести.

Таблица 3. Показатели качества выполнения технологического процесса сортировки яблок

Наименование показателя	Характеристика и требования для сорта		
	высшего	первого	второго
Наибольший размер плода, мм	70–65	65–60	60–55
Механические повреждения:			
– «градобоина»	н/д*	до 2 см ²	2 см ² –¼ поверхности
– «прокол», «порез», «нажим»	н/д*	до 2 см ²	2–4 см ²
Повреждения вредителями	н/д*	до 2 см ²	2–4 см ²
Повреждения болезнями:			
– «гниль»	н/д*		
– «сетка»	н/д*	до ¼ поверхности	допускается
– «парша»	н/д*	до 2 см ²	2 см ² –¼ поверхности

* н/д – не допускается.

¹ Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.

Общее количество обработанных фотографий составило 3600 шт., в которых выделено дефектов и признаков: net – 393 шт., scratch – 493 шт., pressure – 2095 шт., rot – 591 шт., point – 2814 шт., spotting – 426 шт., wart – 355 шт., lumps – 423 шт., scab – 494 шт., hail – 600 шт., apple – 3600 шт., sepal – 931 шт., stam – 765 шт., funnel – 530 шт., leg – 427 шт., leaf – 331 шт.

Кроме обучающих данных, необходимо было также выбрать архитектуру ИНС, приемлемую для решения конкретной задачи.

Для задачи распознавания дефектов на изображениях яблок используются ИНС, называемые детекторами. Детекторы способны указать местоположение объекта на изображении и его класс. Анализ работы детекторов, проведенный в работе [18], показал, что подходящей для выполняемой работы является сегментационная сеть Iraspp mobilenetV3 из пакета mmsegmentation PyTorch.

Функция потерь CrossEntropyLoss, optimizer Adam (learning rate 0.01).

Для каждого объекта в выборке возможны 4 ситуации:

- правильное предсказание положительной метки. Такие объекты относятся к группе true positive (TP);
- ошибочное предсказание положительной метки – false positive (FP);
- правильное предсказание отрицательной метки – true negative (TN);
- ошибочное предсказание отрицательной метки – false negative (FN).

Для оценки качества работы детектора использовали метрики IoU и Accuracy.

Метрика Accuracy является величиной, обозначающей долю правильных ответов алгоритма, значение которой определялось по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}.$$

Метрика Intersection over Union (IoU) – величина, показывающая, насколько у двух объектов (эталонного и текущего) совпадает внутренняя площадь:

$$IoU = \frac{pBB}{tBB},$$

где tBB – реальная площадь объекта; pBB – площадь объекта, предсказанная детектором.

Обучение нейронной сети происходило до 400 эпох. Значения метрик для различных дефектов, распознанных нейронной сетью, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Значение метрик IoU и Accuracy для различных дефектов яблок

Класс	IoU	Accuracy
Apple (яблоко)	0.981	0.975
Background (фон)	0.932	0.967
«Point»	0.857	0.874
«Pressure»	0.744	0.858
«Hail»	0.691	0.785
«Rot»	0.798	0.764
«Scratch»	0.774	0.741
«Scab»	0.815	0.772
«Spotting»	0.753	0.734
«Lumps»	0.716	0.758
«Net»	0.759	0.682
«Wart»	0.703	0.697
Среднее значение	0.793	0.8

Как видно из таблицы, наибольшие значения показателей метрик соответствуют дефектам «нажим», «гниль», «парша» в виде точек, а наименьшие – сетка, градобоина. Это объясняется меньшим объемом обучающей выборки именно этих дефектов яблок.

Значения метрики Ассигасу при определении сорта яблок обученной нейронной сетью приведены в табл. 5.

Таблица 5. Значения метрики Ассигасу при определении сорта яблок обученной нейронной сетью

Сорт яблок	Accuracy
Высший	0.763
Первый	0.825
Второй	0.851
Бессортовой	0.864

Результаты определения дефектов яблок на представлены на рис.5.



Рис. 5. Результаты определения нейронной сетью дефектов яблок

Реализация результатов исследований. Созданная обучающая выборка использована в системе технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [19].

Она состоит из двух частей: приемной (рис. 6) и сортирующей (рис. 7).

Приемная часть линии в соответствии с рис. 6 состоит из транспортера приемного 1, модуля разгрузочного 2, ролинга 3, лотка 4, опоры 5, ванны 6, горки 7, сушки 8, водовода 9, опоры 10.

Сортирующая часть линии (рис. 7) состоит из основного конвейера 1, конвейеров для выходной продукции 2 и 3, кареток 4, столов 5 и оптического сортировщика 6.

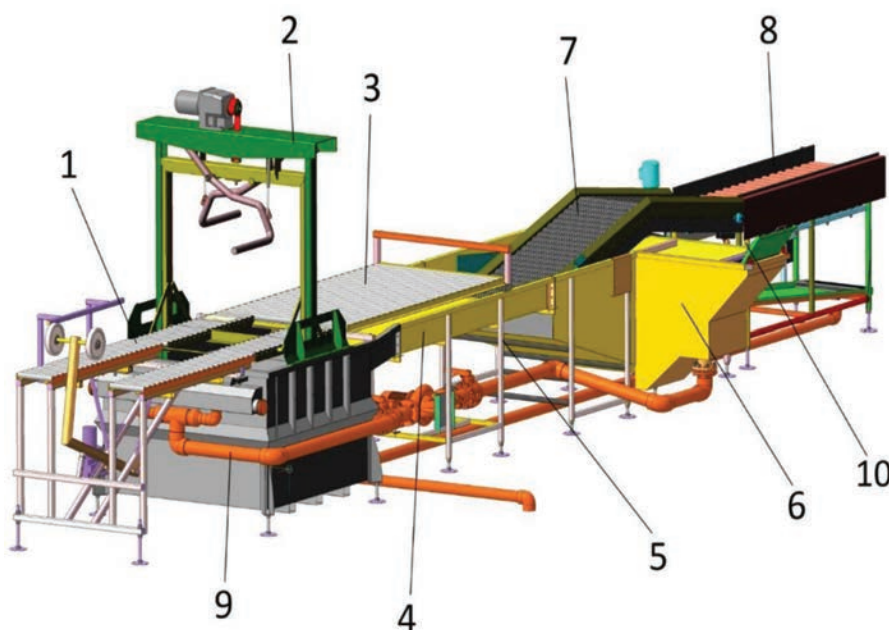


Рис. 6. Приемная часть линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4: 1 – транспортер приемный, 2 – модуль разгрузочный, 3 – ролинг, 4 – лоток, 5 – опора, 6 – ванна, 7 – горка, 8 – сушка, 9 – водовод, 10 – опора

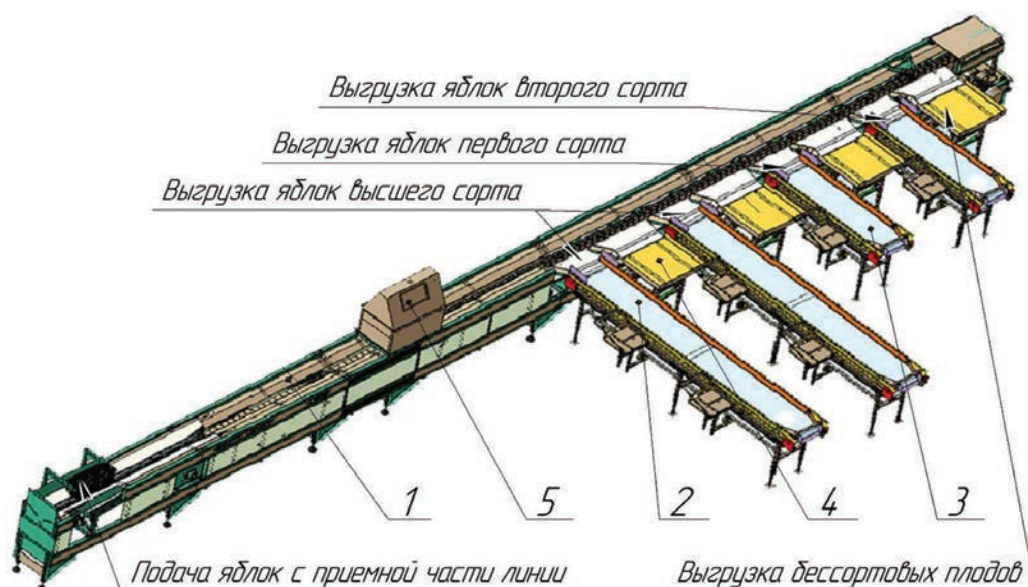


Рис. 7. Сортирующая часть линии ЛСП-4: 1 – основной конвейер, 2 и 3 – выходной транспортер, 4 – стол, 5 – система технического зрения

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является система технического зрения, состоящая из оптического модуля с видеокамерой и структурной подсветкой и электронного блока управления.

Линия обеспечивает сортировку яблок в зависимости от качества на три товарных сорта: высший, первый и второй в соответствии с показателями качества, указанными в табл. 3.

Технические характеристики технологической линии приведены в табл. 6.

Таблица 6. Технические характеристики линии ЛСП-4

Наименование показателя	Значение
Количество отводящих конвейеров, шт.	4
Скорость транспортирования плодов на основном конвейере, м/с	0,10–0,78
Производительность за час основного времени, т*	1,7–2,5
Параметры, по которым осуществляется сортировка	размер, механические повреждения, повреждения от вредителей
Обслуживающий персонал, чел.	8

* – зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов

Технологический процесс сортировки осуществляется следующим образом.

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу управляющего сигнала исполнительному механизму сбрасывателя, осуществляющему опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

Бессортные плоды транспортируются по основному конвейеру до конца, где сбрасываются на стол устройством, обеспечивающим наклон всех транспортирующих кареток конвейера (рис. 6).

Приемочные испытания линии проведены в ОАО «Остромечево» Брестского района в 2020–2021 годах. По результатам приемочных испытаний линии ЛСП-4 получен положительный протокол от 25.02.2022 № 004-1/3-2022¹.

Сравнение экономических показателей использования линии ЛСП-4 производилось с импортным аналогом – «Rollerstar CV-C3 1-7+1» фирмы «Aweta» (Голландия) и ручным трудом.

¹ Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25.02.2022 № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 99 с.

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей»¹ и показал, что годовой приведенный экономический эффект от применения линии ЛСП-4 в сравнении с импортным аналогом составляет 97142,50 руб. Республики Беларусь, срок окупаемости – 4,59 года, а в сравнении с ручным трудом – 64219,00 руб. Республики Беларусь и 6,2 года соответственно.

При этом производительность труда составила 1,8 т за час основного времени, или 225 кг/ч на одного человека из обслуживающего персонала линии, что соответствует производительности «Rollerstar CV-C3 1-7+1» и в 3 раза выше производительности при ручной сортировке плодов [20].

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 %. Наибольшая точность распознавания обеспечивается при определении дефектов «pressure» и «point» (87 и 86 % соответственно), а наименьшая – для «net» и «wart» (68 и 69 % соответственно). Очевидно, для повышения точности распознавания дефектов плодов необходимо увеличение обучающей выборки не менее чем в 2–3 раза.

Выводы

1. Создана обучающая выборка искусственной нейронной сети системы технического зрения для распознавания различных дефектов яблок сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер».

2. Применение системы технического зрения на основе ИНС с созданной базой данных моделей реальных дефектов плодов показало высокую эффективность сортировки яблок, обеспечив точность сортирования плодов по размеру на 75,4 %, а точность по наличию дефектов – на 73,1 %.

3. Для повышения точности сортировки яблок посредством ИНС необходимо увеличение объема обучающей выборки минимум в 2–3 раза.

4. Применение линии сортировки плодов ЛСП-4 позволяет повысить производительность труда при сортировке плодов в 3 раза по сравнению с ручным трудом.

Благодарности: Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Смирнов, И. Г. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, А. И. Кутырев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 35–41.
2. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2020. – Т. 1. – С. 44–47.
3. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision [Electronic resource] / C. Szegedy [et al.] // Cornell University Library. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567.pdf>. – Date of access: 15.05.2018.
4. ImageNet [Electronic resource] // Stanford Vision Lab, Stanford University, Princeton University. – Mode of access: <http://www.image-net.org>. – Date of access: 05.04.2018.
5. Yuzhen, Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples [Разработка мультиспектральной системы визуализации отраженного изображения (SIRI) и ее применение для обнаружения повреждений яблок. (США)] / Lu Yuzhen, Lu Renfu // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. – St. Joseph (Mich.), 2017. – Vol. 60, № 4. – P. 1379–1389.
6. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500>.
7. Юрин, А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А. Н. Юрин. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 208 с.

¹ Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008 (02150). – Введ. 01.02.2009. – Минск : Минсельхозпрод Республики Беларусь, 2009. – 20 с.

8. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК / Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ.* – 2020. – № 1 (38). – С. 133–141.
9. Жиркова, А. А. Автоматизированная система гиперспектрального контроля дефектов яблок / А. А. Жиркова, П. В. Балабанов, А. Г. Дивин // *Современная наука: теория, методология, практика : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апр. 2021 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т.* – Тамбов, 2021. – С. 291–296.
10. Нейронная сеть для распознавания плодов и ягод садовых культур : прЭВМ RU 2020660182 / Д. О. Хорт, А. И. Кутырёв, Р. А. Филиппов, Р. В. Вершинин, И. Г. Смирнов. – Оpubл. 28.08.2020.
11. Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме / В. В. Азаренко [и др.] // *Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук.* – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 232–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>.
12. База данных спектральных изображений болезней и повреждений злаковых культур, плодов и клубней картофеля : БД RU 2021620285 / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, Д. О. Хорт, А. И. Кутырёв, А. В. Тетерев, А. В. Сибирёв, М. Н. Московский, Р. А. Филиппов, С. В. Семичев, М. А. Мосяков. – Оpubл. 16.02.2021.
13. Training deep face recognition systems with synthetic data [Electronic resource] / A. Kortylewski [et al.] // Cornell University Library. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>. – Date of access: 16.04.2018.
14. PyQt5 PyPI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pypi.org/project/PyQt5>. – Дата доступа: 27.03.2021.
15. lxml – Processing XML and HTML with Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lxml.de>. – Дата доступа: 27.03.2021.
16. Tzutalin. Labellmg [Electronic resource] / Tzutalin. – Mode of access: <https://github.com/tzutalin/labellmg>. – Date of access: 18.06.2018.
17. Huang, J. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors [Electronic resource] / J. Huang // Cornell University Library. – 2016. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1611.10012.pdf>. – Date of access: 04.06.2019.
18. Ganganagowdar, N. V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques [Интеллектуальная система компьютерного зрения для проверки качества и сортировки плодов и овощей на основе мягких вычислений (нейронная сеть с обратной связью и вероятностная нейронная сеть). Индия] / N. V. Ganganagowdar, A. V. Gundad // *Agricultural Engineering International.* – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 171–178.
19. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок / А. Н. Юрин [и др.] // *Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Нац. акад. наук Беларусі, Науч.-практ. центр НАН Беларусі по механизации сельского хозяйства»; ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.].* – Минск : Беларуская навука, 2022. – Вып. 55. – С.88–95.
20. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посевного материала: сборник отраслевых регламентов / В. Г. Гусаков [и др.]; НАН Беларусі, Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларусі. – Минск : Беларуская навука, 2010. – 520 с.

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОБРЕЗАННЫХ ВЕТОК ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Аннотация. В данной статье приведен анализ исследований по обоснованию параметров технических средств для утилизации обрезанных веток в садах интенсивного типа.

Ключевые слова: щепа, измельчение, ветки плодовых деревьев, плоды, метод осмотра, вероятность осмотра, площадь плода, объект контроля, приемник излучения.

Anton N. Yuryn

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

ANALYSIS OF STUDIES TO SUBSTANTIATE THE PARAMETERS OF THE WORKING PARTS OF MACHINES FOR RECYCLING PRUNED BRANCHES OF FRUIT TREES

Abstract. This article provides an analysis of studies on the justification of the parameters of technical means for the disposal of cut branches in intensive gardens.

Keywords: chips, chopping, branches of fruit trees, fruits, inspection method, inspection probability, fruit area, object of control, radiation receiver.

Введение

Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними плодовыми насаждениями является обрезка деревьев, затраты на которую составляют 22–24 % всех трудозатрат на производство плодов. В зависимости от конструкции насаждений и их возраста объем срезаемых ветвей составляет 3–28 т/га [1–4]. Такой объем отходов требует выполнения технологических операций по их утилизации. В настоящее время эти операции выполняются в основном вручную. Сучья собираются рабочими с погрузкой в транспортное средство, перемещающееся непосредственно по междурядью, вывозом их за пределы сада с последующим сжиганием. Удаление обрезанных веток из междурядий может осуществляться также посредством волокуш типа В-2,5М и СВ-1. Эти способы очень трудоемки и малопродуктивны. Кроме того, при погрузке и разгрузке возможно травмирование работников, а при свалаживании ветвей волокушами – повреждение насаждений, что приводит к ежегодным потерям урожая, достигающим 56–140 кг/га [5].

Недостатком такой технологии является и нерациональное использование плодовой древесины. Более того, ее сжигание приводит к загрязнению окружающей среды: с каждой тонны сожженных веток в воздух выделяется 2–3 кг оксида углерода, 0,2 кг диоксида серы и другие вредные вещества. Это оказывает токсичное действие на природную экосистему и здоровье человека. Кроме загрязнения окружающей среды происходит выжигание почвы. Как показывает практика, из сельскохозяйственного оборота изымается до 2 % плодородных земель [6–9].

Мировой и отечественный опыт показывают, что наиболее перспективной технологией утилизации плодовых веток является их измельчение в междурядье сада. Поэтому обоснование параметров технических средств для выполнения данной операции является важной задачей для сельского хозяйства республики.

Основная часть

Исследования по обоснованию конструктивно-технологической схемы машины для измельчения и заделки щепы в почву проводили Ланцев В. Ю., Завражнов А. И., Манаенков К. А. и другие [10–16].

Так, в работе [10–11] предложена конструкция машины для измельчения ветвей непосредственно в междурядье сада.

Машина (рис. 1) содержит установленные на раме 1 трамбовочный барабан 2, перемещаемый относительно рамы машины посредством сервопривода 3, ножи 4 для обработки почвы и древесного материала, установленные на барабане 5, открытый снизу кожух 6. В передней части кожуха 6 установлен контрнож 7 с зубьями.



Рис. 1. Схема машины для измельчения и заделки щепы в почву [10]: 1 – рама; 2 – трамбовочный барабан; 3 – сервопривод; 4 – ножи; 5 – барабан; 6 – кожух; 7 и 8 – передние и задние контрножи

Технологический процесс, выполняемый машиной, состоит из следующих стадий: рыхление верхнего слоя почвы, измельчение ветвей плодовых деревьев, перемешивание древесно-почвенной массы, захватывание ее вращающимся барабаном и подача к задним контрножам, доизмельчение, свободное падение на поверхность почвы.

Обратное фрезерование почвы выгодно отличается от прямого. Как подтверждают многие исследования (А. Н. Медовник, И. Г. Алышов, Т. М. Апхудов [4, 17–20]), его преимуществами являются: более устойчивое движение ножевого барабана, меньшая гребнистость дна, большая производительность и др. Однако при обратном фрезеровании перед ножевым барабаном наблюдается значительный вынос почвы и образование земляного валка, что приводит к ухудшению выравненности поверхности и увеличению энергозатрат. В связи с этим необходимо определить влияние угла установки ножей на процесс образования земляного валка.

Исследование процесса резания отходов древесины (рис. 2) позволило установить зависимость усилия резания материала $P_{\text{л}}$ от свойств древесины и параметров режущего инструмента.

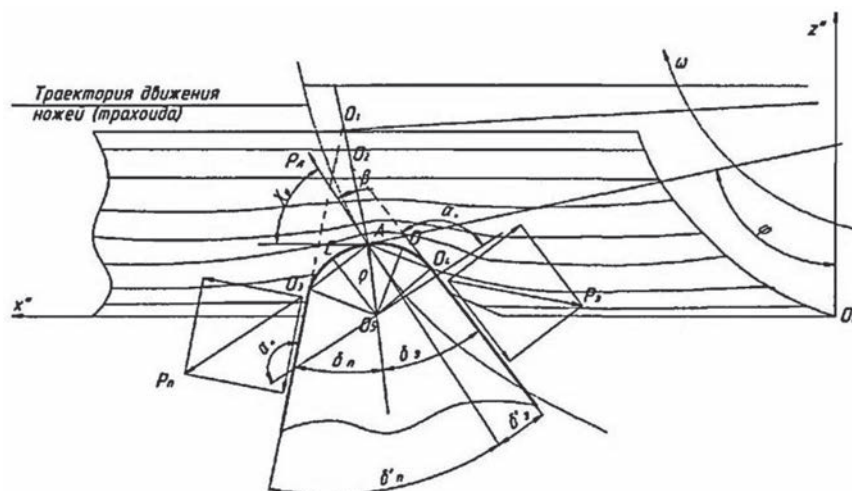


Рис. 2. Силевое взаимодействие лезвия с материалом [10]

Силу $P_{д}$ можно определить как произведение длины кромки лезвия на разрушающее контактное напряжение:

$$P_{д} = \frac{\rho (\pi - (\delta_{п} + \delta_{з})) \sigma_{сж//}}{1 + \left(\frac{\sigma_{сж//}}{\sigma_{сж\wedge}} \right) \left(1 - \left(\cos \delta \sin \psi \sqrt{1 - \frac{\cos^2 \xi'}{\sin^2 \psi} + \sin \delta \cdot \cos \xi'} \right)^2 \right)},$$

где $\sigma_{сж//}$ – предел прочности древесины на сжатие вдоль волокон, Н/мм²; $\sigma_{сж\wedge}$ – предел прочности древесины на сжатие поперек волокон, Н/мм²; ρ – радиус дуги кромки лезвия, мм; $\delta_{п}$, $\delta_{з}$ – углы заточки ножа соответственно по передней и задней граням, град.

На основании полученных зависимостей были получены графики зависимостей удельной силы резания $P_{уд}$ от угла подъема ветви до подрезания ξ' (рис. 3), от угла заточки лезвия $\delta_{п}$ (рис. 4), угла наклона лезвия η (рис. 5).

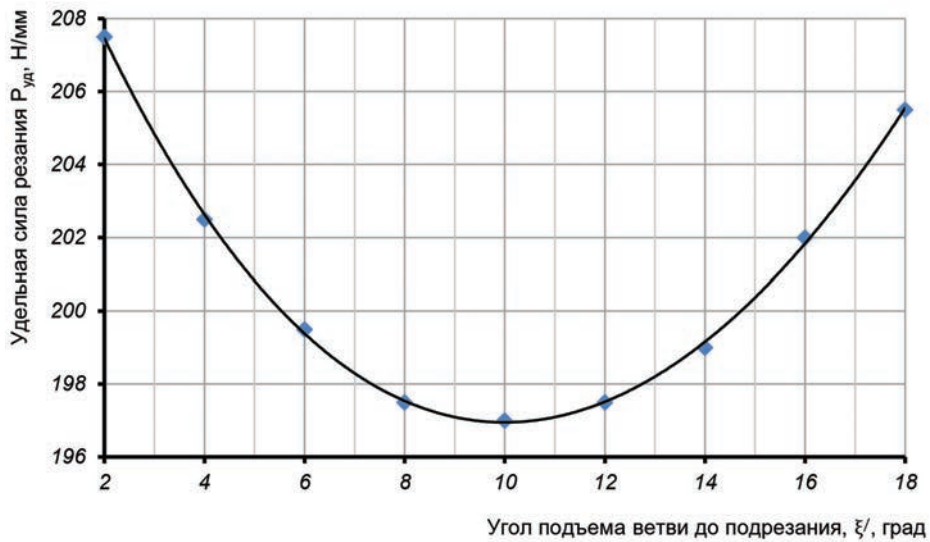


Рис. 3. Зависимость удельной силы резания $P_{уд}$ от угла подъема ветви до перерезания ξ'

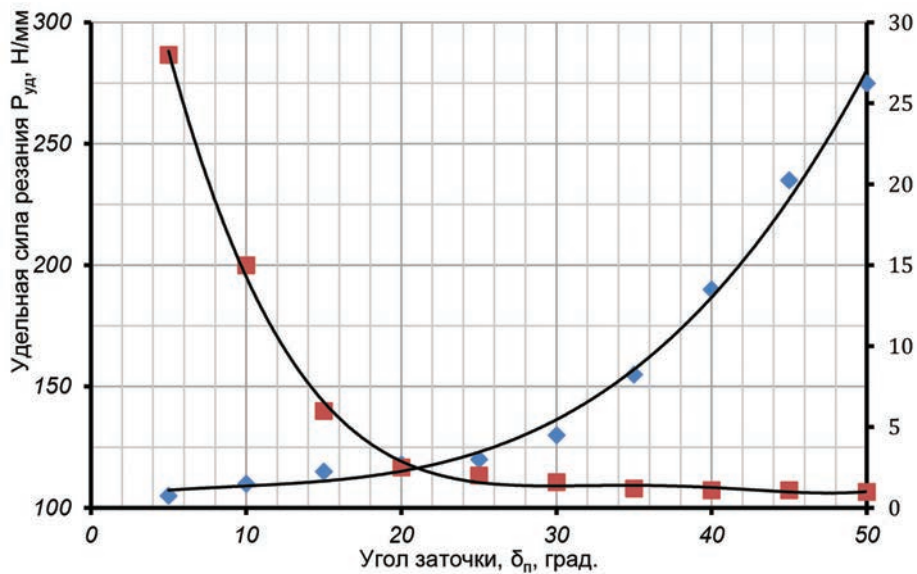


Рис. 4. Зависимость удельной силы резания $P_{уд}$ и долговечности остроты лезвия от угла заточки $\delta_{п}$

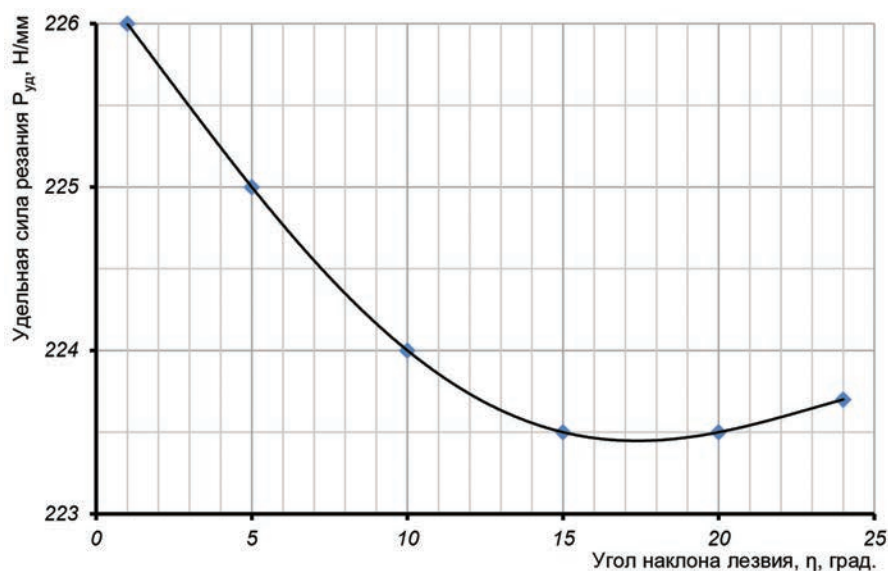


Рис. 5. Зависимость удельной силы резания $P_{уд}$ от угла наклона лезвия η

Анализ зависимостей позволил установить рациональные углы подъема ветвей до подрезания, углы заточки и наклона лезвия, обеспечивающие наименьшую удельную силу резания ветвей. Кроме того, автором была обоснована схема расстановки ножей на барабане измельчителя, скорость вращения барабана и поступательная скорость агрегата в саду.

Таким образом, были обоснованы параметры и режимы работы измельчителя, обеспечивающие измельчение ветвей деревьев.

Однако остается нерешенным вопрос сбора ветвей по ширине междурядья сада.

Замоевым А. У. [21] была предложена конструкция подборщика-измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев ПИВ-1, оснащенного двумя ступенями роторных двухвалковых измельчителей (рис. 6–7).

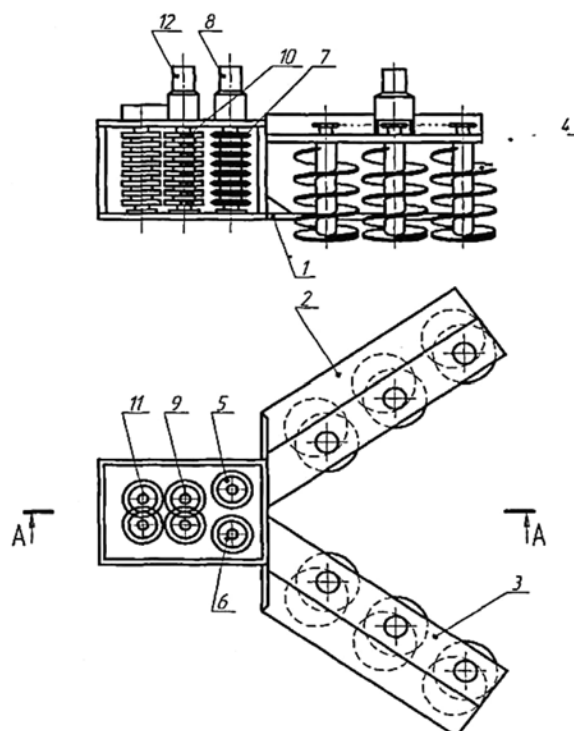


Рис. 6. Схема подборщика-измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев ПИВ-1 [21]

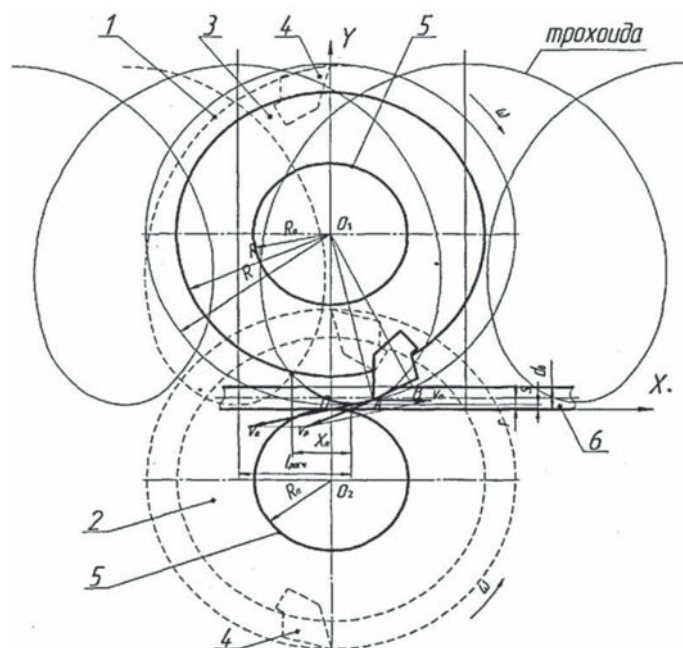


Рис. 7. Кинематическая схема работы двухвалкового роторного измельчителя ПИВ-1 [21]:
 1, 2 – верхний и нижний роторы; 3 – ножевой диск; 4 – нож; 5 – вал ротора; 6 – ветка

Подборщик-измельчитель содержит закрепленный на V-образной раме 1 рабочий орган, включающий левую 2 и правую 3 секции роторов, установленные с возможностью вращения навстречу друг другу и выполненные в виде шнеков 4, каждый из которых имеет навивку с одинаковым шагом.

В вершине угла V-образной рамы 1 установлены два подающих вальца 5 и 6 с oppositно расположенными на них дисковыми ножами 7, приводимыми во вращение от гидромотора 8. За ними V-образно по отношению к оси вращения вальцов 5 и 6 установлены две ступени измельчителей: первая для измельчения с образованием толстой стружки двухвалковым роторным измельчителем 9 с шахматным расположением зубчатых ножей 10, и вторая ступень – двухвалковый роторный доизмельчитель с вальцами 11. Привод измельчителей осуществляется от гидромотора 12.

Принцип работы подборщика-измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев следующий. При движении агрегата по междурядью шнеки 4 левой 2 и правой 3 секций, вращаясь навстречу друг другу, захватывают обрезки ветвей витками шнеков и подают их к вальцам 5 и 6. При попадании толстых ветвей, диаметр которых больше свободного пространства между дисковыми ножами 7, они получают продольные надрезы, после чего попадают в двухвалковый роторный измельчитель 9, рабочие органы которого осуществляют резание на части подаваемых надрезанных ветвей по типу образования толстой стружки. Вальцы второй ступени осуществляют перетирающее доизмельчение полученных первой ступенью измельчения частиц срезанных ветвей. Образованная измельченная масса сбрасывается на поверхность почвы мульчирующим слоем, способствуя тем самым повышению ее плодородия.

На основе теоретических исследований получена математическая модель процесса измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев, анализ которой позволил установить зависимости показателей работы измельчительного устройства – энергоемкости, производительности и степени измельчения от его основных параметров и режимов работы.

Экспериментальными исследованиями установлена зависимость энергоемкости измельчения от основных конструктивных и технологических параметров измельчителя.

Экспериментально уточнены оптимальные параметры двухвалкового роторного измельчителя.

Конструктивные параметры:

- углы заточки граней ножа $\delta_{II} = -10^\circ$, $\delta_3 = 60^\circ$;
- радиус вращения режущей кромки ножа $R = 0,12$ м.

Технологические параметры:

– скорость подачи ветвей $v_{п} = 1,4$ м/с;

– окружная скорость режущей кромки ножа $v_{о} = 8$ м/с;

– зазор между режущей кромкой ножа и валом противоположного ротора $s = 0,003$ м.

Однако полученный измельчитель-подборщик не обеспечивает сгребания ветвей со всей ширины междурядья сада, что требует дополнительных операций и ручного труда. Кроме того, измельчитель-подборщик прицепной обладает высокой металлоемкостью, что ограничивает его применение в садах интенсивного типа, снижает маневренность и производительность труда.

В результате проведенных научных исследований обоснованы параметры и режимы работы измельчителей, обеспечивающих измельчение ветвей деревьев с одновременной заделкой измельченных остатков в почву или без нее.

При этом до настоящего времени нерешенным остается вопрос сбора ветвей по всей ширине междурядья сада, который бы позволил полностью механизировать процесс утилизации обрезанных ветвей и осуществлять измельчение и валкование древесных остатков за один проход по саду.

Заключение

1. Проведенными научными исследованиями обоснованы параметры и режимы работы измельчителей, обеспечивающих измельчение ветвей деревьев с одновременной заделкой измельченных остатков в почву или без нее.

2. До настоящего времени нерешенным остается вопрос сбора ветвей по всей ширине междурядья сада, который бы позволил полностью механизировать процесс утилизации обрезанных ветвей и осуществлять измельчение и валкование древесных остатков за один проход по саду.

Список использованных источников

1. Медовник, А. Н. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов ухода за плодовыми насаждениями интенсивного типа: дис. ... докт. техн. наук: 05.50.01 / А. Н. Медовник. – Нальчик, 2001. – 317 л.

2. Беренштейн, И. Б. Машины для обрезки кроны плодовых деревьев, сбора чурпы и измельчения срезанных веток / И. Б. Беренштейн // Система садоводства Республики Крым / Крым. федер. ун-т, Акад. биоресурсов и природопользования; под общ. ред. В. И. Копылова. – Симферополь, 2016. – С. 255–258.

3. Исследование физико-механических свойств ветвей плодового дерева / А. А. Земляной [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2. – С. 139–147.

4. Альшов, И. Г. Обоснование выбора конструкции подборщика обрезков ветвей фундука / И. Г. Альшов // Аграрная наука. – 2014. – № 12. – С. 28–29.

5. Рекомендации по утилизации и использованию отработанной биомассы садов и ягодников в Республике Беларусь: науч.-практ. изд. / РУП «Институт плодородия»; сост. : В. А. Самусь [и др.]. – Самохваловичи, 2011. – 24 с.

6. Машины для формирования крон и уборки урожая плодовых культур / Г. П. Варламов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 206 с.

7. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.]; ФГБНУ «Росинформагротех»; под общ. ред. М. И. Куликова – М., 2012. – 164 с.

8. Апхудов, Т. М. Древесные отходы садоводства и технологии их утилизации / Т. М. Апхудов, Л. З. Шекихачева // Человек и современный мир. – 2019. – № 1 (26). – С. 163–169.

9. Синяк, С. О. О проблеме уборки обрезанных веток плодовых деревьев в Республике Беларусь и пути ее решения / С. О. Синяк, А. Н. Юрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук. Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 212–215.

10. Ланцев, В. Ю. Совершенствование технологии утилизации отходов обрезки в слаборослых садах с обоснованием параметров измельчителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Ю.В. Ланцев; ГНУ Всероссийский НИИ садоводства им. Мичурина. – Мичуринск, 2004. – 23 с.

11. Ланцев, В. Ю. Исследования машины для удаления древесно-растительных остатков из почвы / В. Ю. Ланцев, В. В. Денисов // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 1. – С. 44.

12. Завражнов, А. И. Теоретический анализ процесса измельчения плодовой древесины / А. И. Завражнов, К. А. Магнаенков, В. Ю. Ланцев // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2001. – № 4. – С. 41–45.

13. Завражнов, А. А. Передовые производственные технологии в решении проблем механизации трудоемких процессов в промышленном садоводстве / А. А. Завражнов, А. И. Завражнов, В. Ю. Ланцев // Достижения науки и техники АПК : науч.-тех. журнал. – 2017. – Т. 31, № 8. – С. 58–61.

14. Завражнов, А. И. Технологии и техника для интенсивного садоводства России / А. И. Завражнов, А. А. Завражнов, В. Ю. Ланцев // Инновационная деятельность – основа повышения эффективности и модернизации садоводства и ягодоводства в современных условиях : материалы междунар. дист. науч.-практ. конф., Мичуринск, 1–15 сент. 2013 г. / Мичуринский государственный аграрный университет ; ред.: Трунов Ю.В. [и др.]. – Мичуринск, 2013. – С. 57–61.
15. Манаенков, К. А. Ресурсосберегающие технологии и комплекс машин для ухода за почвой в интенсивных садах: автореф. дисс. ... докт. техн. наук : 05.20.01 / К. А. Манаенков ; Мичуринский государственный аграрный университет. Мичуринск, 2010. – 35 с.
16. Манаенков, К. А. Ресурсосберегающий уход за почвой в интенсивных слаборослых садах / К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев, В. Г. Бросалин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2006. – № 1. – С. 144–148.
17. Медовник, А. Н. Технологическое и техническое обеспечение ресурсоэнергосберегающих процессов ухода за плодовыми насаждениями интенсивного типа : дис. ... докт. техн. наук : 05.50.01 / А. Н. Медовник ; Северо-Кавказский науч.-исслед. ин-т горного и предгорного садоводства – Нальчик, 2001. – 317 л.
18. Апхудов, Т. М. Древесные отходы садоводства и технологии их утилизации / Т. М. Апхудов, Л. З. Шекихачева // Человек и соврем. мир. – 2019. – № 1 (26). – С. 163–169.
19. Апхудов, Т. М. Обоснование конструктивных параметров двухвалкового роторного измельчителя срезанных ветвей / Т. М. Апхудов // Изв. Кабард.-Балкар. гос. аграр. ун-та им. В. М. Кокова. – 2020. – № 2 (28). – С. 106–110.
20. Апхудов, Т. М. Математическое моделирование процесса измельчения плодовых ветвей роторным измельчителем / Т. М. Апхудов, А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 9 (267). – С. 21–24.
21. Заммоев, А. Ю. Параметры и режимы работы измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. Ю. Заммоев; Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова. – Нальчик, 2006. – 24 с.

А. Н. Юрин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ТУННЕЛЬНОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ДЛЯ САДОВ ИНТЕНСИВНОГО ТИПА

Аннотация. В данной статье представлено обоснование рациональной конструктивно-технологической схемы туннельного устройства шатрового опрыскивателя с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка».

Ключевые слова: туннельное устройство, садовый опрыскиватель, диффузор, воздушный поток, вентилятор.

Anton N. Yuryn

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL SCHEME OF A TUNNEL SPRAYER FOR INTENSIVE TYPE GARDENS

Abstract. This article presents a rationale for the rational design and technological scheme of a tunnel device for a tent sprayer with a circular movement of air flow with a “Snail” type diffuser.

Keywords: tunnel device, garden sprayer, diffuser, airflow, fan.

Введение

Одной из важнейших проблем садоводства Беларуси является борьба с вредителями и болезнями [1].

В настоящее время для обработки садов применяются вентиляторные опрыскиватели, при работе которых потери рабочего раствора достигают 90 % за счет сноса раствора ветром и его осадения на землю, что увеличивает вредное воздействие на окружающую среду [2].

Химические средства защиты растений гарантируют высокую эффективность в борьбе с вредителями и болезнями, защиту урожая, но в то же время большинство из них ядовито для человека и животных, полезных насекомых и птиц. Поэтому широкое применение химических средств имеет свои отрицательные стороны. Очевидно, что необходимо стремиться к минимизации применения химических средств защиты.

Известно, что борьба с вредителями и болезнями плодовых деревьев и кустарников в садах может принести пользу, если ее проводить одновременно на всех участках. Разрозненные меры защиты сада менее эффективны, так как бабочки и жуки перелетают, гусеницы переползают, клещи переносятся ветром на здоровые деревья и кустарники. Поэтому время проведения операции химической защиты плодовых деревьев в саду ограничено 3 сутками. Этот фактор обуславливает потребность крупных хозяйств в большом количестве опрыскивателей. Общая потребность хозяйств республики в опрыскивателях составляет 300 шт. (430 шт. – на перспективу).

В настоящее время для обработки садов рабочими растворами ядохимикатов применяются вентиляторные опрыскиватели как отечественного, так и импортного производства (рис. 1–3). Однако такие опрыскиватели имеют много недостатков.



Рис. 1. Опрыскиватель ЗУБР ПВ
фирмы ООО «СелаГро»



Рис. 2. Опрыскиватель Мекосан-2000-В2
фирмы ОАО «Мекосан»



Рис. 3. Опрыскиватель Rall 2000 С фирмы Rall
производства УП «АЗАТ»

Вредное воздействие ветра на объем и проникновение жидкости для опрыскивания вентиляторного типа является общеизвестной помехой в правильном совершении процедуры обработки садов. Единственной возможностью уменьшения вредного воздействия ветра в данном случае является выбор времени, когда ветра нет. Иногда из-за сильного ветра оказывается невозможным даже опрыскивание ночью. Очень часто такие промежутки времени без ветра приходится долго ждать, а поздняя процедура опрыскивания иногда причиняет убытки значительно более высокие, чем цена нового опрыскивателя.

Итогом функционирования таких опрыскивателей является то, что потери рабочего раствора на почву и в атмосферу достигают 90 % в зависимости от периода обработки, что существенно увеличивает вредное воздействие на окружающую среду. При весенних обработках потери достигают максимальных величин и постепенно снижаются по мере развития и увеличения листостебельной массы растений. Возникающее облако из мелкодисперсного раствора ядохимикатов при работе вентиляторных опрыскивателей может достигать расположенных рядом жилищно-бытовых построек и зон отдыха людей.

Кроме того, такие опрыскиватели предназначены для высокообъемного опрыскивания, к наиболее существенным недостаткам которого относится низкая производительность труда, связанная с большим расходом жидкости на единицу площади сада, что приводит к необходимости частых возвращений к месту забора воды и приготвлению рабочей жидкости.

Основная часть

Устранение данного недостатка возможно за счет создания туннельных опрыскивателей [2]. При работе туннельных опрыскивателей обработка осуществляется в закрытой камере, вследствие чего на растениях остается то количество рабочего раствора, которое может удерживать листосте-

бельный аппарат. Рабочий раствор, проходя сквозь ряд насаждений, осаждается на их ветвях и листьях (рис. 4). Часть раствора, проходя сквозь крону, попадает в противоположный шатер туннельного опрыскивателя, где осаждается, стекает по стенкам конденсаторов и попадает обратно в бак.

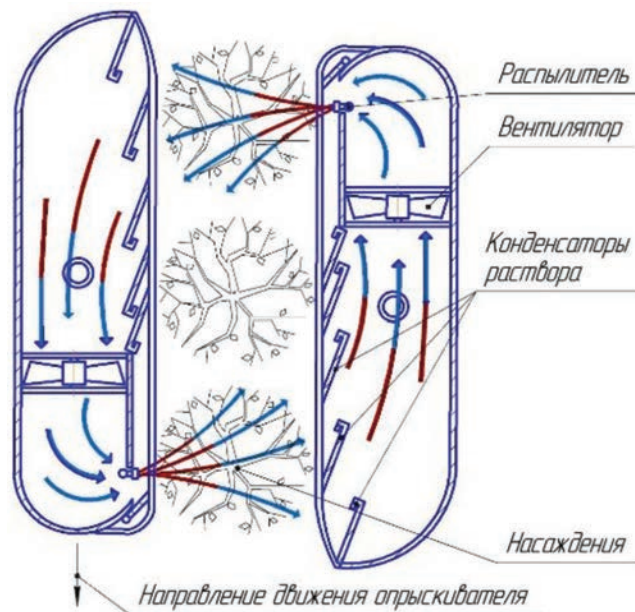


Рис. 4. Схема работы туннельного опрыскивателя

Обоснование конструктивно-технологической схемы опрыскивателя. Для обеспечения качественной обработки насаждений различной плотности необходимо создать достаточный воздушный поток, способный обеспечить транспортирование рабочего раствора пестицида в плотную крону многолетнего дерева на поздней стадии вегетации.

При этом для обеспечения наибольшей экономии рабочего раствора, не осевшего на ветви и листья обрабатываемых деревьев, необходимо обеспечение наиболее полного улавливания потока «окном» противоположного шатра.

Для проведения поисковых исследований рациональной конструкции туннельного опрыскивателя были предложены следующие схемы: со встречным движением воздушных потоков (рис. 5, а); с круговым движением воздушного потока и поперечно расположенными вентиляторами (рис. 5, б); с круговым движением воздушного потока и продольно расположенными вентиляторами (рис. 5, в); с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» (рис. 5, г).

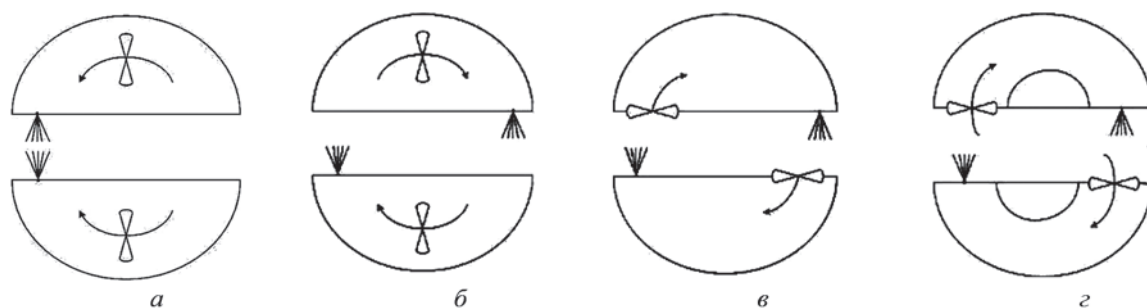


Рис. 5. Конструктивно-технологические схемы туннельного опрыскивателя: а – со встречным движением потоков; б – с круговым движением потоков и поперечно расположенными вентиляторами; в – с круговым движением потоков и продольно расположенными вентиляторами; г – с диффузором типа «Улитка»

Для определения рациональных параметров туннельного опрыскивателя РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» создан макетный образец туннельного опрыски-

вателя (рис. 6), который состоит из рамы 1, двух шатров 2, установленных друг напротив друга и образующих портал, внутри которого происходит обработка.

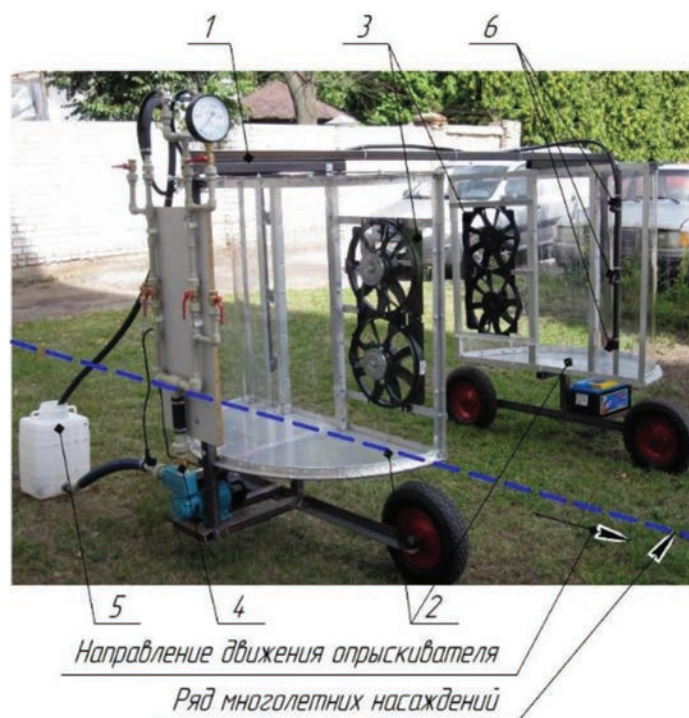


Рис. 6. Макетный образец туннельного опрыскивателя: 1 – рама; 2 – шатер; 3 – вентилятор; 4 – насос; 5 – бак; 6 – распылители

Каждый шатер оборудован вентилятором 3 и блоком распылителей 6. Рабочий раствор пестицида насосом 4 из бака 5 подается к распылителям. Экспериментальные исследования приведенных функциональных схем показали, что наиболее перспективной представляется схема с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» (рис. 5, г), так как она обеспечивает повышение скорости воздушного потока на 25–70 % по сравнению с остальными схемами, что позволит повысить энергетическую отдачу вентиляторов.

Кроме того, в приведенной схеме неравномерность распределения скорости воздушного потока по ширине и высоте устройства ниже (на 35–50 и 42–61 % соответственно по сравнению с другими схемами устройства), что обеспечивает более равномерную обработку насаждений.

Заключение

Рациональной конструктивно-технологической схемой туннельного устройства шатрового опрыскивателя является схема с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка».

Список использованных источников

1. Юрин, А. Н. Некоторые результаты испытаний туннельного устройства шатрового опрыскивателя для садов интенсивного типа / А. Н. Юрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 145–152.

2. Догода, П. А. Автоматизированная система определения конструктивных параметров рабочих органов камерного (туннельного) опрыскивателя для химической защиты виноградных насаждений / П. А. Догода, А. В. Степанов, А. П. Догода // Наукові праці Південного філіалу Національного Університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. – Сімферополь, 2012. – Вип. 146. – С. 44–57.

А. Н. Юрин, С. П. Кострома

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТУРА УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследований по обоснованию рациональных параметров систем управляемого капельного полива.

Ключевые слова: капельный полив, орошение, исследования, параметры.

A. N. Yuryin, S. P. Kostroma

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

RESULTS OF STUDIES OF THE HUMIDIFICATION CIRCUIT AT DRIP IRRIGATION

Abstract. This article presents the results of research to substantiate the rational parameters of controlled drip irrigation systems.

Keywords: drip irrigation, irrigation, research, parameters.

Введение

Одним из наиболее прогрессивных способов полива, который находит все большее распространение в нашей стране и за рубежом, является капельное орошение. Применение его обеспечивает благоприятное для растений увлажнение почвы, т. е. позволяет создать оптимальный водно-воздушный режим, сохранить структуру почвы и улучшить ее аэрацию. В результате этого по сравнению с другими способами полива урожайность сельскохозяйственных культур возрастает на 50–80 % при меньших затратах поливной воды и труда на 35–50 % [1].

При капельном орошении распределение влаги в почве происходит как в вертикальном направлении под действием гравитационных сил по крупным порам и капиллярам, так и в горизонтальном – под воздействием капиллярных сил. При этом увлажняется не весь объем, а контур увлажнения, под которым понимается почвенное пространство в пределах условной контурной поверхности, охваченное увлажнением из точечного или линейного источника оросительной воды.

При подаче поливной воды из капельницы вокруг капельницы образуется контур увлажнения почвы. Геометрические параметры контура увлажнения при подаче воды из капельницы зависят от расхода капельницы, продолжительности полива, уровня исходной увлажненности почвенного слоя, поливной нормы, гранулометрического состава и пористости почвы. Размеры контура увлажнения также зависят от капиллярных свойств почвы. Основными геометрическими параметрами контура увлажнения при капельном орошении являются глубина увлажняемого слоя и максимальный радиус. При этом остается неясным, каким образом и насколько изменяется контур увлажнения при различных поливных нормах. Кроме этого, особый интерес представляет распределение влаги в почве после полива. Эти вопросы связаны, прежде всего, с оптимизацией элементов систем капельного орошения.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка системы капельного полива, которая позволила провести моделирование в лабораторных условиях и получить характеристику режимов орошения и оценить их изменчивость.

Основная часть

Физическое моделирование проводилось в лабораторных условиях. Для этого изготовлена лабораторная установка системы капельного полива. Лабораторная установка (рис. 1) системы капельного полива состоит из основания 1, емкости для почвы 2, стойки 3 с кронштейном 4, емкости для воды 5 с краном 6.

Каркасом всей установки служит основание, на котором крепятся стойка с кронштейном и емкость для почвы. Основание обеспечивает прочность всей установки. Основание установлено на колеса.

Емкость для почвы для удобства выполнена разборной и состоит из двух частей.

Для проведения исследований емкость наполнялась почвой и уплотнялась близко к естественной плотности почвы. Контроль твердости почвы осуществлялся прибором пенетрометром грунтовым ПГ-3М.

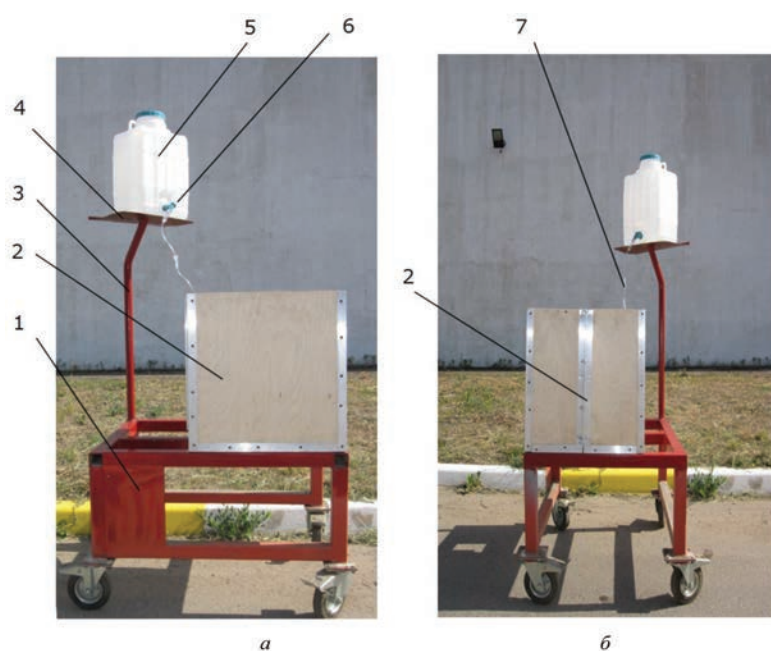


Рис. 1. Лабораторная установка системы капельного полива: *а* – вид сбоку; *б* – вид спереди; 1 – основание; 2 – емкость для почвы; 3 – стойка; 4 – кронштейн; 5 – емкость для воды; 6 – кран; 7 – капельница

Первоначально исследования на лабораторной установке проводились при различных уровнях предполивной влажности почвы (65, 75, 85 % НВ) (рис. 2).



Рис. 2. Исследование параметров физического моделирования капельного орошения

При исследовании определялись диаметр и глубина увлажняемого слоя, сформированного капельницей (рис. 3).

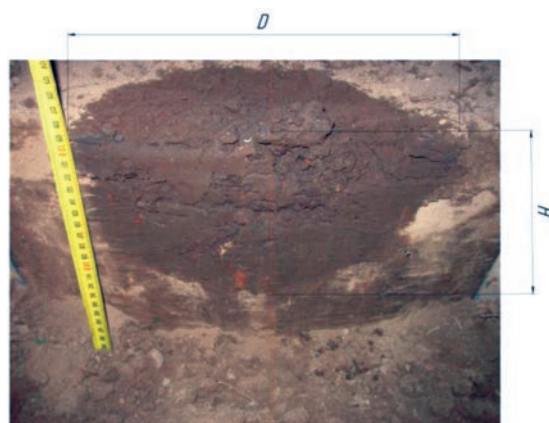


Рис. 3. Исследование параметров физического моделирования капельного орошения

Результаты измерений параметров изложены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений параметров физического моделирования капельного орошения

Уровень предполивной влажности почвы	Показатель промачивания, см	Продолжительность полива, ч							
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
65 % НВ	диаметр	13	21	28	32	35	40	45	48
	глубина	7	14	19	22	25	27	29	31
75 % НВ	диаметр	14	22	29	33	36	41	45	49
	глубина	8	18	23	26	29	31	33	35
85 % НВ	диаметр	16	23	30	34	37	42	48	50
	глубина	10	21	26	29	31	33	36	39

Так, при поддержании порога предполивной влажности почвы 65 % НВ глубина увлажняемого слоя через два часа подачи воды составляла 22 см, а через четыре часа достигла 31 см. При этом диаметр увлажнения был больше глубины промачивания примерно в 1,6 раза и составил соответственно 32 и 48 см. С увеличением предполивной влажности почвы до 75 % НВ изучаемые параметры увеличились несущественно: диаметр увлажняемой зоны и глубина промачивания составили соответственно 33 и 26 см при продолжительности подачи воды через капельницу в течение двух часов и 49 и 35 см при продолжительности 4 часа.

Наибольшие размеры контура увлажнения были зафиксированы при режиме предполивной влажности почвы 85 % НВ. Здесь диаметр увлажняемой зоны постепенно возрастал от 34 см (при продолжительности работы капельницы в течение двух часов) до 50 см (при работе капельницы в течение четырех часов). Глубина промачивания за этот период увеличилась соответственно до 29 и 39 см.

Анализ полученных результатов показал, что в среднем диаметр увлажняемой зоны по сравнению с глубиной промачивания увеличивался в 1,4–1,6 раза. Меньшие размеры характерны для режима увлажнения 85 % НВ: в 1,2–1,3 раза. Следует отметить, что в первый период проведения опыта увлажняемая зона заметно увеличивалась, однако процесс постепенно затухал и за последние 0,5 ч наблюдений контур увлажнения увеличился всего лишь на 3 см как по диаметру увлажняемой зоны, так и по глубине промачивания.

Таким образом, по результатам стендовых измерений в процессе физического моделирования с расходом капельницы 1,2 л/ч контур увлажнения возрастал с повышением режима предполивной влажности почвы от 65 до 85 %. Увеличение увлажняемой зоны происходит вследствие более высокой исходной влажности почвы. При этом для промачивания слоя почвы 0,2 м требовалось увлажнение почвы не менее 2 ч, а для промачивания почвенного слоя 0,35 м – более 4 ч.

В зависимости от режима предполивной влажности почвы и поливной нормы в увлажняемой зоне влажность почвы при капельном орошении существенно изменялась. Возникла необходимость измерить влажность на разном расстоянии от капельницы и разной глубине.

После полива влажность почвы лабораторно определялась в шести точках на расстоянии от оси капельницы 5, 10, 20, 30, 40 см с отбором образцов через 10 см на глубину 50 см. Влажность определяли по ГОСТ 28268 [2].

Полученные результаты по определению влажности почвы в контуре увлажнения и ее распределение в увлажняемой зоне при глубине увлажнения 50 см приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений параметров физического моделирования капельного орошения

Уровень увлажнения в НВ и норма полива	Расстояние от оси капельницы, см	Глубина промачивания, см				
		10	20	30	40	50
65 % НВ 145 м ³ /га	5	104,2	101,3	93,5	82,4	73,4
	10	101,1	98,2	87,5	80,1	70,3
	20	94,5	92,1	84,7	77,4	68,1
	30	90,2	84,2	79,3	73,2	66,4
	40	80,2	76,2	67,2	65,2	62,1
75 % НВ 105 м ³ /га	5	102,5	99,3	87,6	76,8	75,5
	10	100,3	95,5	87,5	76,6	75,4
	20	93,3	85,5	84,5	76,4	75,3
	30	85,2	82,1	81,2	75,4	66,9
	40	82,1	78,4	74,3	71,1	67,1
85 % НВ 50 м ³ /га	5	100,5	96,2	89,3	86,9	85,6
	10	97,6	92,3	88,8	86,5	83,2
	20	94,8	89,3	88,4	86,1	82,2
	30	91,2	86,4	78,4	73,2	69,2
	40	88,2	85,1	76,5	71,1	68,4

Из представленных данных следует, что наиболее высокая влажность почвы после проведения полива создавалась вблизи оси капельницы и достигала наименьшей влагоемкости и даже превышала ее (104,2 % НВ), а по мере удаления от нее влажность почвы заметно снижается. Так, при режиме предполивной влажности 65 % НВ и поливной норме 145 м³/га, обеспечивающей промачивание почвенного слоя на глубину 0,5 м, влажность почвы в слое 0–40 см на расстоянии 5 см от оси капельницы варьировала в пределах от 104,2 до 73,4 % НВ. На расстоянии 20 см от оси капельницы в слое почвы 0–40 см влажность почвы была выше 68,1 % НВ.

Наглядная картина по формированию контуров увлажнения в зависимости от режима предполивной влажности почвы и поливной нормы представлена на рисунках 4–6.

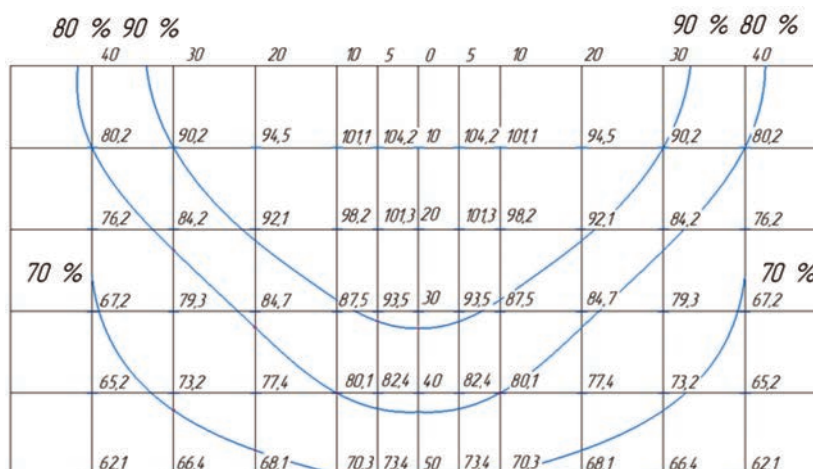


Рис. 4. Контурсы увлажнения при предполивной влажности 65 % НВ и норме полива 145 м³/га

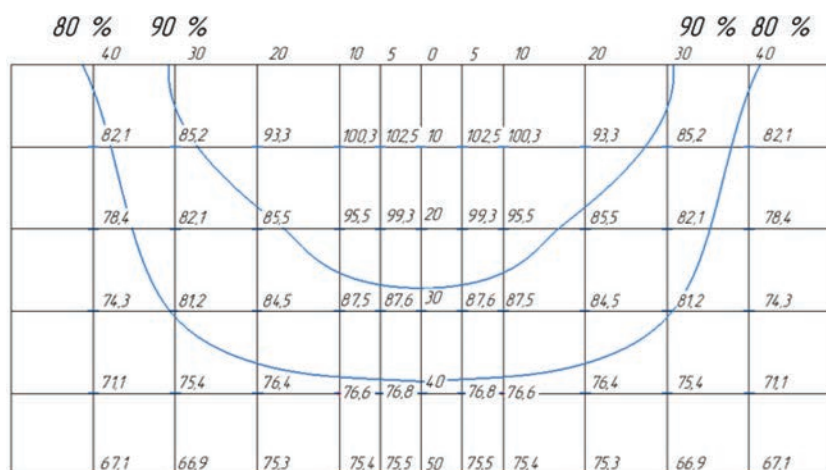


Рис. 5. Контуры увлажнения при предполивной влажности 75 % НВ и норме полива 105 м³/га

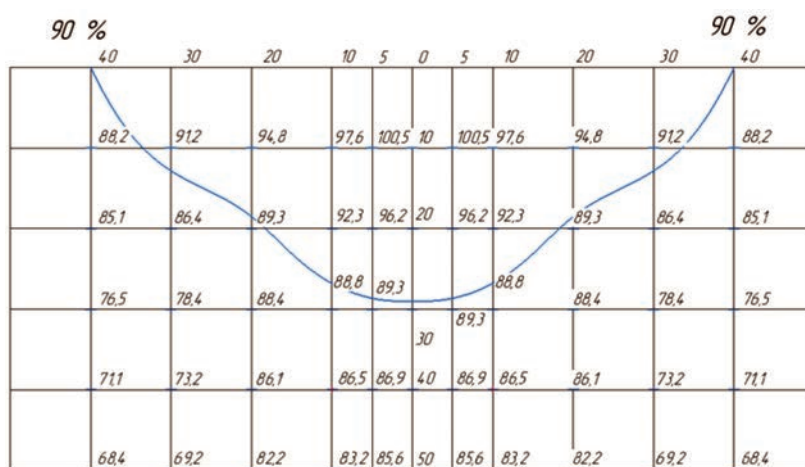


Рис. 6. Контуры увлажнения при предполивной влажности 85 % НВ и норме полива 50 м³/га

При уровне предполивной влажности почвы 75 % НВ и поливной норме 105 м³/га создавалась увлажнение почвы на глубину 40 см при удалении от оси капельницы на 5 и 20 см и на глубину 20 см при удалении от капельницы на 40 см.

При уровне предполивной влажности почвы на уровне 85 % НВ и поливе нормой 50 м³/га послеполивная влажность почвы в контуре увлажнения не ниже 85 % НВ поддерживалась на глубине 40 см при расстоянии от оси капельницы до 20 см. При увеличении расстояния от оси капельницы до 40 см такая влажность наблюдалась только в верхних слоях почвы.

Следовательно, при поливных нормах, рассчитанных на увлажнение слоя почвы 0,5 м и расстояниях от оси капельницы 5, 20, 40 см формируется увлажняемая зона с глубиной промачивания соответственно 50, 50 и 30 см при режиме увлажнения 65 и 75 % НВ и 50, 40, 20 см при режиме увлажнения 85 %. При этом более высокие показатели контуров увлажнения характерны для режима увлажнения 65 % НВ. Это обусловлено большим иссушением почвы перед проведением полива.

Заключение

Анализ полученных результатов при определении контуров увлажнения показал, что в среднем диаметр увлажняемой зоны по сравнению с глубиной промачивания увеличивался в 1,4–1,6 раза. Меньшие размеры характерны для режима увлажнения 85 % НВ: в 1,2–1,3 раза. Следует отметить, что в первый период проведения опыта увлажняемая зона заметно увеличивалась, однако процесс постепенно затухал и за последние 0,5 ч наблюдений контур увлажнения увеличился всего лишь на 3 см как по диаметру увлажняемой зоны, так и глубине промачивания.

Таким образом, по результатам стендовых измерений в процессе физического моделирования с расходом капельницы 1,2 л/час контур увлажнения возрастал с повышением режима предполивной влажности почвы от 65 до 85 % НВ. Увеличение увлажняемой зоны происходит вследствие более высокой исходной влажности почвы. При этом для промачивания слоя почвы 0,2 м требовалось увлажнение почвы не менее 2 ч, а для промачивания почвенного слоя 0,35 м – более 4 ч.

При определении влажности почвы в увлажненной зоне после проведения капельного полива установлено, что наиболее высокая влажность почвы после проведения полива создавалась вблизи оси капельницы и достигала наименьшей влагоемкости и даже превышала ее (104,2 % НВ), а по мере удаления от нее влажность почвы заметно снижалась. Так, при режиме предполивной влажности 65 % НВ и поливной норме 145 м³/га, обеспечивающей промачивание почвенного слоя на глубину 0,5 м, влажность почвы в слое 0–40 см на расстоянии 5 см от оси капельницы варьировала в пределах от 104,2 до 73,4 % НВ. На расстоянии от оси капельницы 20 см в слое почвы 0–40 см влажность почвы была выше 68,1 % НВ.

При уровне предполивной влажности почвы 75 % НВ и поливной норме 105 м³/га создавалось увлажнение почвы на глубину 40 см при удалении от оси капельницы на 5 и 20 см и на глубину 20 см при удалении от капельницы на 40 см.

При уровне предполивной влажности почвы на уровне 85 % НВ и поливе нормой 50 м³/га послеполивная влажность почвы в контуре увлажнения не ниже 85 % НВ поддерживалась на глубине 40 см при расстоянии от оси капельницы до 20 см. При увеличении расстояния от оси капельницы до 40 см такая влажность наблюдалась только в верхних слоях почвы.

Следовательно, при поливных нормах, рассчитанных на увлажнение слоя почвы 0,5 м и расстояниях от оси капельницы 5, 20, 40 см формируется увлажняемая зона с глубиной промачивания соответственно 50, 50 и 30 см при режиме увлажнения 65 и 75 % НВ; и 50, 40, 20 см при режиме увлажнения 85 %. При этом более высокие показатели контуров увлажнения характерны для режима увлажнения 65 % НВ, что обусловлено большим иссушением почвы перед проведением полива.

Список использованных источников

1. Айдаров, И. П. Теоретические и экспериментальные исследования влагопереноса при внутрпочвенном и капельном орошении / И. П. Айдаров, А. А. Алексащенко // Оптимизация процессов комплексного мелиоративного регулирования: сб. науч. тр. / МГМН. – М., 1985. – С. 3–12.

2. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений : ГОСТ 28268-89. – Введ. 01.06.1990. – Москва: Государственный агропромышленный комитет СССР, 1976. – 21 с.

3. Сергеев, Е. М. Грунтоведение / Е. М. Сергеев. – Москва, 1959. – 335 с.

А. Н. Юрин, С. П. Кострома

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЯЕМОГО КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА

Аннотация. В данной статье приведен анализ существующих систем управляемого капельного полива.

Ключевые слова: капельный полив, орошение, исследования, параметры.

A. N. Yuryn, S. P. Kostroma

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

ANALYSIS OF EXISTING CONTROLLED DRIP IRRIGATION SYSTEMS

Abstract. This article provides an analysis of existing managed systems drip irrigation.

Keywords: drip irrigation, irrigation, research, parameters.

Введение

Получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур с хорошими потребительскими качествами в открытом грунте невозможно без достаточного количества влаги в почве в течение вегетационного периода. По данным исследований, проведенных в Беларуси, содержание влаги в корнеобитаемом слое растений за последние 10 лет составило лишь 40–60 % от потребности. Недостаток воды в летний период в 2–3 раза сокращает продуктивный период сельскохозяйственных культур, что ведет к снижению урожайности. Поэтому необходимо проводить орошение сельскохозяйственных культур.

Многочисленные научные исследования и производственные данные хозяйств убедительно говорят о том, что орошение плодовых культур в засушливые годы высокоэффективно. По данным РУП «Институт пловодства» в условиях Беларуси при проведении орошения можно устойчиво получать среднемноголетние прибавки сбора плодов до 100 %. В засушливые годы биологический эффект от искусственного полива значительно выше. Это позволяет окупить оросительную технику за один-два года. Данный расчет ориентирован на среднемноголетние и среднереспубликанские условия. Еще больший эффект от искусственного полива может быть получен на юге Беларуси, где в острозасушливый год (повторяемостью один раз в 10 лет) примерно вдвое возрастают дефициты почвенной влаги.

При орошении дождеванием до 50 % воды растениями не используется, что ведет к повышенным затратам воды и электроэнергии. В связи с этим требуется разработка и внедрение таких оросительных систем, которые обеспечат экономическую эффективность для экосистем, использующих воду. Очевидно, что эффективным преодолением этой проблемы будет увеличение урожайности плодовых деревьев, требующих меньшего количества водных ресурсов, почвы и энергии.

Поэтому на современном этапе необходимо ориентироваться на разработку оросительных систем нового поколения. Основная тенденция – создание управляемого автоматизированного производительного водо- и энергосберегающего оборудования для орошения при минимизации материально-технических, трудовых ресурсов и максимизации критериев безопасности, надежности, экологичности.

Основная часть

Применение современных систем капельного полива должно обеспечивать:

- необходимые оптимальные условия для возделывания плодовых культур и получение высоких урожаев с хорошим качеством плодов;
- сохранение структуры почвы;
- проведение поливов на единицу площади с минимальными затратами воды;
- отсутствие возникновения причин водной эрозии;
- механизацию и автоматизацию процесса полива;
- регулирование в определенном диапазоне водного, питательного и воздушного режимов почвы и растений;
- повышение степени надежности и коэффициента полезного действия оросительных систем;
- уменьшение энергетических затрат.

В настоящее время исследования по применению капельного орошения в плодоводстве проводятся очень активно. Еще в XIX веке для орошения садов в Калифорнии применялось капельное орошение. При этом для подвода воды к саду закладывался магистральный трубопровод диаметром 0,15 м. К данной трубе присоединялись боковые отводы диаметром 0,07 м. Эти отводы располагались под почвой вдоль деревьев. Для распределения влаги около каждого дерева для увлажнения почвы монтировался клапан. В результате полученных данных было уточнено, что в основном увлажнение происходит в слое почвы глубиной 0,1–1,0 м. Смыкание контуров увлажнения было достигнуто при поливных нормах 700–900 м³/га. При поддержании влажности 80 % НВ в средне-сухие и сухие годы проводилось два полива с поливной нормой 800–900 м³/га и три полива нормой 1400–1800 м³/га соответственно. Для создания необходимого количества влаги в почве во все годы исследований был запланирован влагозарядковый полив (осенний) нормой 700–800 м³/га. В результате этого при экономном расходовании воды за 4 года исследований урожайность яблоневого сада в среднем составила 12 т/га и все деревья имели хороший вегетативный прирост [1].

В конце XX века в Израиле полевые исследования с применением капельного орошения при использовании соленой воды для полива в грушевом саду показали возможность получения стабильных урожаев. Было установлено, что при капельном орошении распределение влажности лучше приспособлено к характеру распределения корней в почве по сравнению с традиционными способами полива.

Широкомасштабное распространение систем капельного орошения плодовых и овощных культур началось в 70-х годах XX в. как в развитых, так и в развивающихся странах. В настоящее время в мире капельный способ орошения используется на площади более 2 млн га сельскохозяйственных земель преимущественно для возделывания садов, виноградников, ягодников, овощных и декоративных культур.

Опыты В. И. Железко, А. В. Моисеенко, проведенные в яблоневом саду на карликовом подвое с системой капельного орошения в ОАО «Александровское» в Шкловском районе Могилевской области, показали, что одним из основных путей совершенствования водного режима при капельном орошении является снижение потерь влаги на транспирацию растениями и физическое испарение. Поддержание уровня влажности от 80 до 85 % НВ вызывает транспирацию, приблизительно равную испаряемости. При этом коэффициент водопотребления для получения урожая яблок в 220 ц/га составляет 18,4 м³/га. Не рекомендуется допускать снижение влажности почвы в яблоневом саду до 70 % НВ более чем на трое суток [2]. Для уменьшения непродуктивных затрат влаги следует скашивать травянистую растительность в междурядьях.

В общем виде конструкция системы капельного полива представляет собой сложную структуру и состоит из следующих основных элементов:

- 1) источник орошения;
- 2) насосная станция;
- 3) фильтрационная станция;
- 4) узел внесения удобрений и химреагентов с поливной водой;
- 5) сеть магистральных, распределительных, участковых трубопроводов;

- 6) поливные трубопроводы;
- 7) соединительные детали;
- 8) запорно-регулирующая и предупредительная арматура;
- 9) средство учета воды;
- 10) узел автоматического управления системой.

При этом в качестве источника орошения можно применять воду из каналов, рек, озер, прудов, буровых скважин, напорных водопроводных сетей. В зависимости от типа источника орошения качество воды будет разным. Поэтому применяются различные фильтры, предназначенные для удаления из воды механических и биологических зависших примесей разной дисперсности, и приведение ее качества к параметрам, которые определены капельницами. В зависимости от качества воды в водоисточнике фильтры могут состоять из гравийно-песчаных, сетчатых, дисковых фильтров и гидроциклонов.

Учитывая вышесказанное, можно анализировать каждый элемент системы капельного орошения отдельно:

– насосная станция предназначена для забора расчетного количества воды из источника орошения и подачи ее под необходимым давлением в оросительную сеть;

– узел внесения удобрений и химреагентов предназначен для дозированного введения в поливную воду водорастворимых или редких комплексных удобрений, средств защиты растений и веществ для профилактического промывания поливной сети. Он может состоять из инжектора, удобрительной головки или дозатора, а также емкости для приготовления раствора удобрений;

– к запорно-регулирующей и предупредительной арматурам относятся задвижки, гидро- или электроклапаны, обратные клапаны, регуляторы давления, вантузы, заглушки;

– узел автоматического управления системой с помощью контролера руководит процессами водораспределения на системе, работой насосно-силового оборудования, процессом промывания фильтров и внесением удобрений.

На рис. 1 изображена система капельного полива.

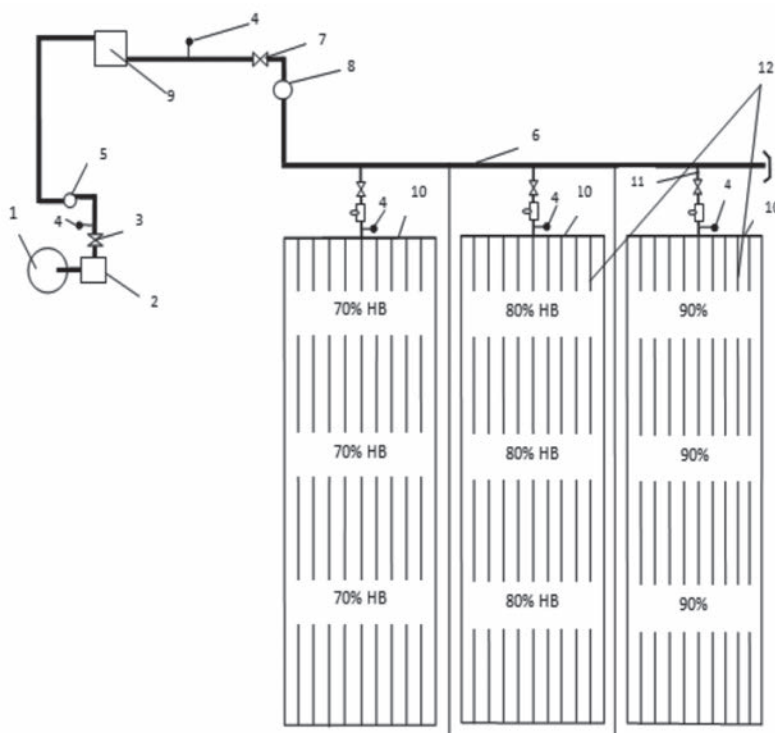


Рис. 1. Система капельного полива: 1 – водоисточник; 2 – насосная станция; 3 – запорная арматура; 4 – манометр; 5 – гидроциклон; 6 – распределительный трубопровод; 7 – вентиль; 8 – сетчатый фильтр; 9 – песчано-гравийный фильтр; 10 – оросительный трубопровод; 11 – переходник; 12 – капельные линии с водовыпусками

Для устройства магистральных, распределительных и участковых трубопроводов используют полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы разного диаметра с разным рабочим давлением.

Пройдя очистку, вода системой магистральных, распределительных и участковых трубопроводов подается на поливной участок. На поливном участке вода распределяется поливными трубопроводами и через капельные линии подается в корневую систему растений.

Надежность работы системы капельного орошения определяется надежностью ее основных элементов, к которым относятся капельницы и узел подготовки воды, т. е. очищение воды.

С целью повышения качества полива сельскохозяйственных культур за счет равномерной раздачи поливных норм по длине трубопровода, обеспечиваемой путем компенсации потерь напора в полости трубопровода, была разработана оросительная система (рис. 2) [3].

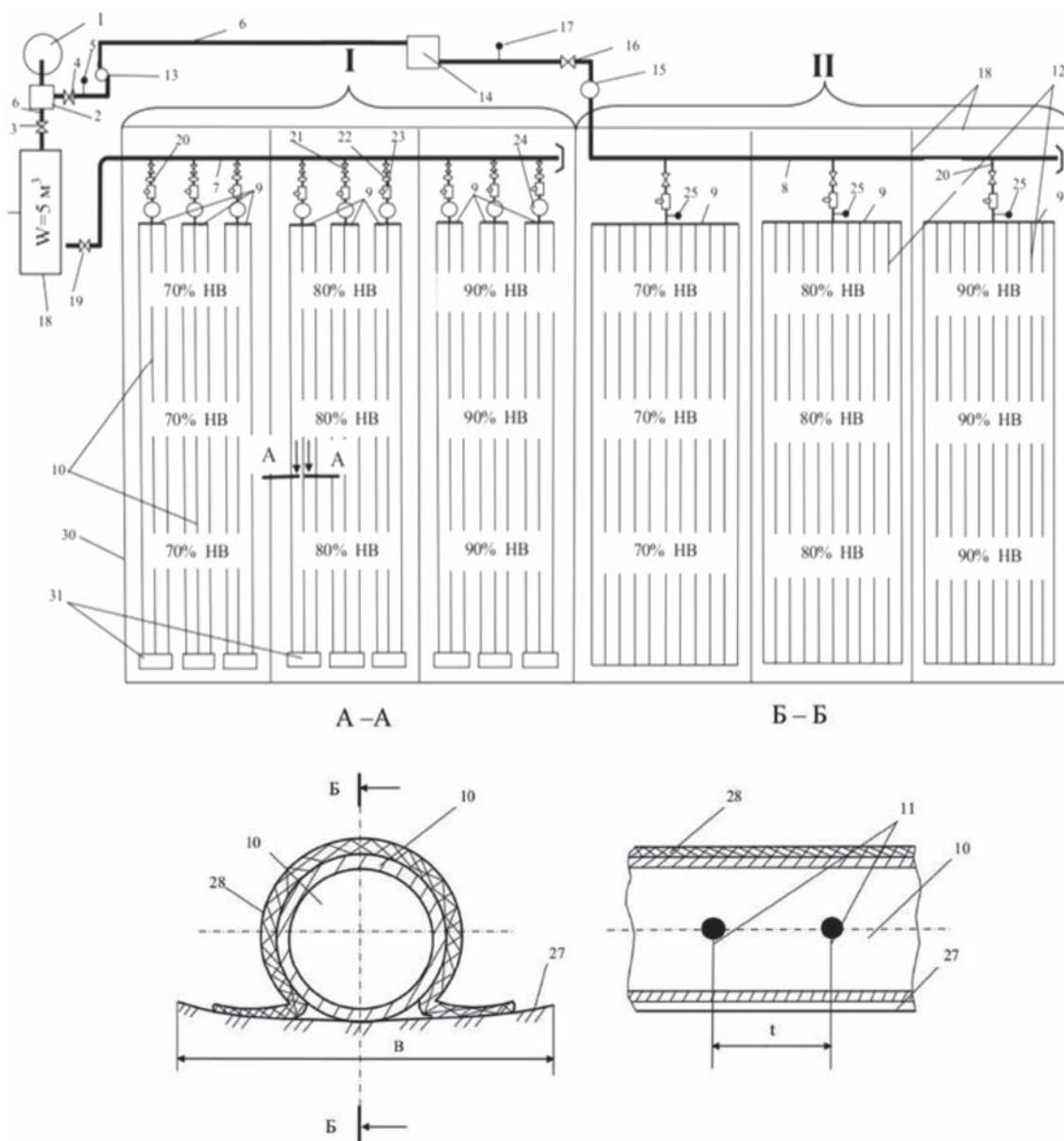


Рис. 2. Система капельного полива: 1 – водоисточник; 2 – насосная станция; 3, 4 – запорная арматура; 5, 17, 25 – манометр; 6 – магистральный трубопровод; 7, 8 – распределительные трубопроводы; 9 – оросительные трубопроводы; 10 – увлажнители; 11 – полиэтиленовые трубы с перфорациями; 12 – гибкие поливные трубопроводы; 13 – гидроциклон; 14 – песчано-гравийный фильтр; 15 – сетчатый фильтр; 16, 19 – вентиль; 18 – напорный резервуар; 20 – переходник; 21 – запорная арматура; 22 – фильтр тонкой очистки; 23 – счетчик расхода очищенной поливной воды; 24 – напорно-регулирующее устройство; 26 – гидропневмоаккумулятор; 27 – экран; 28 – выравниватель потока воды; 30 – горизонтали рельефа; 31 – колодцы

Оросительная система включает водоисточник 1, насосную станцию 2 с запорной арматурой 3 и 4 и манометром 5, магистральный трубопровод 6, последовательно установленные распределительные трубопроводы 7 и 8 внутрипочвенного орошения (I) и капельного орошения (II), параллельно установленные по длине распределительных трубопроводов оросительные трубопроводы 9.

Перпендикулярно оросительным трубопроводам внутрипочвенно и поверхностно с заданным шагом размещены увлажнители 10 в виде полиэтиленовых труб с перфорациями 11 внутрипочвенного орошения, и гибкие поливные трубопроводы 12 с капельными водовыпусками капельного орошения. В магистральном трубопроводе капельного орошения смонтированы гидроциклон 13, песчано-гравийный фильтр 14, сетчатый фильтр 15, вентиль 16 и манометр 17.

Напорный резервуар 18 посредством запорной арматуры соединен с магистральным трубопроводом, а с распределительным трубопроводом внутрипочвенного орошения – посредством вентиля 19.

В каждом переходнике 20 между распределительным трубопроводом и оросительным трубопроводом последовательно смонтированы запорная арматура 21, фильтр тонкой очистки 22, счетчик расхода очищенной поливной воды 23 и напорно-регулирующее устройство 24, а также манометр 25. Напорный резервуар снабжен гидропневмоаккумулятором 26, который поддерживает рабочее давление воды в резервуаре 18.

Гидропневмоаккумулятор 26 электрически связан с насосной станцией и поддерживает требуемый объем воды в напорном резервуаре и рабочее давление в распределительном трубопроводе.

Под каждым увлажнителем размещен водонепроницаемый экран 27. Экран 27 шириной B выполнен из полиэтиленовой пленки толщиной 1,2–1,6 мм и шириной до 400 мм. Экран уложен на дне канавы на глубине до 0,6 м от поверхности. Над трубой увлажнителя установлен выравниватель потока воды 28 в виде полиэтиленовой пленки той же толщины, но армированной газонаполненным пластиком. Толщина слоя пластика – 30–50 мм. Внутренний диаметр трубы увлажнителя 10 равен 35 мм, а внешний диаметр – 40 мм. Шаг t между перфорациями равен 150 мм. Увлажнители и гибкие поливные трубопроводы внутрипочвенного и капельного орошения размещены вдоль горизонталей рельефа 30 прямолинейно вдоль полевой дороги при ведении механизированных технологических операций. Увлажнители на участке внутрипочвенного орошения заканчиваются колодцами для осуществления промывки. Концы гибких поливных трубопроводов закрыты водовыпусками.

Оросительная система функционирует следующим образом. При открытом вентиле 3 вода поступает в напорный резервуар 18, при этом вентиль 19 на распределительном трубопроводе 7 закрыт.

В воздушном колпаке создают давление воздуха, позволяющее выдерживать рабочее давление воды в напорном резервуаре 18 в пределах 0,02 МПа при полностью заполненном и при опорожненном резервуаре 18 до 90 %. Гидропневмоаккумулятор электрически соединен с насосной станцией 2, и при опорожнении резервуара 18 до 90 % синхронно открывается вентиль 3 и включается в работу насосная станция 2. При открытии вентиля 19 вода заполняет полость распределительного трубопровода 7, при открытии запорной арматуры 21 на переходниках 20 вода поступает в увлажнители 10. В колодцах 31 открывают водовыпуски на концах увлажнителей 10. Сор, взвеси, шлам из увлажнителей 10, трубопроводов 7, и переходников 20, запорной арматуры 21, фильтра 22, счетчика 23 и устройства 24 сливается в колодцы 31. Далее водовыпуски на концах увлажнителей 10 закрывают.

Для включения полива включают в работу увлажнители 10. При поступлении оросительной воды в полость каждого увлажнителя 10 она через перфорации 11 поступает в слой газонаполненного пластика выравнивателя потока воды 28. Вода заполняет поры газонаполненного пластика выравнивателя и равномерно между перфорациями за счет гравитационной силы опускается на водонепроницаемый экран 27. Прослойкой газонаполненного пластика вода с экрана 27 выводится на полосу шириной B . За счет капилляров в пахотном слое вода пронизывает корнеобитаемый горизонт снизу вверх, доставляя воду к корням плодовых деревьям. Для полива в период вегетации плодовых культур на участке I внутрипочвенного орошения достаточно отслеживать показания счетчика 23, расхода очищенной поливной воды и при необходимости запорной арматурой 21 вно-

сить соответствующие коррективы. В то же время на участке II проводят раскладку гибких поливных трубопроводов 12 от оросительных трубопроводов 9. Концы трубопроводов 12 фиксируют цанговыми захватами на ниппелях оросительного трубопровода.

Оросительная вода из насосной станции 2 через запорную арматуру поступает в гидроциклон 13, где удаляются из воды взвеси и сор. После первой ступени очистки вода направляется в магистральный трубопровод 6 и поступает в полость песчано-гравийного фильтра 14. Из воды удаляются сор с частицами до 0,5 мм. При открытом вентиле 16 вода поступает в третью ступень очистки – в сетчатый фильтр 15. После очистки оросительной воды в ней остаются взвеси размером менее 200 мкм. Из распределительного трубопровода 8 поток воды по переходникам 20 направляется в оросительные трубопроводы 9 и соответственно в гибкие поливные трубопроводы 12. Равномерно поступая из водовыпусков трубопроводов 12, оросительная вода увлажняет верхний слой почвы. Увлажнители 10 и гибкие поливные трубопроводы 12, работая в разное время суток, исключают пиковые нагрузки на насосную станцию 2.

Также существует системы капельного полива с модулем электрохимической обработки оросительной воды [3]. В плане конструкции предлагаемая техническая система отличается от классических систем капельного орошения наличием установки для электрохимической обработки воды. С точки зрения компоновки системы установка для электрохимической обработки воды входит в состав комплекса водоподготовки. Собственно, сам комплекс водоподготовки в этом случае выполняется по многоступенчатой схеме, каждая из ступеней выполняет специализированную функцию водоподготовки.

По конструктивному исполнению сегодня рассматриваются варианты с территориально объединенной и территориально разнесенной схемой водоподготовки (рис. 3). Установка для электрохимической обработки воды территориально объединена с классическим комплексом водоподготовки, включающим фильтры грубой и тонкой очистки воды, а также установки для подготовки и введения в систему растворов различных агрохимикатов. Установка для электрохимической обработки воды в этом случае размещается между конструкциями системы водоочистки и конструкциями агрохимической водоподготовки. При этом электрохимической обработке подвергается природная оросительная вода, а растворы минеральных удобрений и других агрохимикатов готовятся уже на основе электрохимически обработанной воды.

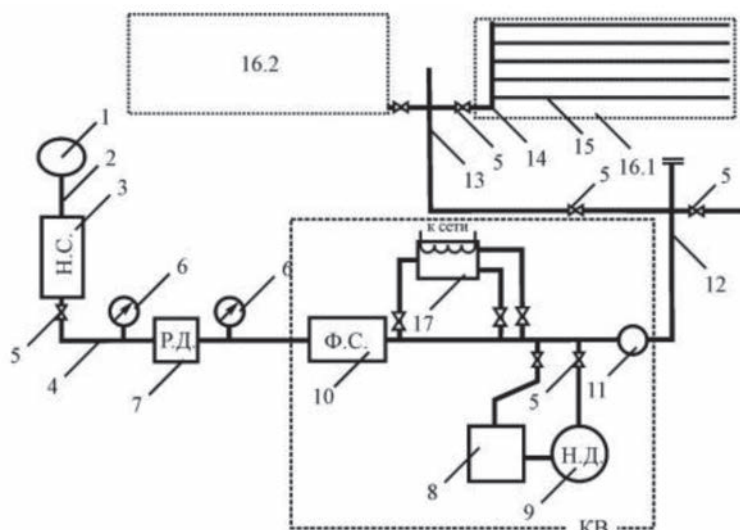


Рис. 3. Система капельного орошения с модулем электрохимической обработки оросительной воды:
 1 – водоисточник; 2 – всасывающая линия; 3 – насосная станция; 4 – напорная линия; 5 – запорный вентиль;
 6 – манометр; 7 – регулятор давления; 8 – емкость для приготовления питательного раствора; 9 – насос-дозатор;
 10 – фильтростанция; 11 – счетчик-водомер; 12 – магистральный трубопровод; 13 – распределитель 1-го порядка;
 14 – распределитель последнего порядка; 15 – поливной трубопровод с капельницами; 16.1, 16.2 – поливные модули системы капельного орошения; 17 – модуль электрохимической обработки воды; 18 – дополнительный модуль приготовления питательного раствора

При размещении установки для электрохимической обработки оросительной воды после узла введения агрохимикатов существенно сужается спектр возможного применения химических соединений. Это обусловлено опасностью образования высокореагентных соединений в результате электролиза подготовленного раствора.

В целом применение капельного орошения благоприятно влияет на общее развитие плодовых деревьев, оказывает снижение периодичности плодоношения, способствует повышению зимостойкости и приживаемости их саженцев, что позволяет получать стабильные урожаи с хорошим качеством плодов.

При строительстве систем капельного орошения следует учитывать большую материалоемкость и значительные капиталовложения. В связи с этим для снижения стоимости систем капельного орошения необходимо продолжать дальнейшие исследования, направленные на увеличение их экономической эффективности и совершенствование методов расчета режима и техники полива.

Заключение

Проведен анализ существующих систем управляемого капельного полива. По результатам исследований сделаны следующие выводы.

1. В общем виде конструкция системы управляемого капельного полива представляет собой сложную структуру и состоит из следующих основных элементов:

- источник орошения;
- насосная станция;
- фильтрационная станция;
- узел внесения удобрений и химреагентов с поливной водой;
- сеть магистральных, распределительных, участковых трубопроводов;
- поливные трубопроводы;
- соединительные детали;
- запорно-регулирующая и предупредительная арматура;
- средство учета воды;
- узел автоматического управления системой.

2. В качестве источника орошения можно применять воду из каналов, рек, озер, прудов, буровых скважин, напорных водопроводных сетей. В зависимости от источника орошения качество воды будет разным. Поэтому применяются различные фильтры, предназначенные для удаления из воды механических и биологических зависших примесей разной дисперсности и доведения ее качества до параметров, которые определены капельницами. В зависимости от качества воды в водоисточнике фильтры могут состоять из гравийно-песчаных, сетчатых, дисковых фильтров и гидроциклонов.

Список использованных источников

1. Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье / М. С. Григоров [и др.]. – Волгоград: ВГСХА, 2010. – 244 с.
2. Желязко, В. И. Влажность почвы в яблоневом саду при капельном орошении / В. И. Желязко, А. В. Моисеенко // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2010. – Вып. 4. – С. 431–435.
- 3 Овчинников, А. С. Совершенствование технических средств капельного и внутривпочвенного орошения/ А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, М. П. Мещеряков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 2 (26). – С. 1–6.

Н. Д. Лепёшкин, В. В. Мижурин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: mehposev@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ ДОЛОТА НА КРИТИЧЕСКУЮ ГЛУБИНУ РЫХЛЕНИЯ ЧИЗЕЛЬНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния ширины долота на критическую глубину рыхления дерново-подзолистых среднесуглинистых почв.

Ключевые слова: рыхлительный рабочий орган, долото, угол расширения зоны деформации почвы.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: mehposev@mail.ru*

STUDY OF THE INFLUENCE OF BIT WIDTH ON THE CRITICAL DEPTH OF LOOSENING BY CHISEL WORKING BODY

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the influence of bit width on the critical depth of loosening of sod-podzolic medium loamy soils.

Keywords: loosening working body, chisel, angle of expansion of the soil deformation zone.

Введение

При проведении теоретических исследований по обоснованию параметров рыхлительного рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях установлено, что при глубоком рыхлении почвы чизельным рабочим органом боковой сдвиг почвы от долота чизеля распространяется под определенным углом. При рыхлении на глубину больше критической сдвиг почвы прекращается, и нижняя часть взрыхленной площади имеет вид щели с вертикальными стенками [1, 2]. Кроме этого, установлено, что критическая глубина зависит от ширины долота.

Поскольку данное явление не оказывает положительного влияния на создание благоприятных условий для роста и развития культурных растений, но требует увеличения энергетических затрат, то обработка почвы будет эффективна только до достижения критической глубины.

Цель исследования – экспериментально установить зависимость критической глубины обработки почвы рыхлительным рабочим органом от ширины установленного на нем долота.

Основная часть

Исследования влияния ширины долота на критическую глубину рыхления проводились на опытном поле испытательного полигона РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (аг. Ждановичи, Минский район). Условия проведения исследований: фон – стерня после уборки яровой пшеницы; почва дерново-подзолистая, средний суглинок; влажность в слое до 0,4 м – 13,9–15,8 %; твердость – до 3,72 МПа; высота растительных остатков – 0,17 м. Условия исследований соответствовали требованиям к условиям определения показателей назначения при испытаниях почвообрабатывающих машин [3].

Для определения и изучения зависимости критической глубины от ширины долота нами были изготовлены сменные долотья шириной 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08 м, которые устанавливались на стойку рыхлительного рабочего органа. Сменные долотья представлены на рис. 1.



Рис. 1. Сменные долотья для рыхлительного рабочего органа шириной 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08 м (слева направо)

Критическую глубину рыхления $h_{кр}$ можно представить как разность между общей глубиной обработки H и глубиной обработки почвы без бокового сдвига (деформации) почвы (рис. 2).

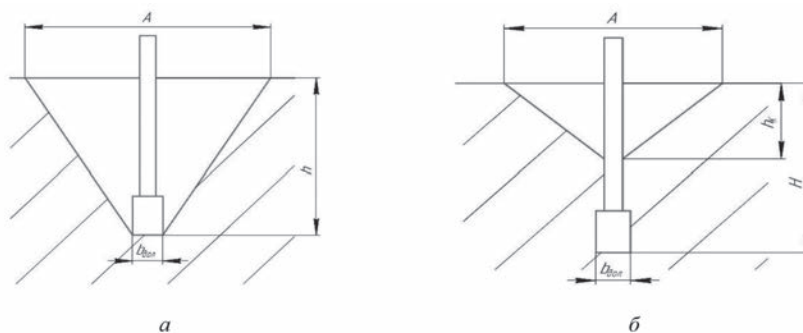


Рис. 2. Размеры прорези при различной глубине рыхления: *a* – размеры прорези до критической глубины рыхления; *б* – размеры прорези с критической глубиной рыхления

Для определения критической глубины выполняли почвенный разрез на глубину рыхления (рис. 3).

Поперечную стенку ямы, где проводились замеры, выполняли вертикально, а все остальные с уклоном для исключения осыпания почвы. После замера фактической глубины обработки H и глубины прорези, где отсутствует деформация, по разности этих замеров определяли критическую глубину $h_{кр}$.

Поскольку данный метод определения критической глубины очень трудоемкий, то с учетом того, что до достижения критической глубины линейные размеры бокового расширения прорези возрастают пропорционально глубине обработки, а при достижении критической глубины величина бокового расширения прорези становится постоянной, предварительно критическую глубину определяли путем замера величины бокового расширения прорези A (рис. 2).



Рис. 3. Почвенный разрез с критической глубиной рыхления

На рис. 4 показан процесс замера величины бокового расширения прорези.



Рис. 4. Измерение величины бокового расширения прорези

Результаты замера величины бокового расширения прорези A и критической глубины $h_{кр}$ в зависимости от глубины обработки H при различной ширине долота b представлены в таблице 1.

Таблица 1. Боковое расширение прорези при различной ширине долота в зависимости от глубины обработки почвы

Глубина обр., м H	Ширина долота b , м											
	$b_1 = 0,03$ м		$b_2 = 0,04$ м		$b_3 = 0,05$ м		$b_4 = 0,06$ м		$b_5 = 0,07$ м		$b_6 = 0,08$ м	
	$h_{кр}$, м	A_1 , м	$h_{кр}$, м	A_2 , м	$h_{кр}$, м	A_3 , м	$h_{кр}$, м	A_4 , м	$h_{кр}$, м	A_5 , м	$h_{кр}$, м	A_6 , м
0,10		0,234		0,240		0,256		0,260		0,272		0,284
0,15	0,13	0,237		0,340		0,356		0,360		0,372		0,384
0,20	0,13	0,239		0,440		0,456		0,460		0,472		0,484
0,25	0,13	0,240	0,22	0,440		0,556		0,560		0,576		0,580
0,30	0,13	0,241	0,26	0,640	0,30	0,654		0,660		0,676		0,680
0,35	0,13	0,242	0,28	0,440	0,30	0,652	0,35	0,760		0,772		0,780
0,40	0,13	0,242	0,27	0,439	0,30	0,650	0,36	0,762	0,38	0,772	0,38	0,775

Анализ таблицы 1 показывает, что при работе рыхлительного рабочего органа до глубины $H < h_{кр}$ линейные размеры боковых расширений прорези увеличиваются пропорционально глубине обработки, а при дальнейшем увеличении глубины $H > h_{кр}$ величина боковых расширений прорези не увеличивается, а остается приблизительно постоянной.

Из таблицы 1 и построенных по её данным графиков (рис. 5) наглядно видно, что значение критической глубины рыхления $h_{кр}$ зависит от ширины долота. Для долотьев шириной 0,03–0,05 м $h_{кр}$ составляет 0,13–0,3 м, а для долотьев шириной 0,06–0,08 м – 0,35–0,38 м.

Кроме того, видно, что при рыхлении до критической глубины при увеличении ширины долота величина бокового расширения прорези увеличивается пропорционально изменению ширины долота. Это обстоятельство позволяет сделать вывод об отсутствии зависимости угла распространения зоны деформации почвы от ширины долота.

Анализ трендовых линий (рис. 5) говорит о высокой вероятности полученных результатов как до критической глубины рыхления, так и глубже.

Перегиб линий на определенных глубинах и дальнейшая их горизонтальность показывает стабильность процесса прекращения бокового расширения деформации почвы.

Заключение

В результате проведенных исследований экспериментально установлено, что на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах критическая глубина рыхления зависит от ширины долота.

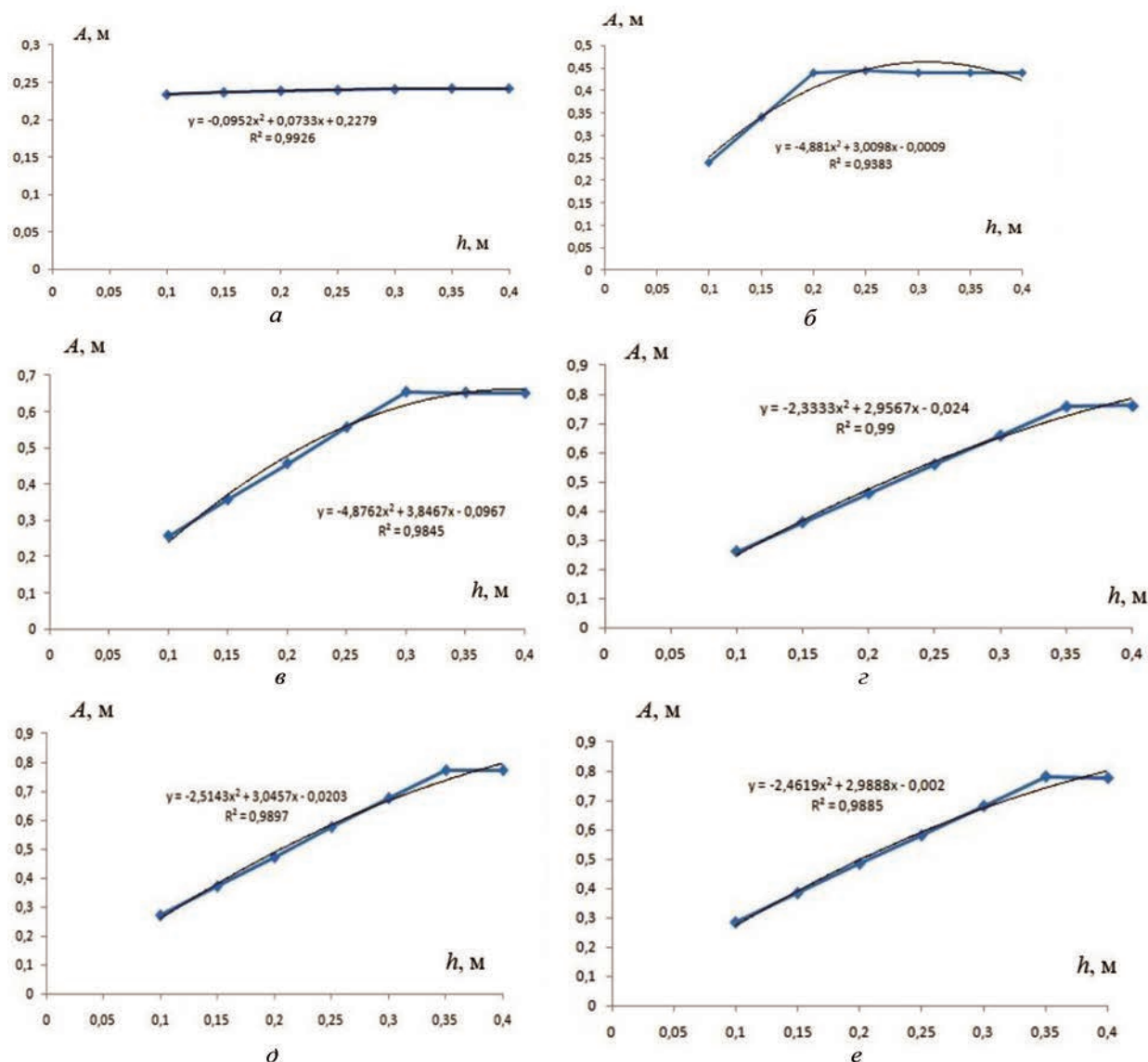


Рис. 5. Зависимость величины бокового расширения прорези от ширины долота: а – ширина долота $b = 0,03$ м; б – ширина долота $b = 0,04$ м; в – ширина долота $b = 0,05$ м; г – ширина долота $b = 0,06$ м; д – ширина долота $b = 0,07$ м; е – ширина долота $b = 0,08$ м

Для долотьев шириной 0,03–0,05 м критическая глубина составляет 0,13–0,3 м, а для долотьев шириной 0,06–0,08 м – 0,35–0,38 м. При рыхлении почвы на глубину ниже критической величина бокового расширения прорези при использовании долотьев различной ширины увеличивается на величину, равную ширине долота, что говорит об отсутствии зависимости угла расширения зоны деформации от ширины долота.

Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. Теоретическое обоснование параметров рыхлительных рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин // Механизация и электрофикация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2023. – Вып. 56. – С. 114–121.
2. Исследование влияния различных факторов на показатели полноты рыхления чизельными рабочими органами / Н. Д. Лепешкин [и др.] // Вестник Белорусской сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 157–162.
3. Сельскохозяйственная техника. Машины почвообрабатывающие. Правила установления показателей назначения : ТКП 079-2007 (02150) СТО АИСТ 1046-2003. – Введ. 10.10.2007. – Минск: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 2007. – 27 с.

В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labts@mail.ru; rakevich.1991@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННОГО РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ МОЛОКООХЛАДИТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний макетного образца распылительного устройства системы промывки молокоохладителей.

Ключевые слова: распылитель, молокоохладитель, очистка, промывка, макет, эффективность, способ, режим, орошение, плотность, равномерность, ударная сила.

V. K. Klybik, Yu. A. Rakevich

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labts@mail.ru; rakevich.1991@mail.ru

STUDY OF A ROTARY SPRAY DEVICE FOR A MILK COOLER WASHING SYSTEM

Abstract. The article presents the results of testing a prototype of a spray device for a milk cooler washing system.

Keywords: sprayer, milk cooler, cleaning, washing, layout, efficiency, method, mode, irrigation, density, uniformity, impact force.

Введение

По прогнозам Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь экспортный потенциал молочной промышленности может достичь 3 миллиардов долларов уже к 2025 году. Для этих целей необходимо поднять уровень валового производства молока до 9,2 млн тонн. Для достижения данного показателя решается ряд задач по совершенствованию кормовой базы, технического оснащения производства и переработки молока [1].

Наряду с увеличением производства молока необходимо предусматривать повышение его качества. Качество получаемого молока, являющегося одним из объектов окружающей среды, и повышение его чистоты, в том числе снижение бактериальной загрязненности, не может не сказаться на состоянии здоровья потребителя. Кроме того, в условиях рыночной экономики показатель качества является одним из основных при сбыте молока. Это обусловлено, прежде всего, более высокими закупочными ценами на молоко сорта «экстра» [2].

При производстве молока решающим фактором, который влияет на его качественные показатели, является санитарное состояние доильного оборудования. В процессе эксплуатации доильных установок на внутренних поверхностях их трубопроводов, стенках молокоохладителя образуются разнообразные по составу, свойствам, толщине, прочности сцепления отложения, которые приводят к загрязнению молока, в результате чего происходит снижение его сортности и цены за реализацию. Исследованиями установлено, что до 80 % первичной микрофлоры молока формируется за счет микрофлоры доильных установок. Поэтому разработка технологических подходов, которые обеспечат эффективную очистку поверхностей от загрязнения, является первоочередной задачей, решение которой обеспечит получение высокосортного молока [3, 4].

Главная задача системы промывки – должным образом очистить доильное оборудование эффективным сочетанием основных моющих факторов. Время циркуляционного промывания определя-

ется в зависимости от типа моющего средства, дозирования, степени загрязненности и эффективности механического влияния. Как правило, это время составляет около 10 мин., если используется комбинированное (моющее и дезинфицирующее) средство, или 7–8 мин. для циркуляционного промывания моющим средством и 5 мин для дезинфекции [5, 6].

Основная часть

Основным показателем, определяющим качество работы струйных распылителей, является плотность орошения – удельная величина расхода воды на 1 м² площади очищаемой поверхности в единицу времени (л/м²с). Равномерность распыла характеризуется стандартным отклонением значений плотности орошения [7].

Для определения плотности орошения используется разработанный макет струйного распылителя автоматизированной однофазной промывки молокоохладителей (рис. 1), который состоит из емкости молокоохладителя 1, кассеты с набором емкостей 2, распыливающего устройства 3, насосной станции 4, регулирующего устройства 5, трубопроводно-запорной арматуры 6, мерной емкости 7.

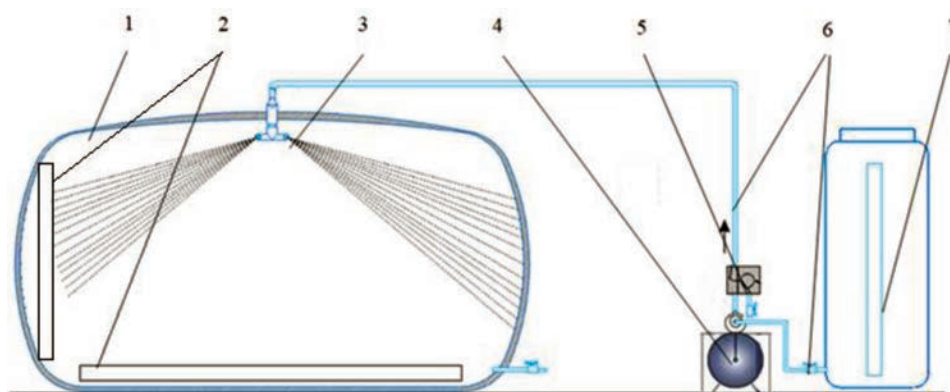


Рис. 1. Макетный образец распылительного устройства системы промывки молокоохладителей:
1 – молокоохладитель; 2 – кассета; 3 – распыливающее устройство; 4 – насосная станция; 5 – регулирующее устройство; 6 – трубопроводно-запорная арматура; 7 – мерная емкость

Макетный образец работает следующим образом. Вода, предварительно набранная в мерную емкость 7, с помощью насоса 4 по трубопроводно-запорной арматуре 6 подается в распыливающее устройство 3. По достижении в системе заданного давления (в данном случае – 200 кПа) распылитель распыляет воду, которая собирается в мерные емкости. Давление воды в системе контролируется манометром.

Насосная станция с регулирующим устройством обеспечивает подачу моющей жидкости к форсунке с производительностью от 70 л/мин при давлении 4 бара до 160 л/мин при давлении 1 бар. Мерная емкость объемом 200 литров позволяет определить расход воды в единицу времени и обеспечивает достаточный запас воды для проведения исследований.

При проведении испытаний за базовый вариант принят струйный распылитель производителя «Гомельагрокомплект» (рис. 2).

Исследование распределения плотности орошения осуществляется с помощью набора емкостей. Ячейки для сбора воды размером 5×5 см устанавливаются в сотовом порядке в квадратную кассету, располагающуюся на дне, сбоку и сверху молокоохладителя. Внутри кассет установлен поролон для впитывания воды. Число емкостей в кассете составляет 64 шт. Высота кассеты – 90 мм. Орошаемая площадь составляет 0,17 м². Для проведения испытаний за новый вариант принят макетный струйный распылитель (рис. 3).

Исследование оценки показателей качества работы струйного распылителя вращающегося типа для промывки молокоохладителей производится в следующем порядке.

1. Сборка струйного распылителя (сопло и вкладыш при помощи накидной гайки фиксируются на валу макетного образца).

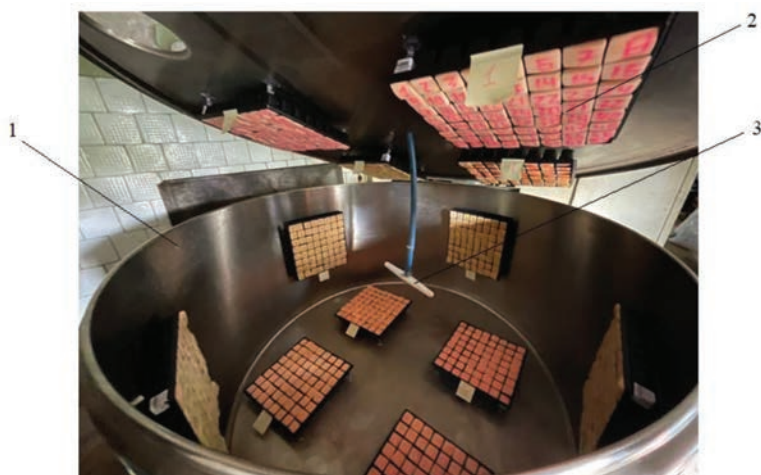


Рис. 2. Оборудование для проведения испытания: 1 – молокоохладитель; 2 – кассета для сбора воды; 3 – распылитель «Гомельагрокомплект»

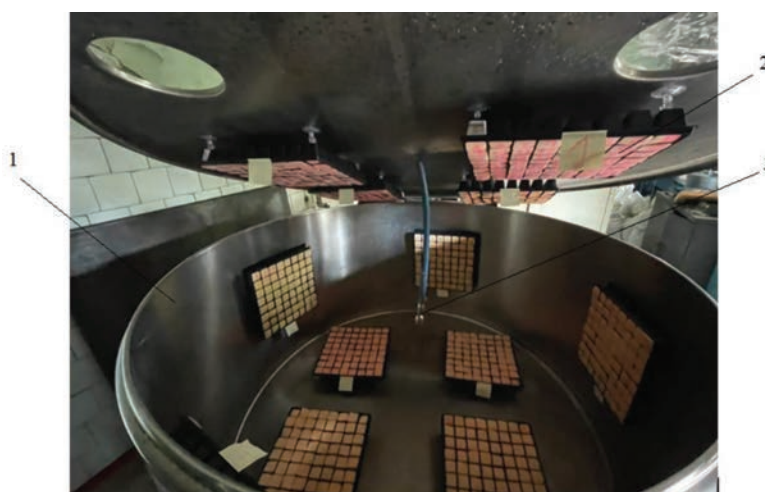


Рис. 3. Оборудование для проведения испытания:
1 – молокоохладитель; 2 – кассета для сбора воды; 3 – макетный распылитель

2. Подготовка системы. Для этого необходимо наполнить мерную емкость водой, затем включить питание насоса. При помощи регулятора давления и манометра установить требуемое давление воды в системе (200 кПа или 2 атм.).

3. По достижении необходимого давления открыть вентиль перед форсункой на несколько секунд. Это производится с целью удаления воздуха из системы, который может существенно исказить результаты последующих экспериментов.

4. После закрытия вентиля для сохранения в системе постоянного уровня давления воды питание насоса отключать не требуется.

5. Кассеты с ячейками устанавливаются снизу, сбоку и сверху молокоохладителя относительно струйного распыливающего устройства на заданном расстоянии друг от друга.

6. По сигналу секундомера открывается вентиль перед распылительным устройством, и происходит распыление воды. Распыленная вода собирается в кассету с ячейками до тех пор, пока не произойдет наполнение хотя бы одной мерной емкости. После этого вентиль закрывается, и фиксируется время, в течение которого происходило распыливание.

7. Производится поочередное взвешивание мерных емкостей с водой.

8. После окончания экспериментов проводится статистическая обработка данных с построением графиков для определения процентного соотношения распределения плотности орошения.

Определим плотность орошения следующим образом [7]:

$$Q_i = \frac{M_i}{S_i \tau_3}, \quad (1)$$

где Q_i – плотность орошения в i -й емкости, л/м²с; M_i – объем воды в i -й емкости, л; S_i – площадь поперечного сечения емкости, м²; τ_3 – продолжительность эксперимента, с.

Для первой кассеты с первой ячейкой (базовый вариант):

$$Q_i = \frac{0,01313}{0,0025 \cdot 130} = 0,0404 \text{ л/ м}^2 \text{ с.}$$

Среднеквадратичное отклонение плотности орошения в данной точке распыла рассчитывается относительно ближайших соседних точек по следующей формуле [7]:

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}, \quad (2)$$

где S_Q – стандартное отклонение плотности орошения, л/м²с; n – количество ячеек для измерения; \bar{Q} – среднее значение плотности орошения, л/м²с; Q_i – значение плотности орошения в i -й емкости, л/м²с.

Для первой кассеты, установленной на дне молокоохладителя с первой ячейкой (базовый вариант):

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{63-1} \sum_{i=1}^n (2,6181 - 0,0404)^2} = 0,000064.$$

Для первой кассеты, установленной на дне молокоохладителя с первой ячейкой (новый вариант):

$$Q_i = \frac{0,01390}{0,0025 \cdot 130} = 0,04277 \text{ л/ м}^2 \text{ с.}$$

Для первой кассеты, установленной на дне молокоохладителя с первой ячейкой (новый вариант):

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{63-1} \sum_{i=1}^n (2,8438 - 0,04277)^2} = 0,000210.$$

В результате проведения испытаний на основе полученных значений построены контурные поверхности распределения плотности орошения струйных распылителей относительно всей поверхности молокоохладителя для базового и нового варианта (рис. 4–9).

Анализируя полученные контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя, определили процентное соотношение распределения плотности орошения ко всей поверхности молокоохладителя (табл. 1).

Таблица 1. Процентное соотношение распределения плотности орошения

Струйный распылитель	Поверхность молокоохладителя	Распределение плотности орошения, л/м ² с				
		0–0,010	0,010–0,020	0,020–0,030	0,030–0,040	0,040–0,050
«Гомельагрокомплект»	нижняя	–	–	–	51,57 %	48,43 %
	боковая	2,76 %	1,95 %	4,29 %	30,07 %	60,93 %
	верхняя	0,1 %	0,78 %	4,68 %	31,25 %	63,27 %
Макетный образец	нижняя	–	–	–	22,66 %	77,34 %
	боковая	–	–	–	28,15 %	71,85 %
	верхняя	–	–	–	26,56 %	73,43 %

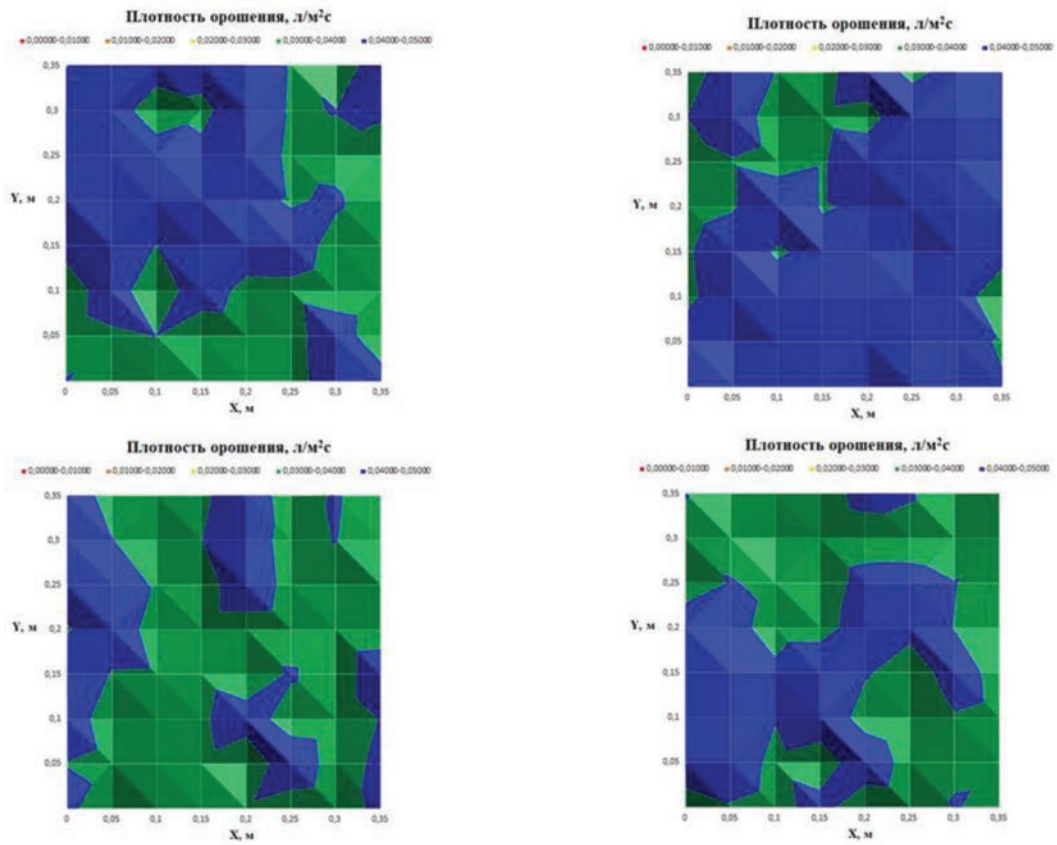


Рис. 4. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на дне молокоохладителя (базовый вариант)

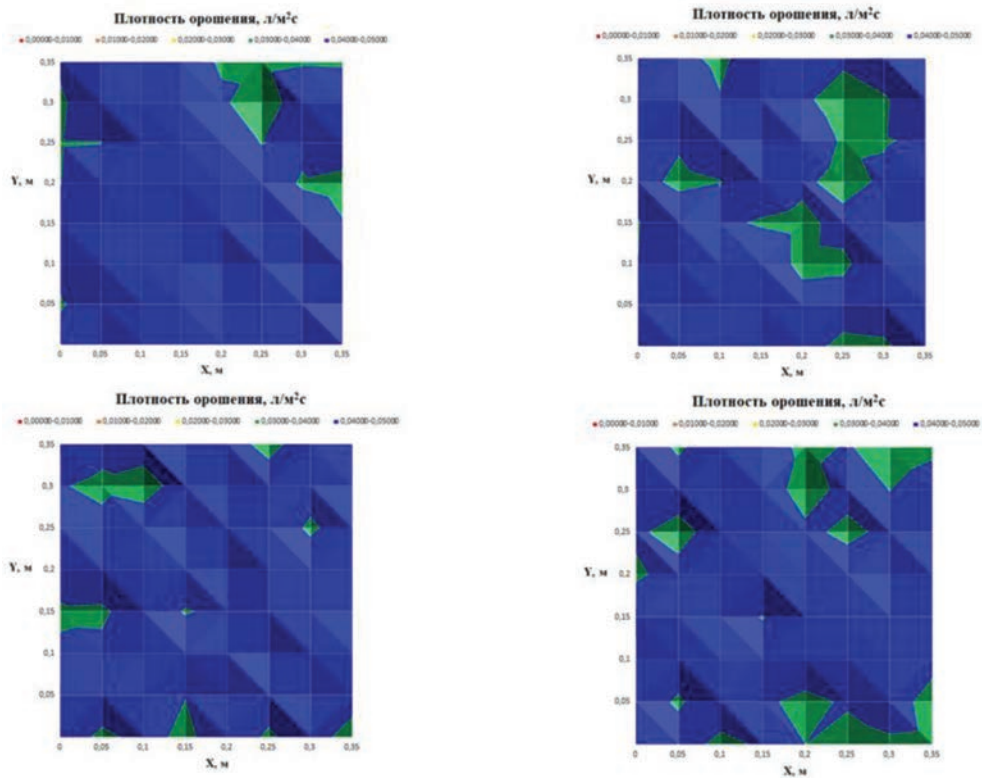


Рис. 5. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на дне молокоохладителя (новый вариант)

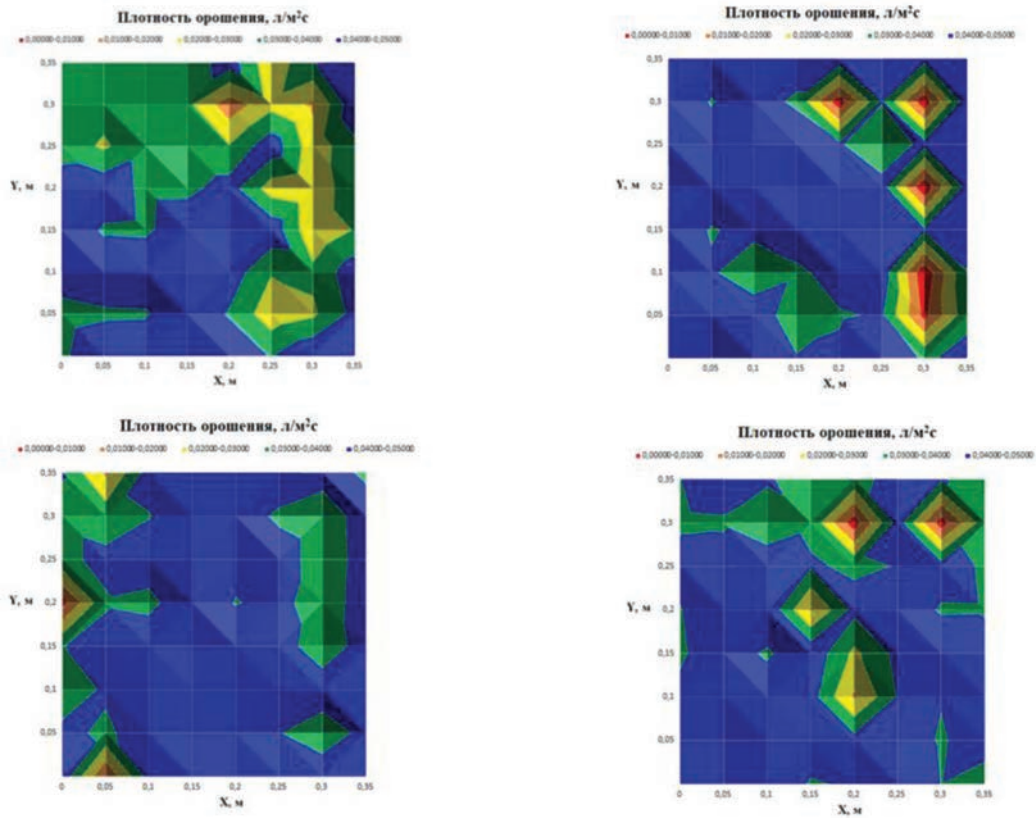


Рис. 6. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на боковой поверхности молокоохладителя (базовый вариант)

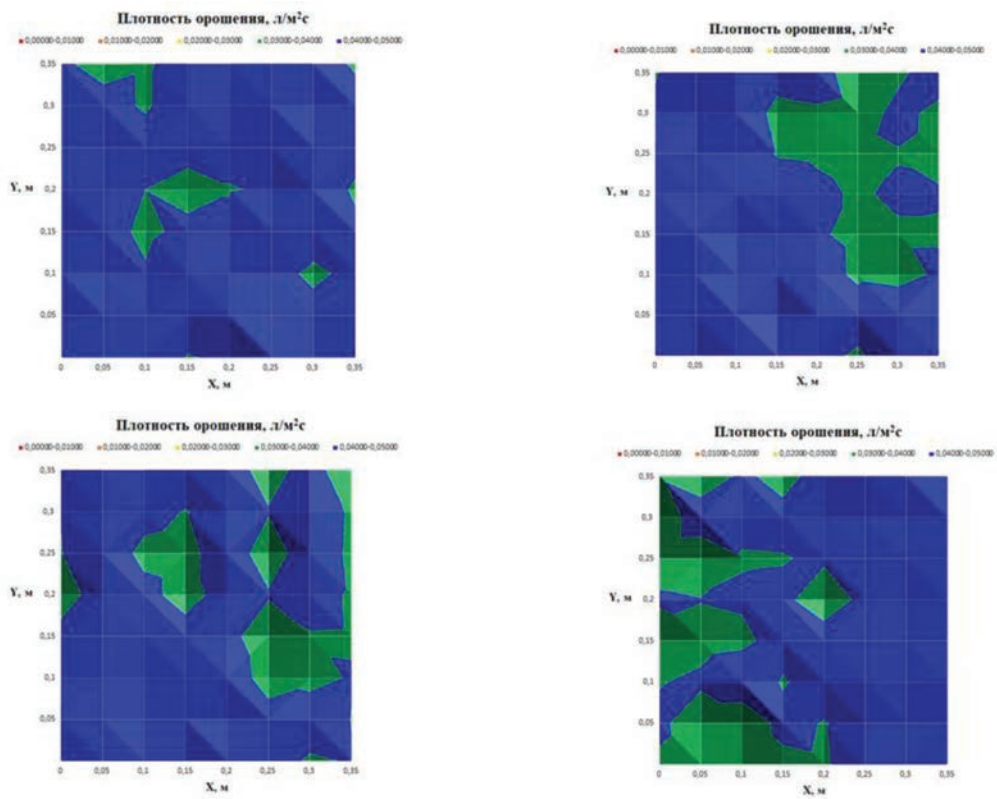


Рис. 7. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на боковой поверхности молокоохладителя (новый вариант)

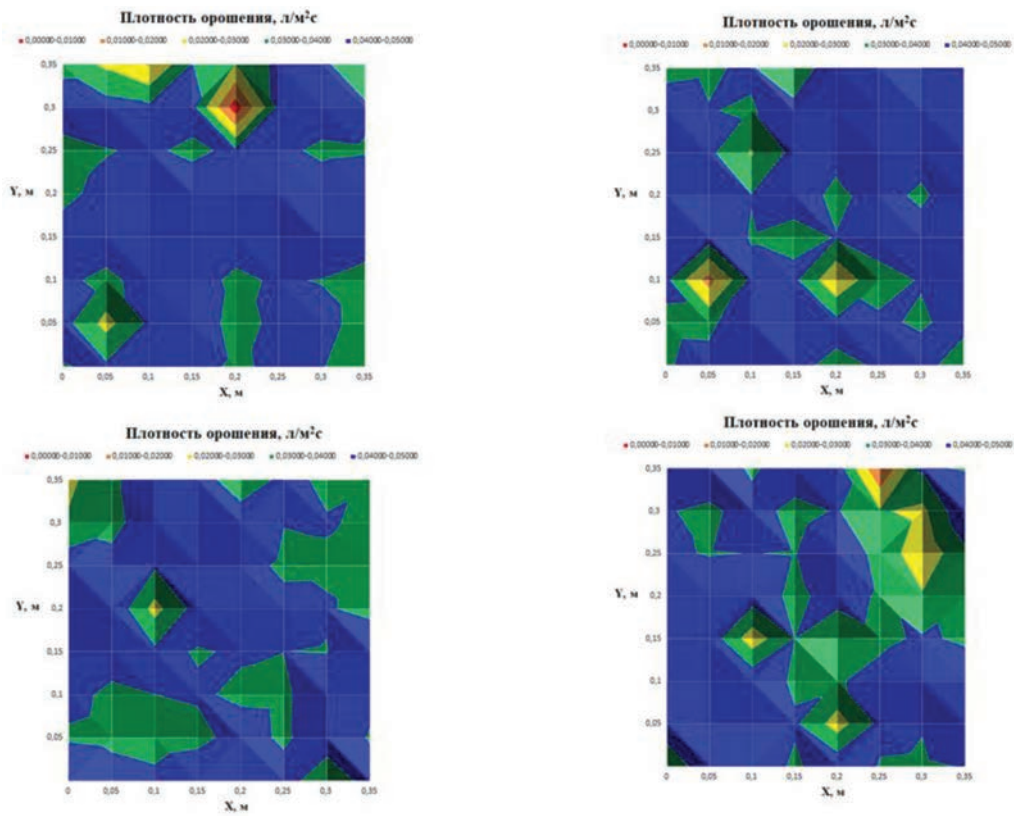


Рис. 8. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя сверху молокоохладителя (базовый вариант)

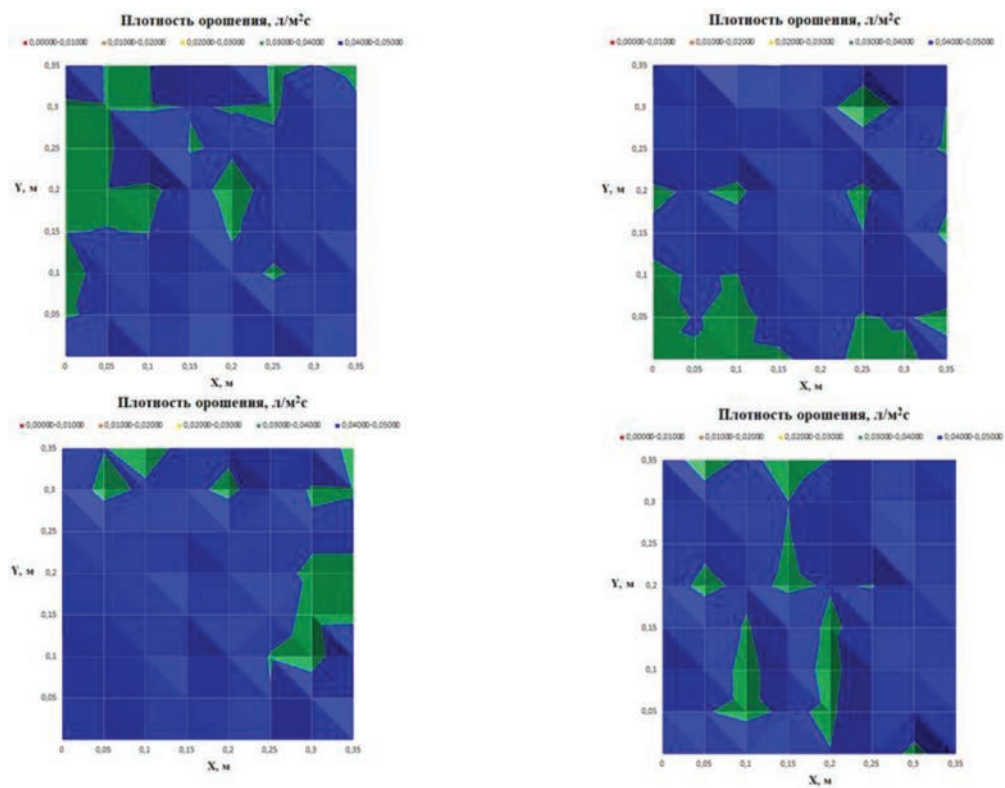


Рис. 9. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя сверху молокоохладителя (новый вариант)

Распределение плотности орошения струйного макетного распылителя в сравнении с базовым равномернее по нижней поверхности молокоохладителя на 28,91 %, по боковой – на 10,92 % и по верхней – на 10,15 % за счет более эффективного распыла жидкости.

В результате проведения испытаний установлено направление распыла жидкости струйными распылителями для базового и нового варианта (рис. 10).



Рис. 10. Распыление жидкости струйными распылителями: *а* – распылитель «Гомельагрокомплект»; *б* – макетный струйный распылитель

Анализируя полученные при работе струйных распылителей снимки, можно сделать вывод, что распыл жидкости струйного распылителя производителя «Гомельагрокомплект» выражено направлен в одну сторону, а именно в верхнюю часть поверхности молокоохладителя, в результате чего происходит менее равномерное распределение плотности орошения по боковой и нижней поверхностям молокоохладителя. В то же время, при работе макетного струйного распылителя наблюдается распыл жидкости во все стороны поверхности молокоохладителя и распределение плотности орошения происходит более равномерно по всей поверхности молокоохладителя. Величиной, характеризующей равномерность распределения плотности орошения струйного распылителя, является значение распределения плотности орошения всех расчетных секторов (рис. 11).

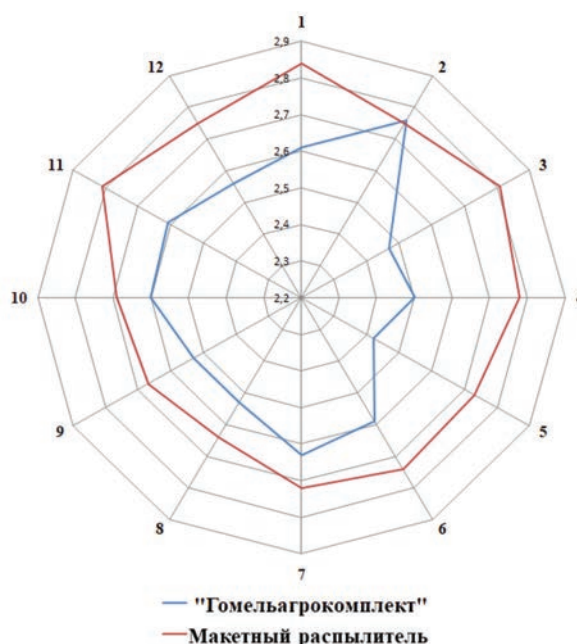


Рис. 11. Диаграмма распределения жидкости для 12-секторного сборника

В качестве количественной характеристики окружной равномерности жидкости в факеле распыливания обычно применяют коэффициент неравномерности [8]:

$$K = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (3)$$

где Q_{\max} , Q_{\min} , $Q_{\text{ср}}$ – соответственно максимальный, минимальный и средний объемы жидкости в секторе.

Определим коэффициенты неравномерности струйного распылителя поверхности молокоохладителя для базового варианта:

$$K_{\text{б}} = \frac{2,76 - 2,42}{2,56} \cdot 100 = 13,28 \%$$

Для нового варианта соответственно:

$$K_{\text{н}} = \frac{2,84 - 2,64}{2,74} \cdot 100 = 7,29 \%$$

Коэффициент неравномерности распределения зависит не только от конструктивных параметров распылителя, но и от давления подачи и взаимного расположения распылителя и молокоохладителя.

На диаграмме видно, что полученные средние значения распределения жидкости у макетного образца более равномерны, чем у производителя «Гомельагрокомплект» за счет более эффективного распыла жидкости по всей поверхности молокоохладителя.

Важным показателем, характеризующим механическое воздействие на молочные загрязнения, является ударная сила струйного распылителя – гидравлический показатель, определяемый кинетической энергией распыленной струи. Ударная сила выражается в Н/м^2 и зависит от расстояния от сопла до очищаемой поверхности молокоохладителя (рис. 12).

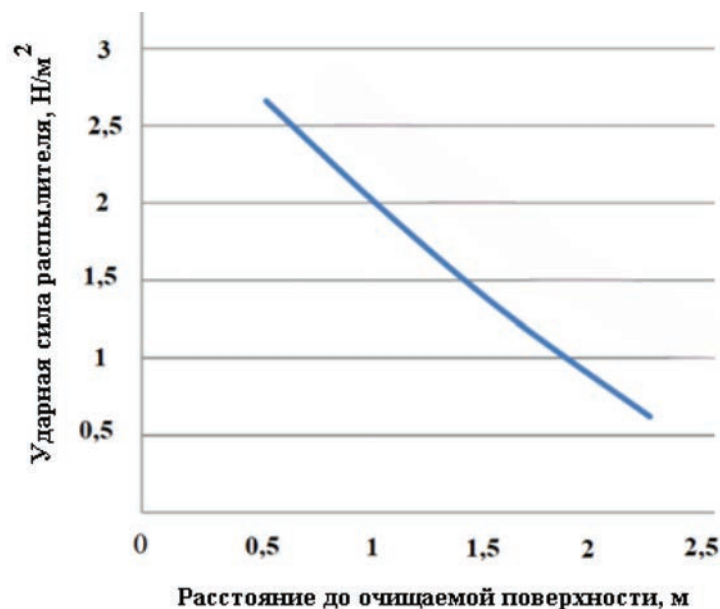


Рис. 12. Графическая зависимость ударной силы распылителя от расстояния до очищаемой поверхности молокоохладителя

Установлено, что в рабочем режиме распылителя при давлении 2 бара для обеспечения высокой ударной силы $P_{\text{уд}} = 2,7 \text{ Н/м}^2$ оптимальным расстоянием при воздействии струи жидкости на загрязнения является 0,5 м.

С увеличением расстояния от 0,5 до 2 м до очищаемой поверхности молокоохладителя наблюдается быстрое снижение величины ударной силы струйного распылителя в 3 раза.

Заключение

Анализируя полученные контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя, определили процентное соотношение распределения плотности орошения по всем поверхностям молокоохладителя. Распределение плотности орошения струйного макетного распылителя по нижней поверхности молокоохладителя составило 28,91 %, по боковой – 10,92 % и по верхней – 10,15 % за счет более эффективного распыла жидкости в сравнении с базовым вариантом.

В качестве количественной характеристики окружной неравномерности распределения жидкости в факеле распыливания применен коэффициент неравномерности. Коэффициент неравномерности для базового варианта составил $K_{\sigma} = 13,28$ %, для нового варианта $K_{\sigma} = 7,29$ %.

Установлено, что в рабочем режиме распылителя при давлении 2 бара для обеспечения высокой ударной силы $P_{\text{уд}} = 2,7$ Н/м² оптимальным расстоянием при воздействии струи жидкости на загрязнения является 0,5 м. С увеличением расстояния от 0,5 до 2 м до очищаемой поверхности молокоохладителя наблюдается быстрое снижение величины ударной силы струйного распылителя в 3 раза.

Список использованных источников

1. Клыбик, В. К. К вопросу рационального выбора распылительного устройства для эффективной промывки молокоохладителей / В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич // Вест. Баранов. гос. ун-та. Сер.: Техн. науки. – 2023. – № 1. – С. 64–68.
2. Клыбик, В. К. Пути совершенствования процесса мойки емкостей молокоохладителей / В. К. Клыбик, В. В. Никончук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 117–120.
3. Палій, А. П. Перспективні напрямки розвитку молочного скотарства в Україні / А. П. Палій // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – Великие Луки, 2014. – № 2. – С. 10–15.
4. Ушаков, Ю. А. Качество молока в зависимости от санитарного состояния доильного оборудования / Ю.А. Ушаков, А. А. Панин // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург, 2009. – № 1 (21). – С. 99–101.
5. Палій, А. П. Дослідження процесу очищення доїльних установок різного типу після доїння / А. П. Палій // Науково-технічний бюлетень 112. – Харків, 2014. – С. 109–114.
6. Палій, А. П. Дослідження процесу промивання доїльних установок / А. П. Палій // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. – Львів, 2014. – Серія “Сільськогосподарські науки”, том 16, № 2 (59), ч. 3. – С. 156–161.
7. Клыбик, В. К. Методика оценки эффективности работы струйных распылителей вращающегося типа для промывки молокоохладителей / В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2023. – С. 176–181.
8. Клыбик, В. К. Экспериментальные исследования истечения жидкости из распылителей для промывки молокоохладителей / В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2023. – С. 270–272.

Ю. А. Ракевич

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: rakevich.1991@mail.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ ВЫМЕНИ КОРОВЫ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос терморегуляции животного. Изучена температура поверхности крупного рогатого скота при различных температурах окружающей среды. Определена полная теплоотдача вымени коровы на основе теплофизических явлений проводимости, конвекции, излучения и испарения.

Ключевые слова: терморегуляция, тепловыделение, теплоотдача, вымя, корова.

Yu. A. Rakevich

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: rakevich.1991@mail.ru*

DETERMINATION OF TOTAL HEAT TRANSFER OF A COWS UDDER

Abstract. The article discusses the issue of animal thermoregulation. The surface temperature of cattle was studied at various ambient temperatures. The total heat transfer of the cow's udder was determined based on the thermophysical phenomena of conductivity, convection, radiation and evaporation.

Keywords: thermoregulation, heat release, heat transfer, udder, cow.

Введение

Крупный рогатый скот – гомойотермные животные, т. е. они могут поддерживать постоянную температуру тела в пределах определенного температурного диапазона. Терморегуляция происходит в гипоталамусе, где обрабатываются афферентные сигналы от рецепторов температуры кожи, спинного мозга и гипоталамуса. Тепловыделение осуществляется через физические процессы проводимости, конвекции, испарения и излучения (рис. 1) [1].

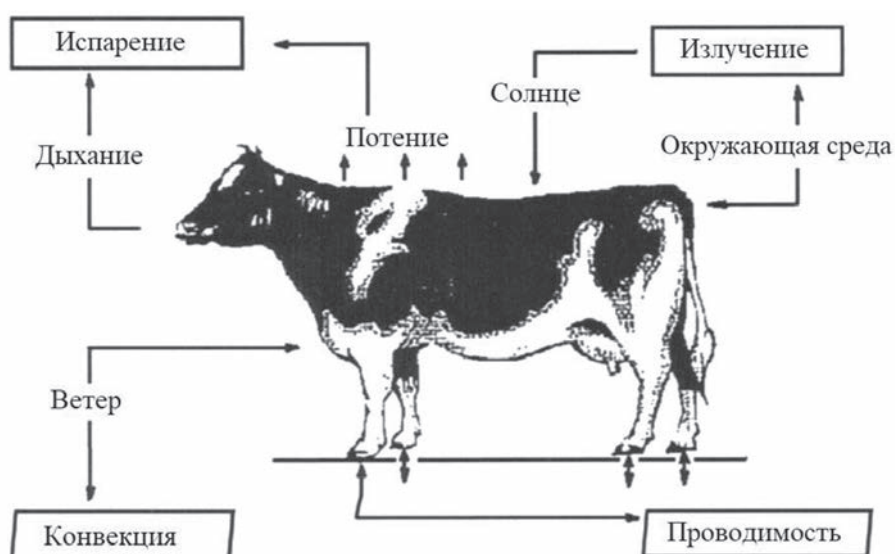


Рис. 1. Тепловая мощность крупного рогатого скота

Физиологические механизмы, поддерживающие нормальную температуру тела, включают афферентные, центральные и эфферентные звенья нервно-рефлекторной регуляции. К афферентным звеньям относятся нервные окончания, заложенные в коже, слизистых оболочках, внутренних органах, структурах мозга. К центральным звеньям терморегуляции, осуществляющим контроль за отклонениями температуры тела или его отдельных частей от нормы, относятся гипоталамус, кора головного мозга, продолговатый и спинной мозг. Эфферентным звеном терморегуляции является преимущественно симпатическая нервная система.

Основная часть

Процесс терморегуляции осуществляется следующим образом: холодовые и тепловые рецепторы воспринимают изменения температуры внешней среды, уровень теплосодержания в организме и передают соответствующую информацию центральным звеньям терморегуляции. Отклонение температуры от нормы приводит к появлению сигналов, которые передаются к различным органам, изменяя процессы обмена в мышцах, печени, изменяют просвет кровеносных сосудов, потоотделение, дыхание, мочевыделение и т. д., то есть изменяют теплопродукцию (химическая регуляция теплового обмена) и теплоотдачу (физическая регуляция теплового обмена).

Под химической терморегуляцией (теплопродукция) следует понимать изменение обмена веществ, в результате чего происходит образование тепла. Органами, принимающими участие в теплопродукции, являются все ткани организма, в которых осуществляется обмен веществ и энергии, однако главными органами теплового обмена являются мышцы и печень, где освобождается наибольшее количество тепла. Эти органы больше других принимают участие в тепловом обмене.

Другой областью, в которой происходит значительное теплообразование, являются мышцы. От действия низкой температуры рефлекторно возникает дрожь (мелкие клонические судороги), в результате которой образуется значительное количество тепла. Говоря о мышцах, как о главном органе теплового обмена, надо иметь в виду, что они принимают участие в выработке тепла даже при отсутствии видимых мышечных сокращений.

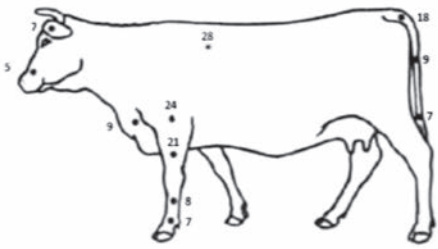
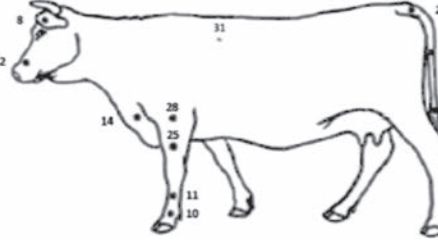
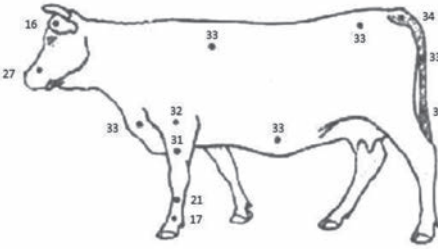
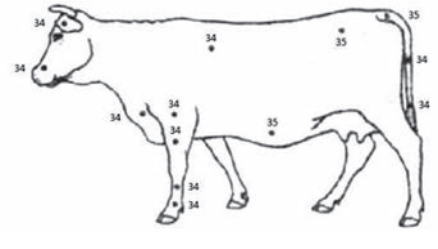
Физическая терморегуляция является приспособлением, благодаря которому регулируется теплоотдача. Теплоотдача происходит в основном посредством расширения периферических сосудов, благодаря потоотделению, дыханию, согреванию пищи и вдыхаемого воздуха. Сосудистый механизм теплоотдачи обычно приводится в действие рефлекторным путем. Под воздействием холода стенки сосудов сокращаются, кожа бледнеет, теплоотдача понижается. От действия тепла, наоборот, сосуды расширяются, кожа краснеет, теплоотдача усиливается, и организм освобождается от излишков образующегося в нем тепла.

Теплоотдача осуществляется также благодаря потоотделению. Регуляция потоотделения осуществляется расположенными в промежуточном и спинном мозге нервными центрами, которые возбуждаются рефлекторно от воздействия тепла или непосредственно от нагретой крови. Деятельность этих центров контролируется корой головного мозга. Путем испарения воды с поверхности альвеол легких отдается довольно большое количество тепла. Частота и глубина дыхания определяет количество выделяемого тепла. Этот способ отдачи тоже регулируется нервной системой. В терморегуляции участвуют и железы внутренней секреции: щитовидная, надпочечники, гипофиз, поджелудочная железа и др.

У крупного рогатого скота температура тела составляет 37,5–39,5 °С. Эти колебания зависят от температуры окружающей среды, вида животных, возраста, индивидуальных особенностей, времени суток и других факторов (табл. 1.) [2].

Между организмом животного и воздушной средой существует постоянная связь. Обеспечение постоянства температуры тела при изменении наружной температуры основывается на способности организма животного поддерживать равновесие между образованием тепла (химическая терморегуляция) и его отдачей (передачей) во внешнюю среду (физическая терморегуляция). Основными путями отдачи тепла организмом животных являются теплоизлучение (радиация) и конвекция (срыв тепла). Тепло теряется за счет инфракрасного излучения (до 30–40 % от всех потерь). Чем холоднее окружающая среда или большая поверхность, мало отражающая тепло (темный

Таблица 1. Температура поверхности крупного рогатого скота при различных температурах окружающей среды

Температура окружающей среды	Температура поверхности крупного рогатого скота	Область тела	Температура области тела, °С
-5 °С		морда	5
		ухо	7
		спина	28
		грудина	9
		лопатка	24
		подплечье	21
		пясть	8
		путо (бабка)	7
		хвост (верх)	18
		хвост (середина)	9
		хвост (низ)	7
5 °С		морда	12
		ухо	8
		спина	31
		грудина	14
		лопатка	28
		подплечье	25
		пясть	11
		путо (бабка)	10
		хвост (верх)	24
		хвост (середина)	12
		хвост (низ)	12
15 °С		морда	27
		ухо	16
		спина	33
		грудина	33
		лопатка	32
		подплечье	31
		пясть	21
		путо (бабка)	17
		хвост (верх)	34
		хвост (середина)	33
		хвост (низ)	33
20 °С		морда	34
		ухо	34
		спина	34
		грудина	34
		лопатка	34
		подплечье	34
		пясть	34
		путо (бабка)	34
		хвост (верх)	35
		хвост (середина)	34
		хвост (низ)	34

цвет, высокая теплопоглощаемость), тем больше теряется тепла данным излучением. Зависит потеря тепла таким способом и от расстояния животных от окружающих поверхностей. Конвекция – это срыв тепла с поверхности тела животного, который достигает 15 % всех потерь и зависит от качества шерстного покрова, уровня температуры, влажности и скорости движения воздуха. Следующий путь ухода тепла из организма – теплопроводение. Процесс теплопроводения происходит при непосредственном соприкосновении тела животного с окружающими конструкциями, при лежании на сыром, холодном полу, земле, снеге, металле. Много тепла теряется путем испарения влаги с поверхности тела и выделения влаги с дыхательных поверхностей. В выдыхаемом воздухе содержится до 100 % влаги. При испарении 1 грамма влаги теряется 0,692 Вт тепла. Тратится тепло и на согревание вдыхаемого воздуха, съеденного корма, выпитой воды (6–8 %). Часть тепла теряется с молоком, калом, мочой (до 1 %). Образуется тепло при усвоении кормов, их окислении (сгорании), движении и другой мышечной работе. Температура окружающей среды оказывает наибольшее воздействие на животных, так как она непосредственно влияет на тепловое состояние организма, изменяя тем самым течение жизненно важных процессов [3].

Определение полной теплоотдачи вымени теплокровного животного можно получить исходя из теплофизических явлений: проводимости (кондукции), конвекции (дыхания), излучения (радиации) и испарения (пота и влаги). При этом необходимо учитывать температуру поверхности вымени, температуру окружающей среды, скорость воздуха. В общем виде формула полной теплоотдачи вымени коровы может быть представлена как:

$$Q_{\text{полн.}} = Q_{\text{пров.}} + Q_{\text{конв.}} + Q_{\text{излуч.}} + Q_{\text{испар.}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{полн.}}$ – полная теплоотдача вымени, Вт/м²; $Q_{\text{пров.}}$ – теплоотдача за счет проводимости, Вт/м²; $Q_{\text{конв.}}$ – теплоотдача за счет конвекции, Вт/м²; $Q_{\text{излуч.}}$ – теплоотдача за счет излучения, Вт/м²; $Q_{\text{испар.}}$ – теплоотдача за счет испарения, Вт/м²;

Количество тепла, отдаваемое выменем коровы в окружающую среду, можно найти, представив вымя коровы условно в форме полусферы. Внутренний объем вымени отделен от окружающей среды состоящим из кожи, шерсти и волос покровом, имеющим площадь S (рис. 2).

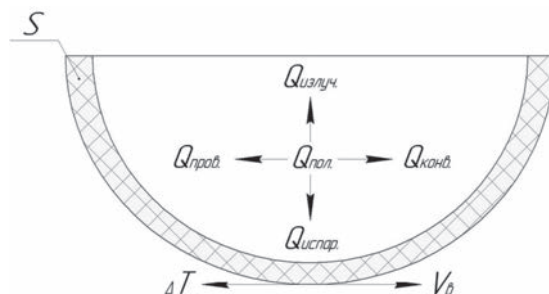


Рис. 2. Схема полной теплоотдачи вымени коровы: $Q_{\text{полн.}}$ – полная теплоотдача вымени, Вт/м²; $Q_{\text{пров.}}$ – теплопередача за счет проводимости, Вт/м²; $Q_{\text{конв.}}$ – теплопередача за счет конвекции, Вт/м²; $Q_{\text{излуч.}}$ – теплопередача за счет излучения, Вт/м²; $Q_{\text{испар.}}$ – теплопередача за счет испарения, Вт/м²; S – площадь поверхности кожного покрова вымени, м²; ΔT – разность температуры между поверхностью вымени и окружающей средой, К; $V_{\text{в}}$ – скорость движения воздуха окружающей среды, м/с

Теплопередачу за счет теплопроводности можно рассчитать с помощью закона Фурье [5]:

$$Q_{\text{пров.}} = \lambda \cdot S (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м²·К; S – площадь поверхности кожного покрова вымени, м²; T_1 – температура поверхности вымени, К; T_2 – температура окружающей среды (воздуха), К.

Теплопередачу за счет конвекции можно рассчитать, используя закон охлаждения Ньютона [6]:

$$Q_{\text{пров.}} = h \cdot S (T_1 - T_2), \quad (3)$$

где h – коэффициент конвективной теплопередачи, Вт/м²·°С.

Теплопередачу за счет излучения можно рассчитать, используя закон Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{конв.}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S (T_1^4 - T_2^4), \quad (4)$$

где ε – коэффициент излучения поверхности вымени, Вт/м²·К; σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²·К⁴.

Количество тепла, отдаваемого с поверхности вымени испарением, определяется уравнением [5]:

$$Q_{\text{испар.}} = V_{\text{в}} \cdot W \cdot S (P_{\text{к}} - P_{\text{в}}), \quad (5)$$

где $V_{\text{в}}$ – скорость воздуха окружающей среды, м/с; W – коэффициент увлажнения вымени; S – площадь поверхности кожного покрова вымени, м²; $P_{\text{к}}$ – парциальное давление водяного пара в насыщенном воздухе под выменем, Па; $P_{\text{в}}$ – парциальное давление водяного пара в окружающем воздухе, Па.

В результате получим:

$$Q_{\text{полн.}} = \lambda \cdot S \cdot \Delta T + h \cdot S \cdot \Delta T + \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot \Delta T^4 + V_{\text{в}} \cdot W \cdot S \cdot \Delta P. \quad (6)$$

После упрощения получим формулу для определения полной теплоотдачи вымени коровы:

$$Q_{\text{полн.}} = S \cdot \Delta T (\lambda + h + \varepsilon \cdot \sigma \cdot \Delta T^3 + V_{\text{в}} \cdot W \cdot S \cdot \Delta P). \quad (7)$$

Заключение

Полная теплоотдача вымени коровы будет зависеть от разности температуры между поверхностью вымени и окружающей средой, а также от скорости движения воздуха, разности парциального давления водяного пара в насыщенном воздухе, которое меняется в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха.

Полученная зависимость для определения полной теплоотдачи вымени коровы может быть использована для учета физиологического теплообмена между биологическим объектом – выменем дойной коровы и окружающей средой, изучения вопросов, связанных с молокоотдачей и тепловым стрессом, диагностики мастита дойных коров термографическим методом, для контроля микроклимата на молочно-товарных фермах, направленных на повышение продуктивности и продолжительности хозяйственного использования животных.

Список использованных источников

1. Гируцкий, И. И. Анализ инфракрасного изображения вымени коров / И. И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю. А. Ракевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 9–12.
2. Патология терморегуляции / М. А. Макарук [и др.]. – Витебск: УО ВГАВМ, 2005. – С. 5–27.
3. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle / R. J. Collier [et al.]. – Journal of Dairy Science, 2006. – P. 1244–1253.
4. Научные основы выращивания ремонтного молодняка крупного рогатого скота: монография / Д. М. Богданович [и др.] // Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Жодино, 2022. – 303 с.
5. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности / Н. В. Воякина, М. А. Промтов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 24 с.
6. Энергосбережение в процессах теплообмена: метод. пособие для практ. занятий по дисц. «Основы экологии и энергосбережения» / И. И. Кирвель, М. М. Бражников, Е. Н. Зацепин. – Минск: БГУИР, 2007. – 28 с.

Н. Ф. Капустин, В. Ю. Тарновский

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: npcter@yandex.ru*

БИОГАЗОВЫЙ ЭНЕРГОПОТЕНЦИАЛ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ОВОЩЕВОДСТВЕ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. Приведены результаты лабораторных исследований по определению удельного выхода метана из единицы массы органического сухого вещества огуречных и томатных растительных остатков при их анаэробной биоферментации. Рассчитан энергopotенциал растительных остатков в овощеводстве защищенного грунта Республики Беларусь при их возможной переработке в биогазовых установках.

Ключевые слова: растительные остатки, овощеводство закрытого грунта, удельный выход метана, анаэробная биоферментация, энергopotенциал.

N. F. Kapustin, V. Yu. Tarnouski

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: npcter@yandex.ru*

BIOGAS ENERGY POTENTIAL OF PLANT RESIDUES IN VEGETABLE GROWING OF PROTECTED SOIL OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. The results of laboratory studies on the determination of the specific methane yield from the unit mass of organic dry matter of cucumber and tomato plant residues during their anaerobic biofermentation are presented. The energy potential of plant residues in the vegetable growing of the protected soil of the Republic of Belarus during their processing in biogas plants is calculated.

Keywords: plant residues, indoor vegetable growing, specific methane yield, anaerobic biofermentation, energy potential.

Введение

Площадь зимних теплиц в Республике Беларусь составляет 269 га [1]. По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь под томаты используется 123 га, а под огурцы 76 га площади теплиц. Ежегодно с одного гектара площади теплиц утилизируется около 60–70 т огуречных и 120–130 т томатных растительных остатков [2]. В то же время эти остатки могут представлять интерес при их использовании в качестве органического сырья для работы биогазовых установок.

В связи с этим цель работы состояла в исследовании удельной выработки метана и ее динамики при анаэробной биоферментации огуречных и томатных растительных остатков, а также расчете их биогазового потенциала в масштабах овощеводства защищенного грунта Беларуси.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являлись огуречные (рис. 1) и томатные (рис. 2) растительные остатки. Исследование содержания сухих веществ (СВ) в пробах осуществлялось по ГОСТ 26713-85 с использованием сушильного шкафа Memmert Basic и весов лабораторных Acculab ATL-822, а органических сухих веществ (ОСВ) – по ГОСТ 26714-85 с использованием муфельной печи Nabertherm и весов лабораторных Radwag AS 220/c/2N.

Для измерений удельного выхода метана при анаэробной биоферментации исследуемых проб использовался автоматизированный комплекс на основе биопротекс-контроллера АМРТС II (рис. 3).



a



б

Рис. 1. Огуречные растительные остатки: *a* – до измельчения; *б* – после измельчения до 1–2 см



a



б

Рис. 2. Томатные растительные остатки: *a* – до измельчения; *б* – после измельчения до 1–2 см



Рис. 3. Автоматизированный комплекс по определению выхода метана в процессе анаэробной биоферментации органического сырья

Процедура определения метаногенной активности органического сырья включала инокулирование в анаэробных условиях некоторого его количества во флаконах с инокулятом биогазовой установки, помещение флаконов в водяной термостат, где поддерживалась температура на заданном уровне (для мезофильного режима 40 ± 2 °C) с периодическим перемешиванием сбраживаемого субстрата и последующей регистрацией количества вырабатываемого метана.

Результаты исследований

На рис. 4 представлены графики, а на рис. 5 – значения удельного выхода метана при анаэробной биоферментации огуречных и томатных растительных остатков.

На рис. 6 показана динамика выработки метана при биоферментации огуречных и томатных растительных остатков в зависимости от продолжительности процесса.

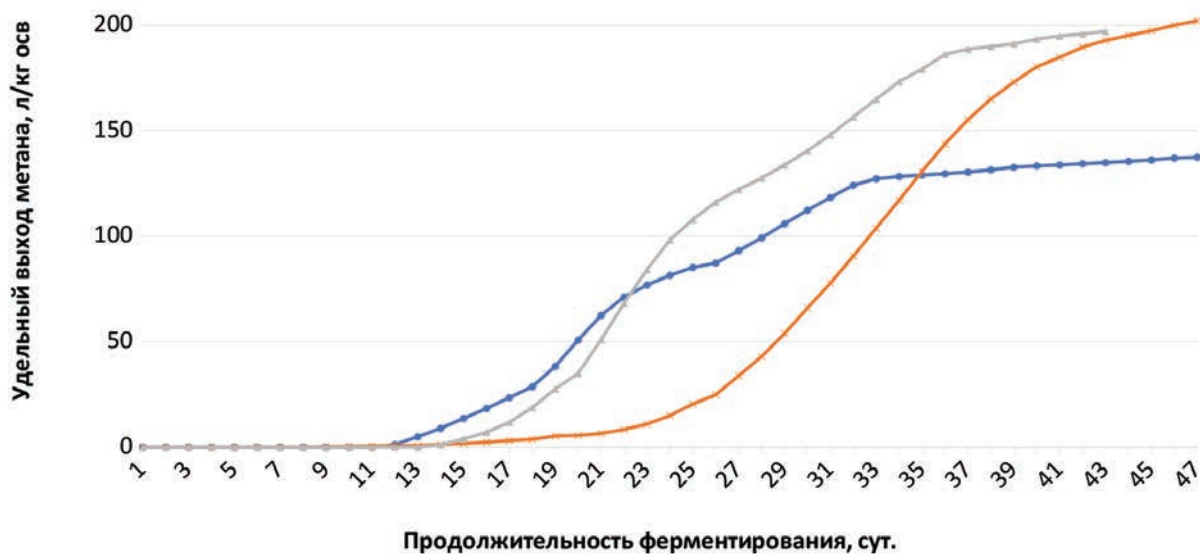


Рис. 4. Удельный выход метана при анаэробной биоферментации растительных остатков:

- огуречных неизмельченных
- ✕ томатных измельченных до 1-2 см
- ▲ огуречных измельченных до 1-2 см

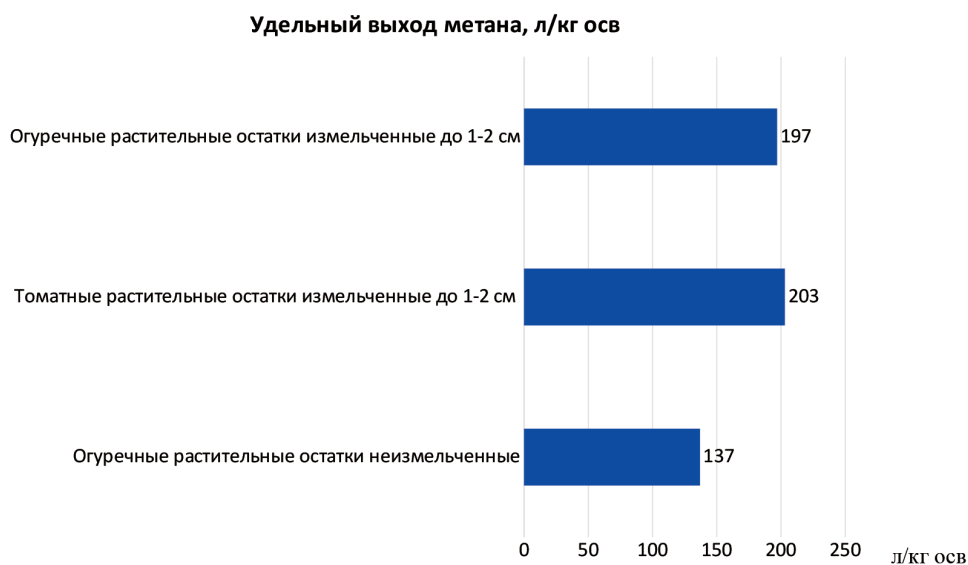


Рис. 5. Гистограмма удельного выхода метана при анаэробной биоферментации огуречных и томатных растительных остатков

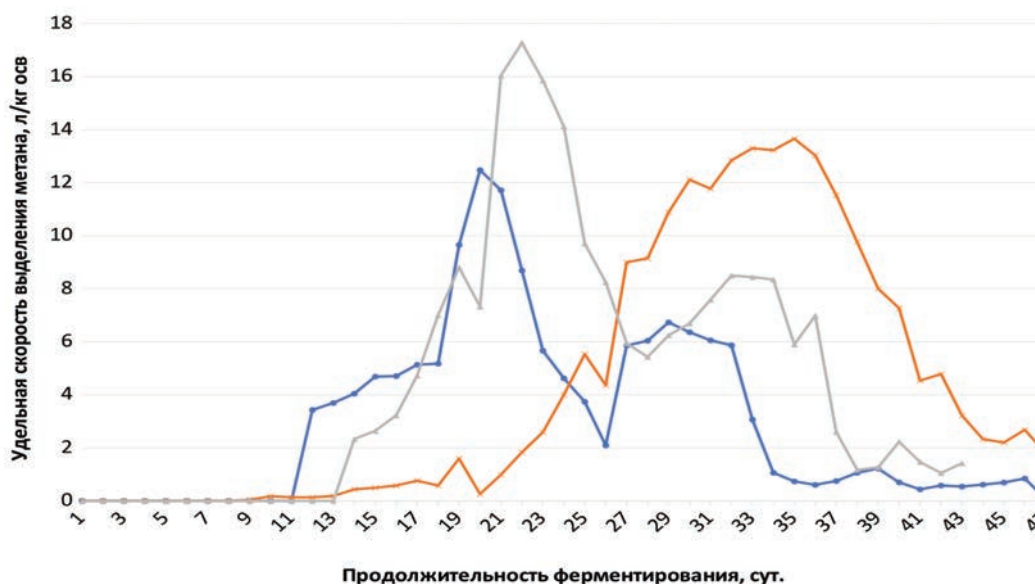


Рис. 6. Динамика выработки метана при анаэробной биоферментации растительных остатков:

- огуречных неизмельченных
- ✕ томатных измельченных до 1–2 см
- ▲ огуречных измельченных до 1–2 см

Выводы

1. На примере огуречных растительных остатков показано, что удельный выход метана при анаэробной биоферментации измельченного до 1–2 см органического сырья в 1,4 раза выше, чем при отсутствии его измельчения.

2. Наибольший выход метана при анаэробной биоферментации огуречных растительных остатков приходится на 20–23 сутки процесса, а для томатных растительных остатков – на 30–37 сутки.

3. Выработка метана при анаэробной биоферментации огуречных растительных остатков прекращается на 30–40 сутки процесса, а томатных – на 45–50 сутки.

4. Удельный выход метана измельченных огуречных и томатных растительных остатков при их анаэробной биоферментации составляет около $0,2 \text{ м}^3/\text{кг}_{\text{осв}}$, что представляет несомненный практический интерес для биогазовых технологий.

5. При анаэробной биоферментации огуречных и томатных растительных остатков, образующихся в зимних теплицах Республики Беларусь, потенциал выработки метана может составлять 3,8 млн м^3 в год.

Список использованных источников

1. Скорина, В. В. Производство овощей в защищенном грунте Беларуси / В. В. Скорина, Д. А. Романьков // Овощеводство : сб. науч. тр. / Национальная академия наук Беларуси, РУП «Институт овощеводства». – Самохваловичи : РУП «Институт овощеводства», 2020. – Т. 28. – С. 149–155.

2. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. НТП 10-95.

И. С. Пылило, А. И. Тарима, С. П. Колешко

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Fragment-ip@yandex.by

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО СПОСОБА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕНТ ТРЕСТЫ ЛЬНА В ПРОЦЕССЕ ВЫЛЕЖКИ НА ПОЛЕ**

Аннотация. Рассмотрена возможность применения бесконтактного способа для исследования динамики изменения качественных показателей лент тресты льна в процессе вылежки на поле.

Ключевые слова: треста льняная, качество льнотресты, подъем льнотресты, мультиспектральная камера, мониторинг, динамика изменений.

I. S. Pylilo, A. I. Tarima, S. P. Koleshko

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: Fragment-ip@yandex.by

**THE POSSIBILITY OF USING A CONTACTLESS METHOD TO STUDY THE DYNAMICS
OF CHANGES IN THE QUALITY INDICATORS OF FLAX TRUST TAPES IN THE PROCESS
OF LAYING ON THE FIELD**

Abstract. The possibility of using a contactless method to study the dynamics of changes in the quality indicators of flax trust tapes in the process of laying on the field is considered.

Keywords: flax trust, quality of flax trusts, lifting of flax trusts, multispectral camera, monitoring, dynamics of changes.

Введение

Развитию льняного комплекса в Республике Беларусь уделяется особое внимание. Это обусловлено необходимостью обеспечения качественным сырьем предприятий текстильной промышленности, которые должны производить широкий ассортимент конкурентоспособных изделий бытового и технического назначения. Для повышения эффективности льняной отрасли Правительством совместно с облисполкомами реализуется утвержденный в 2021 году план мероприятий на 2021–2025 годы, предусматривающий научное сопровождение с максимальным внедрением в производство прогрессивных агротехнических приемов, способствующих повышению урожайности льнотресты и ее качества.

Основная часть

Анализ технико-экономических показателей работы льноводов республики по выходу длинного льноволокна показывает, что этот показатель практически для всех льнозаводов не достигает его нормативного значения. Кроме того, хотя на отдельных льнозаводах республики установлено оборудование западноевропейских фирм («DEPOORTERE», «VAN DOMMELE»), выход длинного волокна на белорусских льнозаводах более чем в 2 раза ниже в сравнении с аналогичными предприятиями Западной Европы. Причины этого связаны как со спецификой отечественного сырья (менее длинные стебли и неоднородность свойств), так и с недостатками перерабатывающего оборудования [1].

Тщательное соблюдение специализированных технологий выращивания льна является обязательным для получения льнопродукции высшего качества.

Для определения качества льняной тресты используют ГОСТ Р 53143-2008 «Треста льняная. Требования при заготовках», ГОСТ 24389-89 «Треста льняная. Требования при заготовках». Контроль за вылежкой стеблей следует начинать через 5–7 дней после расстила. Готовность тресты определяют органолептически. Обычно стебли льна при достижении оптимальной степени вылежки приобретают серый цвет разных оттенков. Однако было бы ошибочным судить о готовности их к подъему только по цвету. Нормально вылежавшаяся льнотреста может быть и другого цвета, например, рыжеватого. Поэтому о готовности льнотресты к подъему судят по ее состоянию. Стебли оптимальной вылежки ломаются, волокно свободно отделяется от древесины в виде сплошных лент. Горсть хорошо вылежавшейся льнотресты на ощупь кажется мягкой и при сильном сжатии рукой слегка похрустывает. Надежнее всего степень вылежки определить путем переработки «пытка».

Преждевременный подъем льнотресты не позволяет получить волокно хорошего качества. Из недолежалой льнотресты волокно получается грубое, низкого качества. Отрицательно сказывается на качестве сырья и поздний подъем льнотресты. Качество при этом резко снижается. Хотя волокно получается мягким, оно имеет меньшую крепость и выход его из льнотресты низкий. При несвоевременном подъеме льнотресты потери несут как льноводные хозяйства, так и льнозаводы. Поэтому льнотресту надо поднимать с оптимальной степенью вылежки (отделяемость волокна от древесины 4,8–6,0 единиц).

Оценка качества льнотресты является очень трудозатратной, кроме того, отдельные пробы не позволяют оценить тресту в масштабах всего поля, что влечет за собой получение сырья, неоднородного по качеству и цвету.

В настоящее время в сельском хозяйстве все чаще используются современные агротехнологии, которые позволяют сократить трудозатраты и снизить вероятность ошибок. Одним из таких перспективных направлений в АПК является точное земледелие с применением беспилотных решений и мультиспектральных сенсоров. Технология такой съемки построена на работе специальной камеры, оборудованной особым датчиком, который способен разделять свет на разные спектры. Камера может иметь несколько каналов. Количество таких каналов определяет количество монохромных снимков на каждом кадре. Чтобы проанализировать получаемую визуальную информацию, необходимо иметь на компьютере специальные программы. Для анализа используются специальные индексы NDVI, NDRE, SAVI, LAI.

С помощью мультиспектральной визуализации происходит улавливание и запись света в диапазоне волн электромагнитного спектра. При этом процесс происходит и за пределами видимого спектра, например в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне. Последнее важно, так как удастся получить дополнительную информацию, которая недоступна человеческому зрению или обычным визуальным камерам. Мультиспектральные камеры способны представить нам отдельное изображение каждого спектра. Камера может создать отдельное изображение для каждого из спектров, а данные можно использовать для создания ортофотоплана для каждого спектра. Выделение этих диапазонов полезно для анализа спектральной характеристики объекта. Здоровые растения отражают меньшее количество красного света, но большее количество ближнего инфракрасного света (рис. 1). [2]. Для льна, находящегося в процессе вылежки, верно обратное.

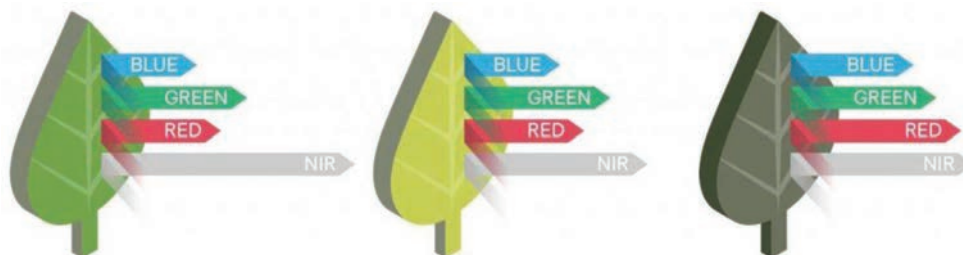


Рис. 1. Изменение спектральных характеристик растения в процессе вылежки

Таким образом, используя мультиспектральную визуализацию, можно наблюдать уровни ближнего инфракрасного диапазона, что позволяет отслеживать изменения лент льна в процессе вылежки на поле.

Информация, получаемая в результате обработки мультиспектральной съемки, помогает управлять полем и принимать взвешенные решения с наименьшим риском для ситуации на основе объективных данных.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, применение мультиспектральных сенсоров позволит произвести мониторинг динамики изменения основных качественных показателей ленты тресты льна (цвет, влажность, неоднородность свойств и др.), что позволит своевременно принять решение о дополнительных обработках, спрогнозировать качество льняной тресты и ее урожайность.

Список использованных источников

1. Оборудование первичной переработки льна / А. Н. Перепечаев [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 30–35.
2. Асташин, В. Дроны с мультиспектральными камерами: сферы применения и преимущества [Электронный ресурс] / В. Асташин // Информационный блог DJI Blog по всей технике компании DJI на русском языке: сравнение моделей, обучающие видео курсы полетов, обзоры новинок, последние новости от компании DJI. – Режим доступа: <https://dji-blog.ru/naznachenie/primery-primeneniya/drony-s-multispektralnymi-kamerami-sfery-primeneniya-i-preimushhestva.html>. – Дата доступа: 10.11.2023.

И. С. Пылило, А. И. Тарима, С. П. Колешко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: vozd_ub_len@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ САМОХОДНЫХ И ПРИЦЕПНЫХ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКОВ ОТ ЛЕНТЫ ЛЬНА

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы исследования влияния типа пресс-подборщиков на отклонения движения от ленты льна.

Ключевые слова: пресс-подборщик, льнотреста, процесс, анализ, рулон, плотность, лента, производительность.

I. S. Pylylo, A. I. Tarima, S. P. Koleshko

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: vozd_ub_len@mail.ru*

STUDYING DEVIATIONS OF MOVEMENT OF SELF-PROPELLED AND TRAILED BALERS FROM FLAX BELT

Abstract. The article reviews and analyzes studies of the influence of the type of baler on movement deviations from the flax belt.

Keywords: baler, flax, process, analysis, roll, density, ribbon, performance.

Введение

Льноводство является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства нашей страны и имеет большое значение для развития экономики сельскохозяйственных предприятий. Подходящие почвенные и климатические условия, материально-техническая база, подготовленные кадры и благоприятная конъюнктура мирового рынка дают основания считать, что производство льна у нас экономически выгодно [1].

Лен-долгунец занимает порядка 550 тыс. га посевных площадей в мире. Валовое производство льноволокна составляет около 1 % общего объема производства волокон. В Республике Беларусь сосредоточено около 16 % мировых посевов льна. Лен-долгунец – основная техническая культура в республике. Он дает три вида ценного сырья для промышленности: волокно, семена и костру [2]. Льняное волокно является одним из главных сырьевых ресурсов текстильной промышленности нашей страны. Практическое использование имеют 95–96 % стебля растения. Основным направлением использования льна-долгунца остается производство одежды, текстильных товаров и строительных материалов. Отходы льноволокна – паклю – используют в качестве упаковочного и конопаточного материала.

Своевременная уборка и реализация тресты уже невозможны без использования пресс-подборщиков. В настоящее время рулонная технология уборки льнотресты получает все большее распространение в производстве.

Заготовка льнотресты в рулоны производится с использованием прицепных и самоходных машин. Парк самоходных пресс-подборщиков в хозяйствах республики составляет около 10 %. Основной причиной их незначительного применения является высокая стоимость, влекущая за собой значительные амортизационные издержки в себестоимости эксплуатационных затрат. В то же время одними из значимых показателей при агротехнической оценке работы подборщиков являются

растянутость, плотность и равномерность стеблей в ленте и рулоне. Данные показатели оказывают непосредственное влияние на выход длинного льноволокна при переработке льнотресты на стационарных линиях. Увеличение растянутости и низкая плотность снижает выход длинного волокна и наоборот. В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» были проведены исследования отклонения движения самоходных и прицепных пресс-подборщиков от ленты льна.

Основная часть

С целью определения траектории движения прицепного и самоходных пресс-подборщиков был произведен 61 замер отклонения ленты от прямой и отклонения движения пресс-подборщика от прямолинейного движения в заданных точках [3]. Для исследований использовались пресс-подборщики самоходные «Depoortere» и «Dehondt», прицепной – ПРЛ-150(А).

После обработки предварительных данных были получены величины отклонения при перемещении подбирающего механизма по ленте льнотресты. Полученные результаты сгруппированы в таблицу в соответствующих интервалах (с точностью до 10 см).

Таблица 1. Группировка отклонений при перемещении подбирающего механизма по ленте льнотресты

Показатель	Интервал, см					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Число замеров в интервале, n_i	1	5	7	21	23	4
Расчетное число $N_i = P_i \cdot k...$	1,64	8,2	11,48	34,43	37,7	6,56
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,25	1,25	1,75	5,24	5,73	1,00

Пр и м е ч а н и е. k – число разрядов; n_i и N_i – соответственно статическое и расчетное число попаданий замеров в рассматриваемый интервал.

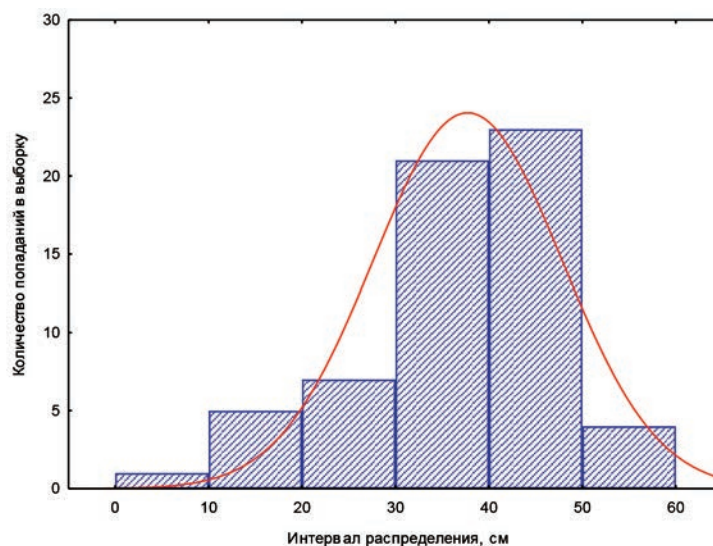


Рис. 1. Распределение отклонений движения пресс-подборщика ПРЛ-150 от ленты льна

Среднее арифметическое значение опытных данных $\bar{x} = 38,35$ см, а среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (n_i - 1) + \sum n_i (x_i - \bar{X}_\Sigma)^2}{\sum n_i - 1}} \quad (2)$$

$\bar{\sigma} = 10,12$ см.

С помощью критерия Пирсона проверим гипотезу о нормальном характере распределения рассматриваемой выборки. Теоретические вероятности попадания размеров в соответствующие интервалы находим по формуле:

$$P_i = \Phi\left(\frac{x_{i+1} - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - m}{\sigma}\right), \quad (3)$$

где Φ – нормальная функция распределения; x_i, x_{i+1} – границы i -го разряда, m – математическое ожидание [3].

Для первого разряда граничные значения

$$t_1 = (0 - 38,35) / 10,12 = -3,79; \quad t_2 = (10 - 38,35) / 10,12 = -2,84. \quad (4)$$

Следовательно,

$$P_1 = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = 0,027. \quad (5)$$

Расчетное число попаданий замеров в первый разряд

$$N_1 = P_1 N_0 = 0,027 \cdot 61 = 1,64. \quad (6)$$

Расчетные числа для других интервалов заносим в таблицу 1.

Для данного случая вероятность $P = 0,3$, что больше $0,1$ – гипотеза распределения по нормальному закону правдоподобна.

При определении доверительных интервалов математических ожиданий и дисперсий число степеней свободы будет:

$$v = k_0 - 1 = 8 - 1 = 7. \quad (7)$$

Тогда при коэффициенте степени риска $\alpha = 0,05$ по формуле:

$$\bar{x} - t_{1-\alpha/2} \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} < \Delta x < \bar{x} + t_{1-\alpha/2} \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

для дисперсии

$$\frac{\bar{\sigma}^2 v}{x_{1-\alpha/2}^2} < \sigma^2 < \frac{\bar{\sigma}^2 v}{x_{\alpha/2}^2} \quad (9)$$

получим:

$$35,13 < m < 40,31 \text{ см и } 8,83 < \sigma < 11,41 \text{ см.} \quad (10)$$

Таким образом, средняя ширина отклонения движения транспортера от валка с надежностью $0,95$ находится в пределах от $35,13$ до $40,31$ см. Отклонение дисперсии – в пределах от $8,83$ до $11,41$ см.

Аналогичные расчеты были произведены для самоходных подборщиков фирм «Depoortere» и «Dehondt». Графики распределения отклонений для данных пресс-подборщиков приведены на рис. 2 и 3.

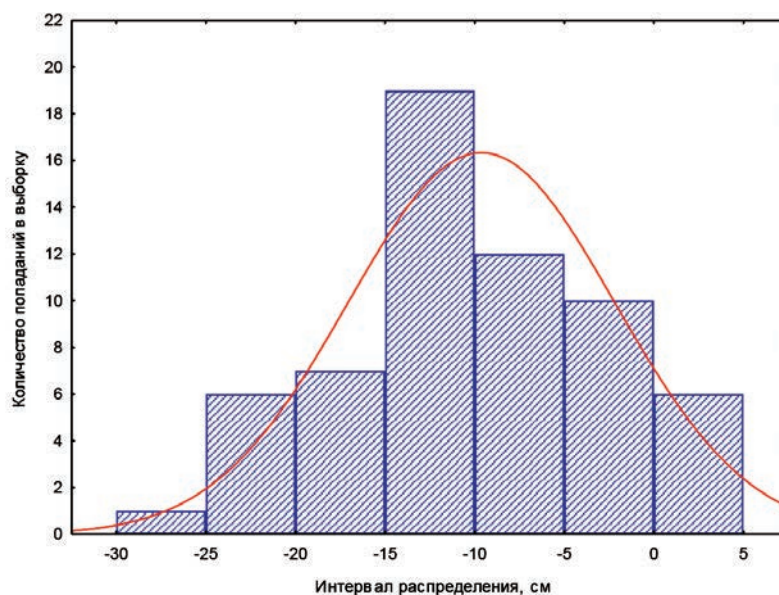


Рис. 2. Распределение отклонений движения пресс-подборщика «Depoortere» от ленты льна

Среднее арифметическое значение опытных данных $\bar{x} = -9,62$ см, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 7,44$ см.

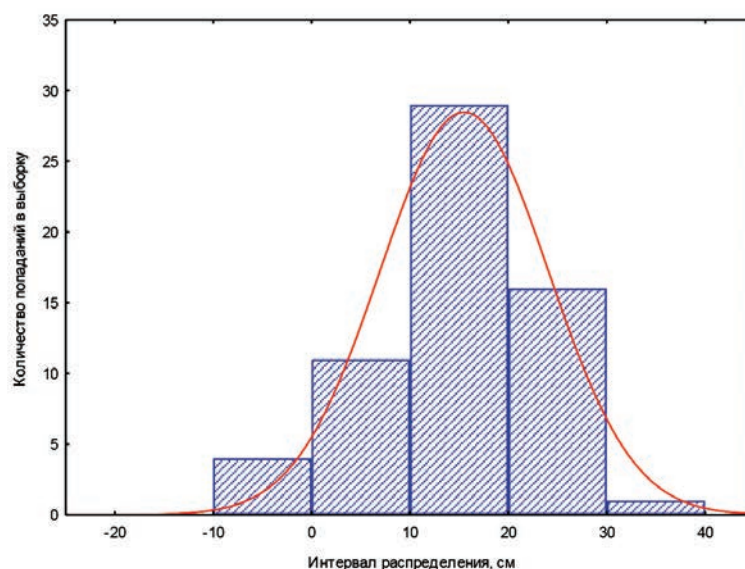


Рис. 3. Распределение отклонений движения пресс-подборщика «Dehondt» от ленты льна

Средняя ширина отклонения для «Depoortere» находится в пределах $-11,53 < m < -9,62$ см. Отклонение дисперсии $6,49 < \sigma < 8,39$ см.

Среднее арифметическое значение опытных данных $\bar{x} = 15,5$ см, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 8,54$ см.

Средняя ширина отклонения для «Dehondt» находится в пределах: $13,3 < x < 17,7$ см. Отклонение дисперсии $7,45 < \sigma < 9,63$ см.

Заклучение

Проведенные исследования влияния типа пресс-подборщика на отклонение движения от ленты льна показывают, что наименьшее отклонение от края ленты льна имеют самоходные пресс-под-

борщики «Depoortere» и «Dehondt». Колебание отклонений от края ленты находилось в пределах от 9,62 до 11,53 и от 13,3 до 17,7 см соответственно. Диапазон отклонений для прицепного пресс-подборщика ПРЛ–150 составил от 35,13 до 40,31 см. Максимальные значения неравномерности достигали 56 см (ПРЛ–150), 26 см («Depoortere») и 27 см («Dehondt»).

Применение самоходных пресс-подборщиков позволяет наилучшим образом производить подбор лент льна, что в дальнейшем будет положительно сказываться на выход длинного волокна при дальнейшей обработке.

Список использованных источников

1. Комплексный бизнес-план развития льняной отрасли Республики Беларусь на 2011–2015 гг. / М-во сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – 160 с.
2. Казакевич, П. П. Льноводство и льнопереработка в Беларуси: проблемы развития / П. П. Казакевич // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 7. – С. 4–11.
3. Венцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

И. С. Пылило, А. И. Тарима, С. П. Колешко

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Fragment-ip@yandex.by

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕПАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. Обоснованы конструктивно-технологические параметры и режимы работы трепальной установки.

Ключевые слова: слой льнотресты, трепание, рабочие органы, трепальный барабан, било, ножи, длинное волокно, рациональные конструктивные параметры, режимы работы.

I. S. Pylilo, A. I. Tarima, S. P. Koleshko

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: Fragment-ip@yandex.by

DETERMINATION OF RATIONAL DESIGN PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF THE TREPAL INSTALLATION

Abstract. The design and technological parameters and modes of operation of the trepal installation are substantiated.

Keywords: layer of flax, flapping, working bodies, flapping drum, beater, knives, long fiber, rational design parameters, operating modes.

Введение

В первичной переработке льна главным предметом производства является длинное волокно. Приоритетные задачи – это повышение выхода и качества как длинного, так и короткого льноволокна. Анализ технико-экономических показателей работы льнозаводов республики показывает, что эти показатели практически для всех льнозаводов не достигают их нормативных значений.

Важным фактором, влияющим на выход длинного волокна, является рациональный и обоснованный подбор режимов работы оборудования и параметров рабочих органов при переработке льнотресты.

Задача процесса трепания – очистка волокна от костры при сохранении природных длинноволокнистых комплексов стебля. Она решается ударными, скользящими воздействиями бильных планок трепальных барабанов на обрабатываемый материал.

Процесс трепания осуществляется на трепальных машинах. Для существующих трепальных машин характерен неизменный принцип работы, связанный с воздействием на материал посредством бильных планок, трепальных барабанов с одновременным удерживанием и перемещением материала зажимно-транспортирующим механизмом (зажимным конвейером) [1].

К регулирующим параметрам работы трепальной машины относятся скорость перемещения слоя льнотресты зажимным конвейером и угловая скорость вращения трепальных барабанов; к выходным – выход длинного волокна и массовая доля костры в полученном длинном волокне.

Основной задачей исследования процесса трепания на данном этапе выполнения задания является определение рациональных конструктивных параметров и режимов работы трепальной установки, влияющих на выход длинного волокна.

Основная часть

Для проведения экспериментальных исследований влияния параметров рабочих органов трепальных машин на выход длинного волокна силами лаборатории в соответствии с разработанной конструкторской документацией (УТ 00.00.000) был изготовлен макетный образец трепальной установки (рис. 1). Макетный образец разрабатывался по итогам анализа данных, изложенных в работах [2–5], и теоретического обоснования основных технологических и конструктивных параметров рабочих органов трепальных барабанов макетного образца.

Макетный образец установки трепальной, в соответствии с рис. 1, состоит из рамы 1, состоящей из металлических уголков, на которой смонтированы все детали и узлы макетного образца, такие как конвейер подающий 2 для равномерного перемещения льнотресты через вальцы плющильные 3, приводимые посредством электропривода 6 в движение к барабанам трепальным 4, привод которых осуществляется посредством электропривода 5.

Установка трепальная работает следующим образом: отобранные горсти льнотресты равномерным слоем раскладываются на подающем конвейере установки 2 так, чтобы стебли вершинной частью упирались в плющильные вальцы 3. Затем включают трепальные барабаны 4 и подающий конвейер. При захождении половины длины стеблей в зону работы трепальных барабанов конвейер выключается. По окончании обработки подающий конвейер включают в обратном направлении и горсти льнотресты перемещают в исходное положение. После обработки вершинной части стебли поворачивают комлевой частью к плющильным вальцам и располагают так же, как и вершинную часть. Операцию обработки повторяют.

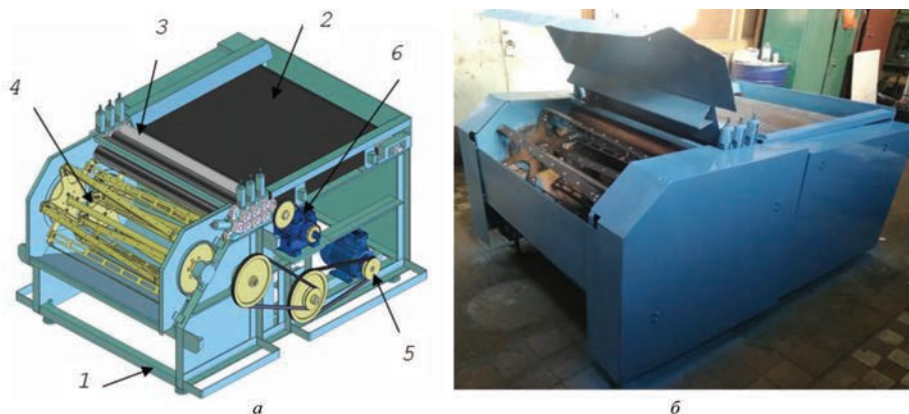


Рис. 1. Макетный образец установки трепальной: *а* – 3D модель макетного образца; *б* – общий вид макетного образца:
1 – рама; 2 – конвейер подающий; 3 – вальцы плющильные; 4 – барабаны трепальные;
5 – электропривод трепальных барабанов; 6 – электропривод подающего транспортера и плющильных вальцов

Для макетного образца трепальной установки были изготовлены экспериментальные образцы шестибильных трепальных барабанов с винтовыми билами и возможностью установки на них различных видов ножей и бильных планок (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальный образец трепальных барабанов

Изготовленные экспериментальные комплекты сменных рабочих органов (рис. 3) дали возможность устанавливать на трепальные барабаны бильные планки как с одной, так и двумя рабочими кромками, а также крепить к ним ножи с прямыми и волнообразными кромками.

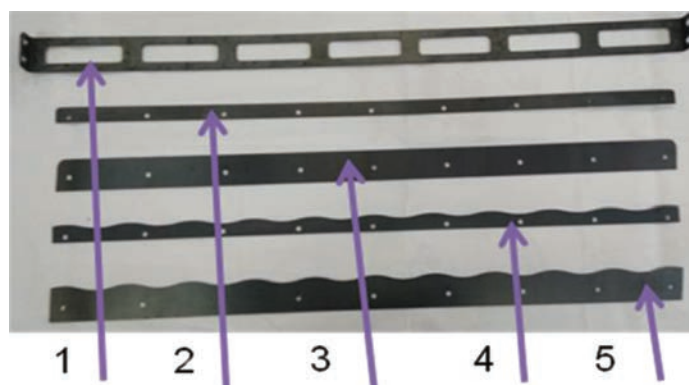


Рис. 3. Сменные рабочие органы трепальных барабанов: 1 – подбильная решетка; 2, 4 – ножи с прямой и волнообразной кромками для Г-образных бильных планок; 3, 5 – ножи с прямой и волнообразной кромками для тангенциальных и Г-образных бильных планок

Согласно разработанной программе-методике экспериментальных исследований были отобраны пробы льнотресты и проведены работы по определению внешнего вида, длины стеблей, их влажности и засоренности.

Каждую горсть льнотресты, отобранную для определения внешнего вида и засоренности, делили на две части, не допуская сорной примеси. По одной половине горстей определяли внешний вид, а по второй – засоренность. Горсти, отобранные для определения влажности, объединяли в одну общую горсть, освобождали от сора и путанины и разрезали на отрезки длиной (190 ± 3) мм, от корневой шейки и до соцветия. Отрезки стеблей перемешивали между собой и выделяли из них две навески массой (50 ± 1) г каждая, которые помещали в лабораторный сушильный шкаф.

Влажность каждой навески льнотресты вычисляли в процентах. За результат приняли среднеарифметическое значение результатов определений всех проб. Засоренность определяли путем взвешивания отобранных проб. Затем из них вручную выделяли сорняки, посторонние примеси, семенные коробочки и вновь взвешивали.

Для определения базовых параметров выхода длинного волокна в соответствии с требованиями СТБ 1194 совместно с сотрудниками ОАО «Кореличи лен» были отобраны пробы льнотресты. В условиях лаборатории льнозавода каждая отобранная проба взвешивалась.

Для проведения экспериментальных исследований отобранные горсти, не допуская потерь, раскладывали равномерным слоем на конвейере макетной установки так, чтобы стебли вершинной частью упирались в плющильные вальцы.

При длине стеблей менее расстояния от плющильных вальцов до первого указателя на бортике макетной установки горсти располагали комлевой частью на уровне первого указателя. Включали трепальные барабаны, а затем подающий конвейер. Перемещали подающий транспортер вместе с пробами на (900 ± 5) мм. После остановки конвейера проводилась обработка вершинной части трепальными барабанами. Затем включали обратный ход конвейера и возвращали его в исходное положение.

После обработки вершинной части льнотресты поворачивали стебли на 180° комлевой частью вперед и повторяли операцию для обработки комлевой части.

Каждую пробу длинного волокна после взвешивания очищали от костры и сорных примесей. Отдельно взвешивали очищенное льноволокно.

Экспериментальные исследования проводили на различных рабочих органах путем их установки на трепальные барабаны.

Параметр оптимизации обозначен символом γ , и в качестве него был принят выход длинного волокна, измеряемый в процентах.

За факторы процесса (x_1, x_2, x_3), влияющие на показатель параметра оптимизации, были приняты скорость движения транспортера V_{mp} (м/мин.), время трепания T_{mp} (с) и частота вращения барабанов n (об/мин.) (табл. 1).

Таблица 1. Перечень регулировочных факторов, характеризующих процесс трепания льна

Тип машин	Факторы		
	x_1	x_2	x_3
Трепальная установка	V_{mp}	T_{mp}	n

Скорость движения конвейера и частоту вращения барабанов изменяли при помощи частотных регуляторов, подключенных к их приводам, а фактические значения определяли при помощи тахометра, время трепания измеряли секундомером.

Выбор уровней значений для каждого из факторов, включенных в эксперимент, составил: для $V_{mp} = 1,0-10,0$ м/мин., $T_{mp} = 5-15$ с, $n = 100-120$ об/мин. Для каждого фактора определяли основной уровень и интервал варьирования.

Для проведения полнофакторного эксперимента построили план-матрицу проведения опытов с реализацией всех возможных сочетаний упорядоченных комбинаций факторов (табл. 2).

Таблица 2. План-матрица проведения опытов

№ опыта	$x_1 \rightarrow V_{mp}$	$x_2 \rightarrow T_{mp}$	$x_3 \rightarrow n$
1	1,00	5	100
2	10,00	5	100
3	1,00	15	100
4	10,00	15	100
5	1,00	5	120
6	10,00	5	120
7	1,00	15	120
8	10,00	15	120

Для записи априорных сведений о факторах процесса, записи верхних, нижних и основных уровней варьирования факторов, интервалов варьирования, плана матрицы планирования, результатов эксперимента, промежуточных и конечных результатов расчета, для проверки воспроизводимости эксперимента, значимости коэффициентов, проверки адекватного описания процесса составили и заполнили журнал планирования эксперимента.

После проведения исследований получили функцию отклика в зависимости от натуральных значений:

$$y = 138,63 - 59,48 \cdot T_{mp} - 1,009 \cdot n - 10,234 \cdot V_{mp} + 0,45 \cdot V_{mp} \cdot T_{mp} + 0,1 \cdot V_{mp} \cdot n + 0,054 \cdot T_{mp} \cdot n - 0,0047 \cdot V_{mp} \cdot T_{mp} \cdot n.$$

При анализе функции отклика по влиянию факторов получены следующие значения:

– при максимальной скорости транспортера $V_{mp} = 10$ м/мин с минимальными временем трепания $T_{mp} = 5$ с и минимальной частотой вращения барабанов $n = 100$ об/мин выход длинного волокна составил 31,65 %;

– при минимальной скорости $V_{mp} = 1$ м/мин, с максимальным временем трепания $T_{mp} = 15$ с и минимальной частотой вращения барабанов $n = 100$ об/мин выход длинного волокна снижается до 28,9 %;

– при минимальной скорости транспортера $V_{mp} = 1$ м/мин с минимальными временем трепания $T_{mp} = 5$ с и максимальной частотой вращения барабанов $n = 120$ об/мин выход длинного волокна составил 21,2 %.

Из полученных данных следует, что на выход длинного волокна наибольшее влияние оказывает скорость конвейера, так как при испытании макетного образца этот показатель имитировал

конусность трепального барабана, который значительно уменьшает обрывы тресты при заходе на него. Влияние фактора времени трепания также оказывает значительное влияние. Так, при минимальном времени трепания может наблюдаться недотреп тресты, а при увеличении времени трепания более 20 с будет происходить обрыв льноволокна, и тем самым уменьшится его выход. Частота вращения барабанов при экспериментальных исследованиях взята в коротких уровнях варьирования от 100 до 120 об/мин, это связано с тем, что на выход длинного волокна в большей степени влияет количество воздействий, а при большей частоте вращения пришлось бы сократить время трепания, что затруднит проведение исследований.

Рациональные режимы работы трепальной установки выбирали из условия максимального выхода длинного волокна. Для обоснования конструктивных решений по полученному уравнению регрессии был построен график зависимости выхода длинного льноволокна от времени трепания при применении различных типов рабочих органов при частоте вращения трепальных барабанов 100 и 120 об/мин (рис. 4, 5).

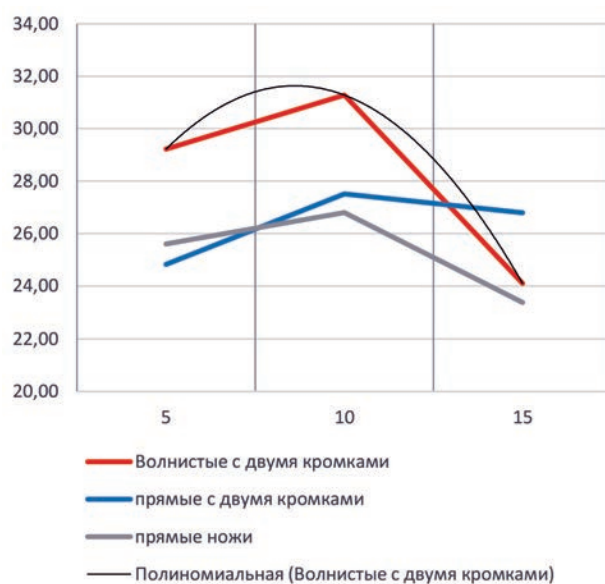


Рис. 4. График зависимости выхода длинного волокна от времени обработки при частоте вращения трепальных барабанов 100 об/мин

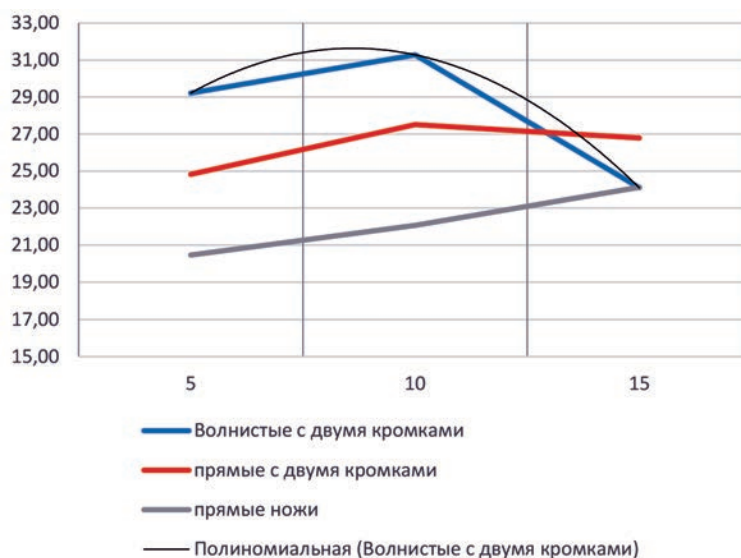


Рис. 5. График зависимости выхода длинного волокна от времени обработки при частоте вращения трепальных барабанов 120 об/мин

Анализируя графические зависимости выхода длинного льноволокна от времени трепания при применении различных типов рабочих органов, можно сделать вывод, что оптимальными параметрами работы обладают волнистые рабочие органы с двумя кромками при частоте вращения трепальных барабанов от 100 до 120 об/мин, времени трепания от 8 до 12 с и скорости подающего конвейера порядка 5 м/мин.

Заключение

При анализе функции отклика по влиянию факторов получены следующие значения:

– при максимальной скорости транспортера $V_{тр} = 10$ м/мин с минимальным временем трепания $T_{тр} = 5$ с и минимальной частотой вращения барабанов $n = 100$ об/мин выход длинного волокна составил 31,65 %;

– при минимальной скорости транспортера $V_{тр} = 1$ м/мин, с максимальным временем трепания $T_{тр} = 15$ с и минимальной частотой вращения барабанов $n = 100$ об/мин выход длинного волокна снижается до 28,9 %;

– при минимальной скорости транспортера $V_{тр} = 1$ м/мин с минимальным временем трепания $T_{тр} = 5$ с и максимальной частотой вращения барабанов $n = 120$ об/мин выход длинного волокна составил 21,2 %.

Из полученных данных следует, что на выход длинного волокна наибольшее влияние оказывает скорость конвейера, так как при испытании макетного образца этот показатель имитировал конусность трепального барабана, который значительно уменьшает обрывы тресты при заходе на него. Влияние фактора времени трепания также оказывает значительное влияние. Так, при минимальном времени трепания может наблюдаться недотреп тресты, а при увеличении времени трепания более 20 с будет происходить обрыв льноволокна, и тем самым уменьшится его выход. Частота вращения барабанов при экспериментальных исследованиях взята в коротких уровнях варьирования от 100 до 120 об/мин, это связано с тем, что на выход длинного волокна в большей степени влияет количество воздействий, а при большей частоте вращения пришлось бы сократить время трепания, что затруднит проведение исследований.

Анализируя графические зависимости выхода длинного льноволокна от времени трепания при применении различных типов рабочих органов, можно сделать вывод, что оптимальными параметрами работы обладают волнистые рабочие органы с двумя кромками при частоте вращения трепальных барабанов от 100 до 120 об/мин, времени трепания от 8 до 12 с и скорости подающего конвейера порядка 5 м/мин.

Список использованных источников

1. Дьячков, В. А. Теоретическое обоснование технологических и конструктивных параметров машин для производства длинных волокон льна : дис. ... докт. техн. наук : 05.19.02 ; 05.02.13 / В. А. Дьячков. – Кострома, 2003. – 230 л.
2. Дьячков, В. А. Проектирование машин для первичной обработки лубяных волокон: учеб. пособие / В. А. Дьячков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2006. – 208 с.
3. Катков, А. А. Управление режимом работы мяльно-трепального агрегата в зависимости от влажности льнотресты : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / А. А. Катков. – Кострома, 2008. – 187 л.
4. Петров, С. С. Оптимизация режимов технологического процесса первичной обработки льнотресты за счет применения комплекса автоматического контроля технологических параметров льнотресты / С. С. Петров, В. Г. Дроздов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 4 С. – С. 37–41.
5. Новиков, Э. В. Обоснование технологических параметров нового процесса трепания льна / Э. В. Новиков, Б. И. Смирнов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000. – № 5. – С. 23–26.

П. П. Бегун, В. В. Микульский

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: mehposev@mail.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИАМЕТРА КАТКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД МЕЛКОСЕМЯННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Аннотация. В статье приведена аналитическая зависимость, позволяющая определить минимальный диаметр почвообрабатывающего катка с точки зрения его беспрепятственного перекаатывания через почвенные комки, находящиеся на обрабатываемом поле, с обеспечением требуемых показателей качества выполнения технологического процесса прикатывания почвы.

Ключевые слова: почвообрабатывающий каток, крошение, уплотнение, предпосевная обработка почвы.

P. P. Behun, V. V. Mikulski

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: mehposev@mail.ru*

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE DIAMETER OF THE ROLLER WORKING BODY FOR PRE-PLANT SOIL TILLAGE FOR SMALL-SEED CROPS

Abstract. The article presents an analytical relationship that allows us to determine the minimum diameter of a soil-cultivating roller from the point of view of its unhindered rolling through soil clods located on the cultivated field, ensuring the required quality indicators for the technological process of soil rolling.

Key words: tillage roller, crumbling, compaction, pre-sowing tillage.

Введение

Важнейшим аспектом получения дружных всходов является влияние агрегатного состава почвы. По данным ряда исследователей [1, 2], оптимальным фракционным составом поверхностного слоя почвы для снижения потерь влаги на физическое испарение являются агрегаты размерами 5–10 мм. Они лучше удерживают почвенную влагу, образуя эффективный мульчирующий слой. Крупные частицы, 10–20 мм и больше, значительно уменьшают количество всходов, а каждый процент крупной фракции снижает всхожесть на 1–2 % [3]. К тому же крупнокомковатая поверхность почвы значительно увеличивает потери влаги и отрицательно влияет на одновременное появление всходов культурных растений.

Качество прикатывания зависит от размеров и массы катков. Каток с малым диаметром действует преимущественно на поверхностные слои, тогда как катки с большим диаметром равномерно уплотняют и глубокие слои почвы. При увеличении диаметра катка уменьшается тяговое сопротивление орудия. Поэтому желательно, чтобы диаметр катков был не менее 40 см, что делает их движение по полю более равномерным.

Целью данной работы является теоретическое обоснование диаметра катковых рабочих органов, обеспечивающих дробление почвенных комков с требуемым качеством, удовлетворяющим агротехническим требованиям.

Основная часть

В результате обзора и анализа известных конструкций катков нами был обоснован выбор типа почвообрабатывающего катка для предпосевной подготовки почвы под мелкосемянные культуры.

Им является кольчато-шпоровый каток, состоящий из диска 2, по периферии которого установлены под некоторым углом перпендикулярно диску уплотняющие пластины 1 (рис. 1).

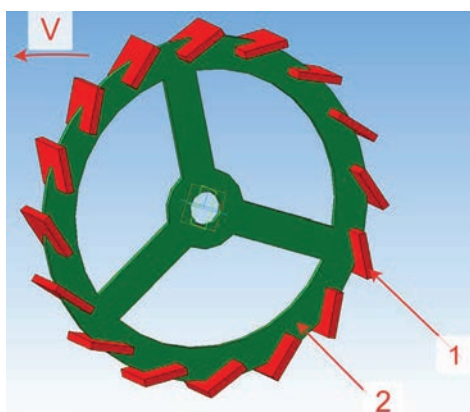


Рис. 1. Конструкция кольчато-шпорового почвообрабатывающего рабочего органа:
1 – уплотняющая пластина; 2 – диск

При движении почвообрабатывающего агрегата происходит вращение кольчато-шпорового катка за счет сцепления с почвой. Процесс взаимодействия катка с почвой включает этап внедрения, движения в почвенном слое, выход из него. Пластинчатые уплотняющие элементы катка входят в почву под некоторым углом, уплотняют ее, дробят комки и далее выходят из нее, поднимая при этом за счет сил трения некоторый тонкий слой почвы, которым мульчируют обрабатываемый поверхностный слой. В результате этого почва крошится, частично оборачивается и перемешивается. С учетом этого работа катка оценивается показателями крошения и уплотнения посевного ложа.

В соответствии с рекомендациями Н. И. Кленина и В. А. Сакуна [4], диаметр прикатывающего катка принимается из условия максимального размера разрушаемых почвенных комков или из условия обеспечения возможности перекаtywания через почвенные комки, которое сопровождается их разрушением или вдавливанием в почву.

Данное условие в аналитической форме имеет следующий вид:

$$D_k \geq \frac{2h_{k \max}}{1 - \cos \beta}, \quad (1)$$

где D_k – диаметр прикатывающего катка, м; $h_{k \max}$ – максимальная высота почвенного катка, м; β – угол защемления почвенного комка, град.

Угол защемления почвенного комка катком определяется по формуле:

$$\beta = \varphi_n + \varphi_k, \quad (2)$$

где φ_n – угол трения почвы о почву, град; φ_k – угол трения почвы о материал катка, град.

Для нормальной работы и выполнения требований по качеству обработки почвы предлагаемому катку необходимо разрушать почвенные комки, создавая мульчированный слой на поверхности почвы и уплотнять почву в зоне укладки семян до значения, заданного агротребованиями.

При воздействии катка на крупный почвенный комок может произойти его дробление на более мелкие фракции или вдавливание в поверхностные слои почвы без разрушения. Реализация процессов крошения или вдавливания почвенного комка зависит от многих различных факторов: от суммы сил, приложенных к почвенному комку со стороны катка, от свойств почвы, а также от конструктивных параметров катка и режимов его работы. «Крошение комка почвы при воздействии на него почвообрабатывающего катка может произойти только тогда, когда напряжение σ_k , происходящее за счет давления наружной поверхности катка, превышает временное сопротивление деформации сжатия почвы $\sigma_{поч}$, которое выше допустимого напряжения сжатия, разрушающего комки почвы $\sigma_{ком}$ » [5]. Данное условие можно записать в следующем виде: $\sigma_k > \sigma_{поч} > \sigma_{ком}$.

Зачастую представленное выше неравенство не выполняется в связи с тем, что пересушенные комки имеют повышенную твердость. При таком условии допустимое напряжение сжатия, разрушающее комки почвы $\sigma_{ком}$, значительно повышается, что нередко приводит к вдавливанию крупных комков. В результате вдавливания происходит переуплотнение почвы, что критически сказывается на урожайности возделываемых культур.

Для качественного крошения комков почвы почвообрабатывающим катком нужно определить условие защемления почвенного комка между наружной поверхностью катка и поверхностью почвы. Условие защемления зависит от диаметра почвообрабатывающего катка.

При воздействии почвообрабатывающего катка на комок почвы возникает сила $F_{ц}$, которая характеризует действие почвообрабатывающего катка на почвенный комок и воздействие почвы F_n на почвенный комок (рис. 2).

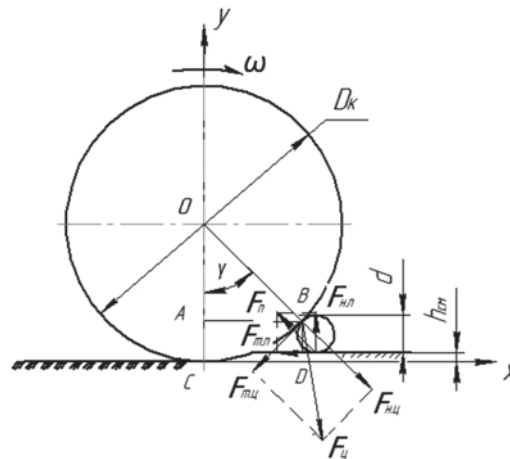


Рис. 2. Схема взаимодействия почвообрабатывающего катка с почвенным комком

При разложении этих двух сил мы получаем их нормальные составляющие $F_{ц,n}$ и $F_{n,n}$ и силы трения $F_{m,ц}$ и $F_{m,n}$. Если при сложении проекций двух сил трения на ось X полученная сумма будет больше значения суммы сил, которые спроецированы на ось X и направлены на выталкивание почвенного комка из-под почвообрабатывающего катка, то в этом случае комок почвы останется неразрушенным, вследствие чего произойдет его вдавливание в верхний слой почвы. Но если наоборот, сумма сил, направленных на выталкивание почвенного комка и спроецированных на ось X , окажется больше суммы сил трения, спроецированных на эту же ось, то почвенный комок, не разрушаясь, будет выталкиваться вперед почвообрабатывающего катка. В результате выталкивания почвенного комка будет образовываться почвенный валик перед почвообрабатывающим катком.

Рассмотрим исходные условия взаимодействия почвообрабатывающего катка с почвенным комком.

Для упрощения расчета примем, что почвообрабатывающий каток катится по поверхности почвы без проскальзывания, деформации поверхности почвы не происходит, а почвенный комок, лежащий на ее поверхности, имеет форму шара, максимальный диаметр d_{max} которого не превышает максимально заданного агротехнологическими требованиями. Условие защемления определяется из уравнений проекций суммы всех сил на оси X и Y , кроме веса почвенного комка, которым пренебрегаем:

$$\sum F_{kx} = F_{н,ц} \sin \gamma - F_{m,ц} \cos \gamma - F_{m,n} = 0; \quad (3)$$

$$\sum F_{ky} = F_{н,n} - F_{н,ц} \cos \gamma - F_{ц} = 0, \quad (4)$$

где $F_{н,ц}$ – нормальная составляющая силы воздействия почвообрабатывающего катка на почвенный комок, Н; $F_{m,ц}$ – сила трения почвообрабатывающего катка о почвенный комок, Н; $F_{m,n}$ – сила трения почвенного комка о поверхность почвы, Н; $F_{н,n}$ – нормальная составляющая воздействия

поверхности почвы на почвенный комок H ; γ – угол защемления обода почвообрабатывающего катка с почвенным комком, град.

Выразим силы трения катка и почвы через общеизвестную формулу

$$F_{m.ц} = \mu_1 F_{н.ц}, \quad (5)$$

$$F_{m.n} = \mu_2 F_{н.n}, \quad (6)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты трения почвообрабатывающего катка об почвенный комок и об поверхность почвы соответственно.

Подставив в уравнения (3) и (4) выражения (5) и (6), получим следующее:

$$\sum F_{kx} = F_{н.ц} \sin \gamma - \mu_1 F_{н.ц} \cos \gamma - \mu_2 F_{н.n} = 0; \quad (7)$$

$$\sum F_{ky} = F_{н.n} - F_{н.ц} \cos \gamma - \mu_1 F_{н.ц} \sin \gamma = 0. \quad (8)$$

Из полученного уравнения (8) выразим силу, которая характеризует взаимодействия почвенного комка с поверхностью почвы:

$$F_{н.n} = F_{н.ц} \cos \gamma + \mu_1 F_{н.ц} \sin \gamma. \quad (9)$$

Получившееся уравнение (9) подставим в уравнение (7):

$$\sum F_{kx} = F_{н.ц} \sin \gamma - \mu_1 F_{н.ц} \cos \gamma - \mu_2 F_{н.ц} \cos \gamma - \mu_1 \mu_2 F_{н.ц} \sin \gamma = 0. \quad (10)$$

Математически преобразовав уравнение (10), получим:

$$(1 - \mu_1 \mu_2) \sin \gamma = (\mu_1 + \mu_2) \cos \gamma. \quad (11)$$

Разделив обе части уравнения (11) на $\cos \gamma$, получим:

$$\operatorname{tg} \gamma = (\mu_1 + \mu_2) / (1 - \mu_1 \mu_2). \quad (12)$$

Таким образом, для надежного защемления комка почвы почвообрабатывающим катком необходимо, чтобы:

$$\operatorname{tg} \gamma \geq (\mu_1 + \mu_2) / (1 - \mu_1 \mu_2). \quad (13)$$

Откуда следует, что надежное защемление почвенного комка почвообрабатывающим катком возникает в случае, если угол контакта почвообрабатывающего катка с почвенным комком удовлетворяет выражению:

$$\gamma \geq \operatorname{arctg} [(\mu_1 + \mu_2) / (1 - \mu_1 \mu_2)]. \quad (14)$$

Диаметр почвообрабатывающего катка D_k можно определить, исходя из зависимости, связывающей толщину слоя, деформируемого почвообрабатывающим катком $h_{см}$, а также диаметр почвенного комка d_{\max} и оптимальный угол защемления γ .

Обозначим расстояние от точки контакта почвообрабатывающего катка с поверхностью почвенного комка до необработанной поверхности почвы BD (рис. 2), которое определим из следующей зависимости:

$$BD = h_{см} + 0,5d_{\max} + d_{\max} \cos \gamma \quad (15)$$

или

$$BD = h_{см} + 0,5d_{\max} + [1 + \cos \gamma]d_{\max}. \quad (16)$$

где $h_{см}$ – толщина сминаемого слоя почвы, м; d_{\max} – максимальный диаметр почвенного комка, м; γ – угол защемления комка почвообрабатывающим катком.

Расстояние $AC = BD$, оно определяется из следующего уравнения:

$$AC = BD = 0,5D_k + 0,5D_k \cos \gamma = 0,5D_k [1 + \cos \gamma]. \quad (17)$$

Из уравнения (17) выражаем D_k :

$$D_k = \frac{BD}{0,5[1 + \cos \gamma]}. \quad (18)$$

С учетом уравнений (16) и (14) получим минимальный диаметр почвообрабатывающего катка:

$$D_{k \min} = \frac{h_{cm} + 0,5d_{\max} \left[1 + \cos \left\{ \arctg \left[\frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2} \right] \right\} \right]}{0,5 \left[1 - \cos \left\{ \arctg \left[\frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2} \right] \right\} \right]}. \quad (19)$$

Зависимость угла зацемяния почвенного комка от радиуса почвообрабатывающего катка R_k соответственно:

$$\gamma \geq \arctg \left[\frac{R_{k \min} - h_{cm} - r_{\max}}{R_{k \min} + r_{\max}} \right]. \quad (20)$$

Формула (19) описывает взаимосвязь между минимальным диаметром почвообрабатывающего катка, толщиной деформируемого слоя почвы, наибольшим диаметром почвенных комков, заданных агротребованиями, коэффициентом трения между наружной поверхностью почвообрабатывающего катка и почвенным комком и коэффициентом трения между поверхностями комка и почвы.

Для расчетов и определения диаметра катка по выражению (19) примем следующие исходные данные [6, 7]:

- коэффициент трения почвообрабатывающего катка о почвенный комок $\mu_1 = 0,8-1,0$;
- коэффициент трения почвенного комка об поверхность почвы $\mu_2 = 0,3$;
- высота почвенного комка $d_{\max} = 0,01-0,07$ м, влажность почвы 16–18 %.

Результаты расчетов представлены на рис. 3.

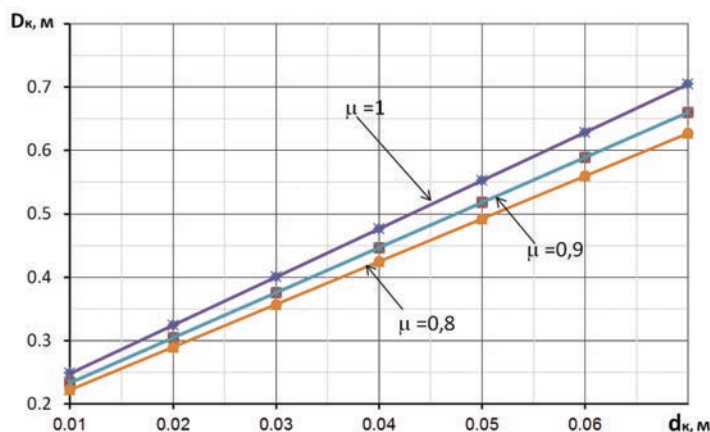


Рис. 3. График зависимости диаметра почвообрабатывающего катка от размера почвенных комков при различных углах трения почвенных комков о сталь

Закключение

Анализ графических зависимостей (рис. 3) позволяет сделать вывод, что с увеличением размера почвенных комков на поверхности обрабатываемого поля необходимо использовать катки

большого диаметра. Однако с учетом агротехнических требований, предъявляемых к основной обработке почвы, согласно которым основная масса комков (более 70 %) на подготавливаемом поле не должна превышать 0,05 м, принимаем диаметр почвообрабатывающего катка равным 0,5 м.

Список использованных источников

1. Руденко, Н. Е. Механизация ухода за пропашными культурами: учеб. пособие / Н. Е. Руденко. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – 88 с.
2. Медведев, В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 159 с.
3. Прикаточные катки сеялок: конструкционные преимущества, недостатки и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://propozitsiya.com/ua/prykochuvalni-kotky-sivalok-konstrukciyni-perevagy-nedoliky-ta-perspektivu-rozvytku>. – Дата доступа: 28.09.2023.
4. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н. И. Кленин, В. А. Сакур. – М.: Колос, 1994. – 751 с.
5. Казьмин, Г. Т. Проблемы освоения мелиоративной системы земледелия в хозяйствах Дальнего Востока / Г. Т. Казьмин // Земледелие. – 1986. – № 2. – С. 8–11.
6. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – 323 с.
7. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

**В. М. Константинов¹, В. В. Голдыбан², И. И. Вегера³, А. С. Воробей²,
М. И. Курилович², А. Н. Антоненко²**

¹Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: materialovedenie@tut.by

²РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru

³ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь

ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС УПРОЧНЕННЫХ КУЛЬТИВАТОРНЫХ ЛАП

Аннотация. Проведение испытаний стрелчатых лап культиватора на износ. Результаты получены при испытаниях лап на экспериментальной установке для исследования на износ.

Ключевые слова: испытания, рабочие органы, круговой почвенный стенд, износ.

V. M. Konstantinov¹, V. V. Goldyban², I. I. Vegeza³, A. S. Verabei², M. I. Kurylovich², A. N. Antonenko²

¹Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: materialovedenie@tut.by

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru

³SSI “Physical-technical Institute of the NAS of Belarus”
Minsk, Republic of Belarus

WEAR TESTS OF REINFORCED CULTIVATION SHEETS

Abstract. Testing the paw cultivator for wear. The results were obtained by testing the paw in an experimental wear research facility.

Keywords: testing, working parts, circular soil stand, wear.

Введение

Важнейшим направлением повышения технического уровня почвообрабатывающих машин было и остается увеличение ресурса их рабочих органов. Интенсификация почвообработки, повышение энергонасыщенности сельскохозяйственной техники обостряют эту проблему.

В результате интенсивного абразивного изнашивания изменяются геометрия режущей части и общие размеры рабочих органов, что является причиной нарушения агротехнических требований, снижения качества обработки почвы, повышения энергетических затрат. Вынужденная частая замена деталей рабочих органов снижает производительность труда и повышает затраты на обработку.

Основная часть

Стрелчатая лапа является основным рабочим органом культиваторов для сплошной и между-рядной обработки почвы. Основное ее назначение – борьба с сорной растительностью и рыхление почвы. Размеры и форма стрелчатой лапы характеризуются углом раствора, углом крошения, углом заточки, длиной лезвия и шириной захвата. По мере эксплуатации в результате изнашивания практически все эти параметры изменяются, снижая работоспособность лапы.

В результате изнашивания носовой части увеличивается радиус режущей кромки, косое резание переходит в категорию фронтального резания, вследствие чего повышается сопротивление, снижается заглубляющая способность лапы, нарушается равномерность глубины обработки.

С целью продления срока службы стрелчатых лап нами выполнено упрочнение их режущей части с помощью локальной индукционной закалки и наплавки твердосплавными электродами. В работе использовали доэвтектоидные низколегированные стали.

Упрочненные и стандартные стрелчатые лапы испытывали в условиях интенсивного абразивного изнашивания незакрепленной массой абразивной почвенной смеси. Испытания стрелчатых лап культиватора проводились на круговом почвенном стенде (непрерывного действия) (рис. 1) в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [1].

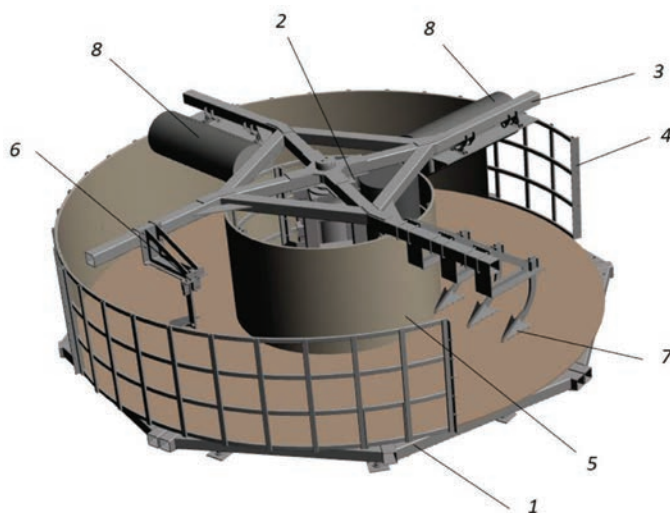


Рис. 1. Экспериментальная установка (общий вид): 1 – основание, 2 – механизм привода, 3 – рамка, 4 и 5 – наружное и внутреннее ограждения, 6 – исследуемый рабочий орган, 7 – рыхлящие рабочие органы, 8 – прикатывающие катки

При подготовке к проведению испытаний почва в установке представляет собой смесь песка (66 %), ила (17 %) и глины (17 %). Согласно общей классификации, почва данной структуры относится к супесчаной. В данной почве кварцевые частицы составили 75–85 % от объема. Эти частицы имеют значение твердости по Бринеллю до 1130 НВ. Частицы кварца наряду с высокой твердостью обладают высокой угловатостью и не являются когезионными, в то время как частицы глины имеют низкую твердость, низкую угловатость и являются когезионными.

Геометрические параметры исследуемых стрелчатых культиваторных лап: ширина захвата – 250 мм; длина лезвия – 200 мм.

Лапа № 1 серийная лапа (без упрочнений). Сталь лапы 36 Мп В5 (табл. 1). Твердость 30 HRC.

Таблица 1. Химический состав стали

C	Si	Mn	P	S
0,33–0,38	< 0,3	0,8–1,1	0,025	< 0,025

На базе лапы № 1 были сделаны упрочнения лап № 2 и № 3.

Лапа № 2: термическое упрочнение токами высокой частоты до твердости 50 HRC по контуру с последующим охлаждением в масле. Температура нагрева масла 920–960 °С, ширина закаленного участка составила 12 мм.

Лапа № 3 упрочнена наплавкой с помощью электрода Оливер 600 (DIN 8455: E6-UM-60GP) – универсального электрода для наплавки износостойчивого слоя на детали из стали, подвергающиеся абразивному износу, износу металл-металл, сильным ударам и давлению. В табл. 2 представлена массовая доля элементов в наплавленном слое.

Таблица 2. Химический состав наплавленного слоя

Условное обозначение электродов (марка /тип)	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Mb	Ti	B	S	P
Оливер 600 DIN 8455: E6-UM-60GP	≤ 0,5	2,0–2,5	0,3–0,6	8,0–11,0	–	–	–	≤ 0,03	≤ 0,04

Твердость после наплавки 3 слоев: без термообработки – HRC 56; одного слоя на детали из марганцовистой стали – HRC22; второго слоя на детали из марганцовистой стали – HRC40.

При испытаниях все исследуемые стрелчатые лапы были установлены на глубине 100 мм от поверхности почвы. Для корректировки их положения на стойках было проведено их окрашивание с последующей притиркой на установке. По характеру истирания корректировалось их положение на стойке.

Каждый опыт проводится в течение 6–8 часов со средней скоростью 4,38 км/ч. При более высокой скорости происходило пересыпание почвы уплотняющими катками через ограждение экспериментальной установки. После завершения опыта фиксировалась потеря массы дограмма весовым методом. Увлажнение почвы осуществлялось через 3–4 дня работы установки интенсивным смачиванием поверхности почвы из шланга и последующим перемешиванием увлажненных слоев во время работы установки.

Относительные потери массы (ПМ) на гектар в результате износа рассчитывали путем деления разницы между начальной массой рабочего органа ($M_{нач}$) и его фактической новой массой после испытаний ($M_{износ}$) на площадь обработки ($S_{обр}$):

$$ПМ = \frac{(M_{нач} - M_{износ})}{S_{обр}}, \text{ г/га.} \quad (1)$$

Площадь обработки рассчитывалась исходя из пройденного лапой пути за время испытаний и междурядья картофеля. В расчете принималось междурядье 75 см. Путь, пройденный лапой, рассчитывался исходя из плеча, на котором находилась исследуемая лапа от центра вращения, и частоты вращения рамки, на которой крепилась стойка с рабочим органом.

В качестве примера приведем расчет потери массы серийной лапой.

Начальные условия: вес лапы до начала испытаний 1525 г, продолжительность испытаний 24 ч, расстояние от стойки лапы до оси вращения рамки установки 1475 мм, частота вращения рамки 10 об/мин.

Известно, что за 1 минуту рабочий орган совершает 10 оборотов, тогда за период испытаний количество оборотов рабочего органа составит $24 \text{ ч} \times 60 \text{ мин} \times 10 \text{ об.} = 14\,400 \text{ об.}$

На плече 1475 мм лапа за один оборот проходит путь 9,26 м. Тогда за 14 400 оборотов ее путь составит $14\,400 \text{ об.} \times 0,00926 \text{ км} = 133 \text{ км.}$ При обработке одной лапой междурядья в 75 см площадь обработки за 24 ч работы составит 10 га.

По выражению (1) определим потерю массы на гектар:

$$ПМ = \frac{(1525 - 1450)}{10} = \frac{75}{10} = 7,5 \text{ г/га.}$$

Результаты испытаний представлены в табл. 3 и на рис. 2.

Как показали экспериментальные исследования, упрочнение режущей кромки позволяет существенно уменьшить потерю массы стрелчатой лапы в ходе абразивного изнашивания. Так, закалка токами высокой частоты позволяет снизить потерю массы лапы по сравнению с серийным образцом на 45 % (рис. 3), а упрочнение наплавкой – на 18 %.

С одной стороны, как мы видим, применение термического упрочнения режущей кромки токами высокой частоты позволяет значительно замедлить потерю металла, с другой стороны, упрочненное таким образом лезвие лапы на протяжении всего опыта становилось все более тупым.

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований

Показатели	Стрельчатая лапа		
	№ 1	№ 2	№ 3
Упрочнение	Серийная	Термическое упрочнение	Упрочнение сферическими валиками
Наработка, га	74	69	73
Масса лапы до испытаний, г	1530	1525	1655
Масса лапы после испытаний, г	979	1222	1168
Потеря массы, г	591	303	487
Износ, г/га	8,0	4,36	6,60
Степень снижения износа, %		45	18



a

б

Рис. 2. Экспериментальная лапа № 1 (серийная): *a* – вид сбоку; *б* – вид снизу



a

б

Рис. 3. Экспериментальная лапа № 2 (термоупрочнение токами высокой частоты): *a* – вид спереди; *б* – вид снизу

Как известно, долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин определяется двумя группами факторов [2]:

- обеспечение функциональной работоспособности рабочего органа при сохранении его целостности и режущей кромки;
- снижение интенсивности абразивного изнашивания.

Зачастую именно проблема сохранения остроты режущей кромки является лимитирующим фактором работоспособности рабочего органа [3]. Многочисленными исследованиями ранее были установлены различные механизмы изнашивания, обеспечивающие самозатачивание режущей кромки [2, 4, 5 и др.]. В целом авторы отмечают, что для самозатачивания необходимо наличие градиента абразивной износостойкости по сечению режущей кромки. Как правило, самозатачивание более устойчиво обеспечивается в условиях сильного абразивного изнашивания, что характерно для плужных лемехов и долотьев, работающих в тяжелых почвенно-климатических условиях. Для стрельчатых лап пропашных культиваторов условия работы менее жесткие – абразивное воздействие культурного почвенного слоя существенно ниже. Поэтому реализация самозатачивания является более сложной научно-технической задачей.

Индукционная закалка, по сути, обеспечивает равномерное упрочнение режущей кромки без градиента механических свойств. Ожидаемым является повышение абразивной износостойкости

кромки. Однако самозатачивания в этом случае не наблюдается. Это является неприемлемым для стрелчатых лап пропашных культиваторов, которые в процессе эксплуатации должны сохранять остроту режущей кромки достаточной для подрезания сорной растительности. Это требование ко всем стрелчатым лапам определяет их функциональную эффективность.

Следует отметить, однако, что упрочнение токами высокой частоты является простым, дешевым способом повышения абразивной износостойкости. Индукционная закалка сталей широко распространена в машиностроении. Поэтому возможно серийное упрочнение стрелчатых культиваторных лап в промышленных условиях. Однако для обеспечения самозатачивания рабочих органов для междурядной обработки пропашных культур требуется проведение дополнительных исследований. Речь идет о разработке способов для местного нагрева упрочненных локальных областей для обеспечения эффекта самозатачивания в процессе эксплуатации.

Основная причина замедления на 18 % абразивного изнашивания лапы № 3 (рис. 4), упрочненной наплавленными сферическими валиками, связана с изменением характера перемещения почвы по поверхности лапы. Наплавленные валики выполняют функцию турбулизаторов почвенного потока, с тыльной стороны которых происходит отрыв движущейся почвенной массы и дальнейшее ее присоединение ближе к заднему краю лапы.

Согласно выполненным нами ранее исследованиям (рис. 5) с тыльной стороны сферического выступа образуется область сильно замедленного течения, некая мертвая зона, в которой скорость перемещения почвенной массы близка к нулю. Почва, попавшая на эту поверхность, задерживается и не сходит с нее.



Рис. 4. Изношенная лапа № 3: а – вид сбоку; б – вид снизу

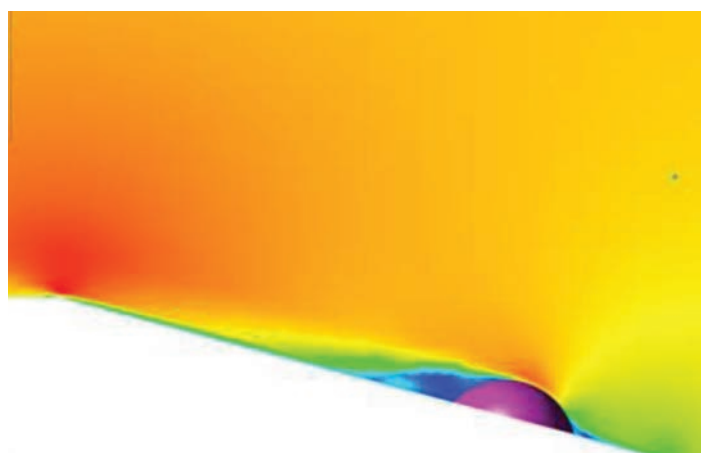


Рис. 5. Поля скоростей за сферическими выступами лапы № 3

По мере износа основного материала наблюдалось заострение режущего края и образование волнистого профиля режущей кромки (рис. 4, б). Острота режущей кромки сохранялась на протяжении всего периода проведения исследований. Использование наплавленных полусфер вдоль наружной стороны режущей кромки формирует зубчатый профиль режущей кромки для уменьшения интенсивности изнашивания лезвия и более эффективного подрезания корней сорняков.

Заключение

Объемное упрочнение токами высокой частоты режущей кромки культиваторной лапы обеспечило существенное повышение абразивной износостойкости, но привело к потере работоспособности за счет затупления режущей кромки. Перспективной для реализации эффекта самозатачивания представляется дискретная индукционная закалка отдельных фрагментов режущей кромки стрелчатых лап культиватора.

Упрочнение периодической наплавкой износостойким сплавом верхней части стрелчатой лапы обеспечило снижение интенсивности абразивного изнашивания и реализацию эффекта самозатачивания.

Список использованных источников

1. Круговой почвенный стенд : полез. модель ВУ 13253 / В. В. Голдыбан, И. А. Барановский, Д. И. Комлач, А. Н. Антоненко, В. В. Азаренко. – Оpubл. 30.08.2023.
2. Константинов, В. М. Обеспечение самозатачивания наплавкой плужных наплавкой / В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, В. В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2023. – Вып. 56. – С. 96–101.
3. Константинов, В. М. Комплексное обеспечение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга поверхностным и объемным упрочнением быстроизнашиваемых деталей / В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, В. Г. Щербачков // Перспективные материалы и технологии : монография : в 2 т. / Национальная академия наук Беларуси (Минск) : под ред. В. В. Клубовича. – Витебск, ВГТУ, 2017. – Т. 2, гл. 17. – С. 324–341.
4. Рабинович, А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин. – М.: Бюро технической информации ГОСНИТИ, 1962. – 106 с.
5. Ткачев, В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания / В. Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1995. – 335 с.
6. Техника сельскохозяйственная. Показатели надежности : СТБ 1616-2011. – Введ. 01.01.2012. – Мн.: Госстандарт, 2011 – 17 с.

В. Г. Андруш¹, И. В. Мацкевич¹, Е. В. Шелегова¹, В. И. Володкевич², В. А. Быстрова³

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: v.g.andrush.uot@bsatu.by

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: info@belagromech.by

³Белорусский государственный университет

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: veronikabystrova94@gmail.com

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ РАССЛЕДОВАНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ, ВЫЗВАННЫХ ДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРОВ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

Аннотация. В статье выполнены теоретические исследования и обоснована модель расследования несчастных случаев со смертельным исходом в животноводстве, вызванных действием опасных и вредных факторов природного характера, а именно ударом молнии. Построена ситуационная модель несчастного случая, которая позволила установить закономерности возникновения случаев производственного травматизма со смертельным исходом от грозовых проявлений при летне-пастбищном содержании скота.

Ключевые слова: несчастный случай, ситуационная модель, причина, нарушение требований охраны труда, закономерности травматизма.

V. G. Andrush¹, I. V. Matskevich¹, E. V. Shelegova¹, V. I. Volodkevich², V. A. Bystrova³

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: v.g.andrush.uot@bsatu.by

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: info@belagromech.by

³Belarusian State University

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: veronikabystrova94@gmail.com

SUBSTANTIATION OF THE MODEL OF INVESTIGATION OF ACCIDENTS IN ANIMAL HUSBANDRY CAUSED BY NATURAL FACTORS

Abstract. In the article theoretical researches are carried out and the model of investigation of fatal accidents in cattle breeding caused by the action of dangerous and harmful factors of natural character, namely, lightning strike is substantiated. The situational model of an accident is constructed, which allowed to establish regularities of occurrence of cases of industrial traumatism with fatal outcome from thunderstorm manifestations at summer-pasture cattle keeping.

Key words: accident, situational model, cause, violation of labour protection requirements, regularities of traumatism.

Введение

Реформы в области охраны труда [1] позволяют оценивать риски каждого конкретного предприятия в агропромышленном комплексе (АПК) с учетом индивидуальных особенностей производства с целью предупредить и снизить производственный травматизм. Однако в некоторых

отраслях количество пострадавших от несчастных случаев на производстве остается высоким, несмотря на проводимые мероприятия.

Самой травмоопасной в АПК по количеству смертельных случаев является профессия животновода. Повышенного внимания заслуживает такой вид работ, как выпас скота, т. к. летне-пастбищное содержание крупного рогатого скота является широко распространенным, и в это время происходят несчастные случаи с обслуживающим персоналом [2].

Основными причинами травм при выпасе скота является непосредственный контакт работающего с сельскохозяйственными животными (США – 18 %, Великобритания – 35 %) [3]. В отдельных случаях гибель и травмы на открытых территориях животноводы получают в результате ухудшения состояния производственной среды (опасных явлений погоды в теплый период года). Такими явлениями в Республике Беларусь могут быть грозы, ливни, шквалы, град.

Одним из путей предотвращения травматизма на рабочих местах является выявление причин возникновения несчастных случаев (НС), их анализ и разработка эффективных методов управления безопасностью [4].

В литературных источниках [5–10] описаны различные теории и модели причин возникновения НС, основанные на исследовании статистических данных, поведения человека, поиске причинно-следственных связей. Наиболее известные из них – модель «домино» Хайнриха [5], модель «швейцарского сыра» Д. Ризона [6], пирамида происшествий Хейнриха [7], эпидемиологическая модель Гордона [8], системно-теоретическая модель и процессы происшествий (STAMP) Левесона [9], метод FTA [10] и основанные на нем модели, известные в отечественной практике как «дерево отказов».

Целью данной статьи является проведение теоретических исследований, в ходе которых составлена структура НС, предложена модель расследования НС, «дерево событий и исходов», позволяющих установить закономерность и причины возникновения случаев травматизма со смертельным исходом, происходящих с животноводами во время летне-пастбищного выпаса скота при воздействии опасного природного фактора (удара молнии).

Основная часть

Согласно статистике, в АПК практически ежегодно происходит несколько зарегистрированных смертельных несчастных случаев, вызванных ударом молнии, с животноводами, занимающимися летне-пастбищным содержанием скота [11]. При этом фактически не регистрируется НС с тяжелыми и легкими последствиями.

Расследование несчастных случаев, связанных с опасными природными факторами, сводится к сбору таких данных, как время, место, обстоятельства происшествия, показания очевидцев, характер и тяжесть травм пострадавшего, стаж его работы, прохождение им инструктажей, обучения и проверки знаний по охране труда, медицинского осмотра, обеспечение СИЗ, наличие алкогольного, наркотического или токсического опьянения. При этом, если все документы оформлены надлежащим способом и явных нарушений со стороны организации не выявлено, причины произошедшего несчастного случая глубоко не анализируются, каких-то действий корректирующего характера не проводится, т. к. опасным фактором, приведшим к смерти работника, явилось воздействие природного явления (удар молнии). Невьясненными остаются вопросы поведения пастухов в опасных метеорологических условиях, пренебрежения ими защищенными укрытиями, неприменения надлежащей для данного вида работ одежды и обуви [12].

Выбор метода расследования НС. Для расследования несчастных случаев в сельском хозяйстве и конкретно в животноводстве важно правильно подобрать метод расследования НС. Согласно классификации Чарльза Перроу, виды деятельности можно распределить по уровню управляемости в зависимости от гибкости внутренних связей [13]. Прямое управление соответствует жесткой связи (управленческие решения (верные и неверные) распространяются на всю систему), а косвенное управление – гибкой связи (управленческие решения, как верные, так и неверные, необязательно распространятся на всю систему), в чем ее несомненное преимущество. Управляе-

мость в классификации Перроу – это четкость и очевидность системы (влияние событий, происходящих в одной точке системы, на последствия и реакцию в других точках системы).

Возможно предположить, что сельскохозяйственные организации относятся к системам с высокой управляемостью (линейное взаимодействие события в одной точке будет иметь предсказуемые последствия и реакцию в других точках) и гибкими связями (т. е. работником возможно выполнение, невыполнение, а также перепоручение выполнения управленческого решения другому лицу; либо замена им порученного действия на другое, более ему подходящее или срочное), согласно распределению рекомендуемых групп методов расследования происшествий в зависимости от уровня управляемости и гибкости внутренних связей Эрика Холлнагеля [14]. Таким образом, при расследовании причин НС в сельскохозяйственных организациях при летне-пастбищном выпасе скота возможно применение простых методов причинно-следственной связи, так как данный вид работ еще недостаточно автоматизирован и отстает от других видов работ по внедрению новых технологий.

Обоснование модели расследования НС. Модели причинно-следственных связей исследуют различные этапы происшествия и формируют логическую последовательность событий, чтобы четко определить причины (прямые, косвенные, коренные) несчастных случаев и их взаимосвязь. Модели, рассматривающие ошибки человека, основаны на теории «домино» Хайнриха [5], концепции Э. Адамса [10] и модели Ф. Бёрда и Р. Лофтаса [15].

Структура несчастных случаев, происходящих при выпасе скота вследствие действия опасного природного фактора – грозового разряда выглядит следующим образом (рис. 1, табл. 1).

Согласно теории «домино» В. Х. Хайнриха [5] несчастный случай состоит из последовательности факторов: происхождение, социальные условия рабочего; его ошибка; неправильные действия в момент возникновения опасности (физической или механической); НС; травма или ущерб. По его предположению 80 % аварий происходит из-за ошибочных действий работников и 20 % связаны с опасными условиями производства. Каждый фактор приводит в движение следующий, подобно падающим костяшкам домино.

В концепции «домино» Э. Адамса [10] пересмотрена суть трех первых факторов, ошибочные действия работника заменены на ошибочные действия организации и выглядят следующим образом:

- 1) ошибки (стратегические) и недостатки структуры управления;
- 2) ошибки в управлении и организации производственного процесса, в планировании и выполнении отдельных операций);
- 3) ошибки (тактические) – опасные действия или условия, которые непосредственно ведут к возникновению аварии).

Модель Бёрда и Лофтаса [15] также основывается на теории Хайнриха, но основное внимание уделяется тому, как управление (менеджмент) влияет на возникновение причин происшествий. Первые три фактора, как и у Адамса, заменены и рассматриваются иначе, чем у Адамса и Хайнриха:

- 1) недостатки в управлении;
- 2) основные причины аварии;
- 3) непосредственные причины аварии.

Для поиска факторов, которые следует исключить из цепи событий для предотвращения несчастного случая, объединим все три модели (Хайнриха, Адамса, Бёрда и Лофтаса). В этом случае модель «домино» для расследования несчастных случаев, произошедших с животноводами при выпасе скота вследствие действия опасного фактора (грозового разряда молнии) будет выглядеть следующим образом (табл. 2).

Согласно теории «домино», если убрать средний элемент из цепочки (обычно это элемент № 3), то несчастного случая не произойдет. В рассматриваемой последовательности опасное действие, тактическая ошибка, непосредственная причина – это то, что работник во время грозы остался в поле.

Построение ситуационной модели. Для построения ситуационной модели сформулируем условие достаточности причин НС с помощью логической импликации (исключив недостатки и ошибки в структуре управления):



Рис. 1. Структура несчастного случая при воздействии опасного природного фактора (молнии)

Таблица 1. Факторы структуры несчастного случая при воздействии опасного природного фактора (молнии)

Опасные действия	Опасные условия	Управление охраной труда	Психофизиологическое состояние работника	Физическое состояние работника
<ul style="list-style-type: none"> - Отсутствие средств молниезащиты, пожароизвещения, пожаротушения в вагончиках (бытовках) - Неприменение СИЗ (резиновые сапоги, непромокаемый плащ) - Игнорирование сообщений об ухудшении погодных условий - Нахождение на открытой местности во время грозы (игнорирование укрытия в зоне с молниезащитой) 	<ul style="list-style-type: none"> - Неэффективность средств молниезащиты, пожароизвещения, пожаротушения в вагончиках (бытовках) - Размещение на местности с большей вероятностью поражения молнией (холм, линии электропередач, одинокие деревья, вышки и т.п) - Укрытие от грозы под транспортными средствами, с/х машинами, в копнах и скирдах - Хождение или бег во время грозы - Разведение костра - Использование сотового телефона 	<ul style="list-style-type: none"> - Отсутствие НПА по охране труда при выполнении работ в сложных метеоусловиях - В инструкциях по виду работ недостаточно определен или отсутствует порядок действий работника во время грозы - Несвоевременный или недостаточный инструктаж по ТБ - Отсутствие пересмотра инструкций по результатам расследования НС - Недостаточный контроль за соблюдением трудовой дисциплины - Отсутствие обеспечения защитным и предохранительным оборудованием - Необеспечение СИЗ 	<ul style="list-style-type: none"> - Неинформированность - Отсутствие знаний о поведении во время грозы - Неправильное отношение - Отсутствие координации в действиях - Медленная реакция - Невнимательность - Нервозность - Отсутствие эмоциональной стабильности - Темперамент 	<ul style="list-style-type: none"> - Крайняя степень усталости - Плохое зрение - Глухота - Недостаточная физическая форма для данного вида работ - Употребление алкоголя - Абстинентный синдром

Таблица 2. Элементы объединенной модели домино для расследования НС, связанных с воздействием опасного природного фактора (молнии)

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Социальная среда: – недостаточное образование; – устаревшие знания; – следование традициям; – пренебрежительное отношение к опасным природным явлениям Недостатки управления (стратегические ошибки) Не разработаны нормативные документы по охране труда: – при летне-пастбищном содержании скота; – при выполнении работ в сложных метеорологических условиях	Недостатки человека: – недоверие; – недисциплинированность; – упрямство; – безрассудство Ошибки управления (тактические ошибки): – игнорирование опасности, исходящей от опасных природных факторов; – недостаточная проработка механизма действий работающего во время ухудшения погодных условий Дефекты оборудования Отсутствие или неисправность специальных способов и средств защиты работающих: – молниезащиты; – первичных средств пожаротушения; – СИЗ; – аптечек первой помощи	Опасные действия, тактические ошибки, непосредственные причины: – нахождение на открытой местности во время грозовых проявлений без средств защиты Опасные условия: – использование неподходящих укрытий во время ухудшения погодных условий или ненадлежащих средств защиты	Авария: – разряд молнии	Травма (НС): – электротравма (поражение атмосферным электричеством); – термические травмы

1) если бы рабочий не пренебрег сообщением (или признаками) ухудшения погодных условий, то его не было бы на поле во время грозы;

2) если бы рабочий воспользовался укрытием, то его бы не было на открытой местности;

3) если бы рабочий соблюдал меры безопасности во время грозовых проявлений, он не был бы поражен разрядом молнии.

Дерево событий и исходов для НС вследствие удара молнии выглядит следующим образом (рис. 2).

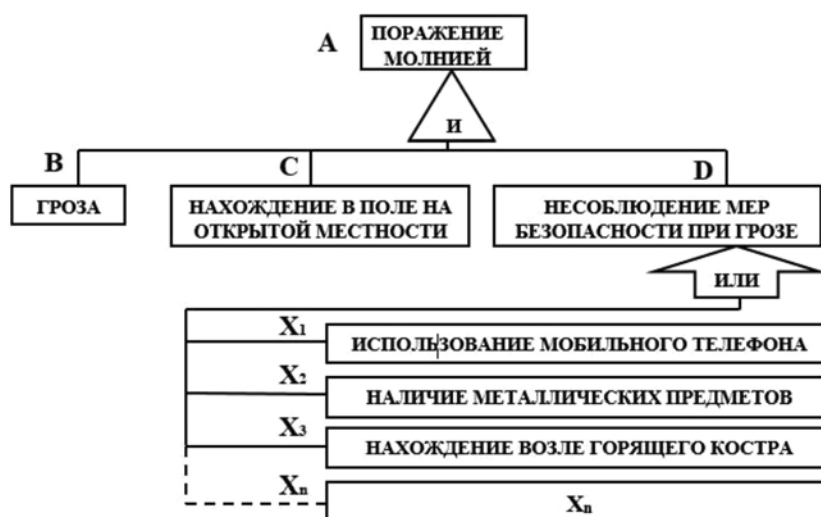


Рис. 2. Дерево событий и исходов

Таким образом, комбинацию причин (А), приведших к НС, можно описать выражением с использованием логических операторов «И» и «ИЛИ» (1):

$$A = B \wedge C \wedge D, \quad (1)$$

$$D = X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee \dots \vee X_n = \bigvee_{i=1}^n X_n,$$

где \wedge – знак логического умножения (конъюнкции); \vee – знак логического сложения (дизъюнкции); n – количество нарушений мер безопасности; i – порядковый номер нарушения.

Следовательно,

$$A = B \wedge C \wedge \left(\bigvee_{i=1}^n X_n \right).$$

В случаях поражения молнией работников во время выпаса скота присутствует фактор случайности отрицательной направленности, который способствует возникновению НС (E^-), если фактор случайности положительный (E^+), то травма не произойдет даже при наличии всех причин, приводящих к травмированию.

Ситуационную модель НС при поражении грозовыми разрядами животноводов на летних пастбищах (2) можно представить следующим образом:

$$(A \wedge E^-) \rightarrow F, \quad (2)$$

где E^- – фактор случайности отрицательной направленности; F – несчастный случай; \rightarrow – знак импликации («если ..., то»).

В практике фактор случайности не учитывается и ситуационная модель НС (3):

$$A \rightarrow F \quad (3)$$

Выводы

В результате теоретических исследований обоснована модель расследования НС со смертельным исходом в результате воздействия опасного природного фактора – удара молнии, построена ситуационная модель НС, позволяющая определить закономерности возникновения несчастных случаев с животноводами при летне-пастбищном содержании скота:

1) к НС приводит только определенная последовательность опасных действий, нарушений мер безопасности и присутствие фактора случайности отрицательной направленности; для решения практических задач фактор случайности исключается из ситуационной модели;

2) исключение одной из основных причин делает невозможным травмирование человека;

3) количество причин, сопутствующих возникновению НС, может быть различно – от одной и более;

4) в различных НС может присутствовать аналогичная комбинация причин НС.

На основании представленной ситуационной модели причин НС возможна разработка и проведение корректирующих мероприятий (комплекса мероприятий) с целью предотвращения повторения аналогичных несчастных случаев. Важно учитывать весь комплекс производственных факторов (технологический процесс (оборудование), особенности животных, производственную среду), влияющих на работника, и, исходя из этого, выбирать средства защиты. Приоритетом является разработка мер безопасности и четкого алгоритма действий работника в сложных метеоусловиях, а также разработка эффективных мер предотвращения травмирования.

Список используемых источников

1. Департамент государственной инспекции труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Информационные материалы к Всемирному дню охраны труда «Безопасная и здоровая рабочая

среда – основополагающий принцип и право в сфере труда». – Режим доступа: <http://git.gov.by/ru/article/informacionnye-materialy-k-vsemirnomu-dnu-ohrany-truda-bezopasnaa-i-zdorovaa-rabocaa-sreda-osnovopolagausij-princip-i-pravo-v-sfere-truda>. – Дата доступа: 02.04.2023.

2. Андруш, В. Г. Повышение производственной безопасности при летне-пастбищном содержании скота / В. Г. Андруш, Е. В. Шелегова, Т. И. Ханда // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / редкол.: В. В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 19–33.

3. Клинский институт охраны и условий труда [Электронный ресурс]: Травматизм в животноводстве. Как снизить риски травмирования работников? – Режим доступа: <https://www.kiout.ru/info/publish/30483>. – Дата доступа: 15.03.2023.

4. Федорчук, А. И. Снижение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в АПК / А. И. Федорчук, В. Г. Андруш. – Минск: БГАТУ, 2012. – 244 с.

5. Heinrich, H. W. Industrial accident prevention: a scientific approach / H. W. Heinrich. – 1st ed. – New York: McGraw-Hill, 1931.

6. Reason J., Hollnagel E., Paries J. Revisiting the «Swiss cheese» model of accidents / EEC Note No. 13/06. – Brétigny-sur-Orge, France: EUROCONTROL Experimental Centre, 2006.

7. The development history of accident causation models in the past 100 years: 24Model, a more modern accident causation model / G. Fu [et al.] // Process Safety and Environmental Protection, 2020.

8. Gordon, J. E. The epidemiology of accidents / J. E. Gordon // American Journal of Public Health. – 1949. – № 4. – P. 504–515.

9. Leveson, N. G. A systems approach to risk management through leading safety indicators / N. G. Leveson // Reliability Engineering and System Safety, 2015. DOI: 10.1016/j.res.2014.10.008.

10. Shappell, S. A. Applying reason: the human factors analysis and classification system (HFACS) / S. A. Shappell, D. A. Wiegmann // Human Factors, 2001.

11. Охрана труда в Беларуси [Электронный ресурс]: Информационное письмо Департамента государственной инспекции труда «О профилактике производственного травматизма при летне-пастбищном содержании скота» от 14.05.2011. – Режим доступа: <http://new.gramota.ru/spravka/letters/85-rubric-79>. – Дата доступа: 22.03.2023.

12. Андруш, В. Г. О профилактике травматизма при летне-пастбищном содержании скота / В. Г. Андруш, Е. В. Шелегова, И. М. Рыжук // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : сб. статей VI МНПК. Минск, 30–31 марта 2023 г. / под общ. ред.: В. Я. Груданова. – Минск : БГАТУ, 2023. – С. 316–319.

13. Perrow, C. Normal Accidents: Living with High-risk Technologies / C. Perrow. – Princeton: Princeton University Press, 1999.

14. Hollnagel, E. Investigation as an impediment to learning / E. Hollnagel // Remaining Sensitive to the Possibility of Failure. Resilience Engineering Series. – Aldershot: Ashgate, 2008.

15. Bird, F. E. Loss Control Management / F. E. Bird, R. G. Loftus. – Atlanta: Intl Loss Control Inst, 1976.

А. А. Жешко¹, А. В. Ленский¹, Б. Эрдэнэтуя², Б. Нямгэрэл²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

²Монгольский Государственный Аграрный Университет,

Инженерно-технологический Институт

г. Улан-Батор, Монголия,

E-mail: erdenetuya@muls.edu.mn

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ

Аннотация. Рассмотрены перспективные датчики и исполнительные механизмы для реализации информационно-вычислительной системы организации механизированных работ.

Ключевые слова: датчики и исполнительные механизмы, искусственный интеллект, машинное обучение, компьютерное зрение, точное земледелие, беспилотные летательные аппараты.

A. A. Zheshko¹, A. V. Lenski¹, B. Erdenetuya², B. Nyamgerel²

¹RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

²School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences

Ulaanbaatar, Mongolia,

E-mail: erdenetuya@muls.edu.mn

ANALYTICAL REVIEW OF SENSORS FOR IMPLEMENTATION OF INFORMATION-COMPUTER SYSTEM OF ORGANIZATION OF MECHANIZED WORKS

Abstract. Perspective sensors and actuators for the implementation of an information-computing system for organizing mechanized work are considered.

Keywords: sensors and actuators, artificial intelligence, machine learning, computer vision, precision agriculture, unmanned aerial vehicles.

Введение

Интенсивное развитие электронно-вычислительной техники в последние десятилетия явилось основой цифровизации многих отраслей экономики. Развитие датчиков, исполнительных механизмов и их объединение в Интернет вещей позволило собирать, накапливать и анализировать большие объемы данных, после обработки которых можно реализовать машинное обучение интеллектуальных систем, использовать полученные знания в системах под управлением компьютерного зрения при выполнении таких сельскохозяйственных операций, как сортировка клубней картофеля, автоматическое вождение по рядкам при посеве, уходе и уборке сельскохозяйственных культур.

Отправной точкой в разработке концепции информационно-вычислительной системы является всесторонний анализ и разработка классификации принципов и технических средств для реализации технологии точного земледелия. Следует отметить, что датчики являются физическими поставщиками данных и после объединения в сеть являются основой Интернета вещей. В сельскохозяйственном производстве применяют различные типы датчиков, которые позволяют преобразовать измеряемую величину в сигнал, удобный для регистрации, обработки, передачи и хранения.

Основная часть

Применительно к технологиям точного земледелия используют датчики, позволяющие в автоматическом режиме контролировать технологический процесс. Объектами измерений могут выступать почва, растения, животные, различные механизмы машин.

По принципу действия можно выделить механические, пневматические, акустические, лазерные, инфракрасные, ультразвуковые, оптические, термические и другие типы датчиков. На рис. 1 представлена классификация датчиков исходя из их функционального назначения.

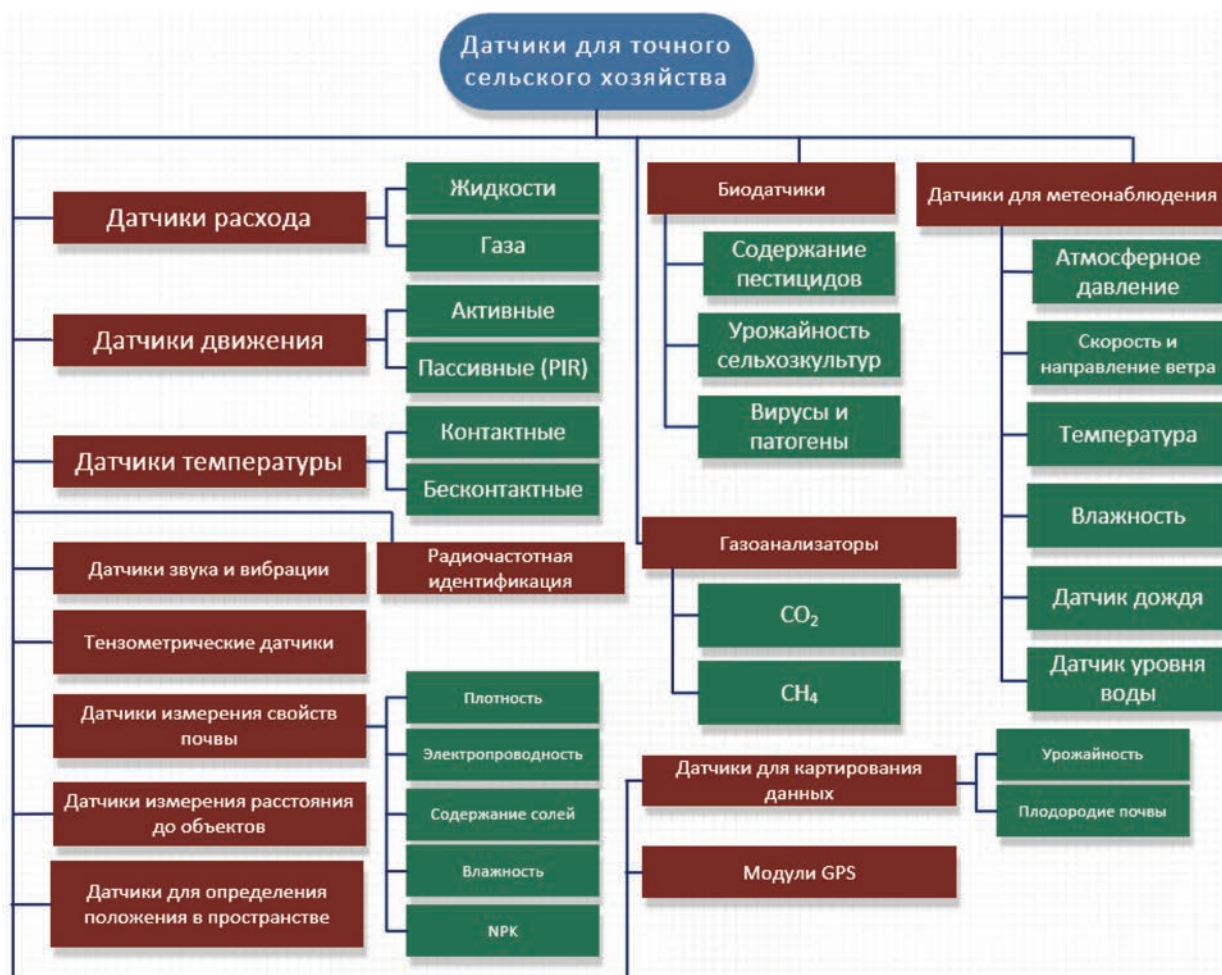


Рис. 1. Классификация датчиков для точного сельского хозяйства по назначению

Датчики расхода жидкости применяются для точного учета и контроля доз внесения химических средств защиты растений и жидких минеральных удобрений. Также такие датчики могут применяться в ирригации и других сферах точного земледелия [1].

Датчики движения применяются для контроля присутствия животных или людей в определенной зоне, что можно использовать в системах обеспечения безопасности или для организации автоматического включения и выключения освещения. Принцип действия подобных датчиков заключается в анализе сигналов различных типов: инфракрасных, ультразвуковых, фотоэлектрических, микроволновых и др.

Датчик движения считается пассивным (PIR), если он только поглощает волны анализируемого объекта. PIR-датчики эффективно работают в диапазоне волн 8–14 мкм, что свойственно излучению человека. Применение подобного типа датчиков позволяет отслеживать перемещения в пределах определенной зоны, а также фиксировать направление перемещения. Наиболее часто используются датчики HC-SR501 и LM393, относящиеся к данной группе [2].

Активные датчики отправляют сигнал и затем анализируют его после возвращения. Датчики позволяют не только определить факт движения, но также измерить скорость движущегося объекта. К данной группе датчиков относятся различные виды, одними из самых популярных в сельскохозяйственном производстве являются датчики светового обнаружения и измерения LiDAR, которые выявляют факт и вычисляют количественные характеристики движения. Основным преимуществом LiDAR-датчиков является их высокая точность и надежность. Они не зависят от запыленности и могут работать в любое время суток. Такие качества позволяют использовать их совместно с БПЛА для составления картограмм полей, точных 3D моделей ландшафта, определять размеры отдельных животных и фиксировать их перемещение, что может быть использовано для дистанционного учета и контроля за поголовьем скота, а также для обеспечения безопасности.

Для организации автоматического включения освещения могут использоваться модули на основе фоторезисторов. Фоторезистор изменяет сопротивление протекающего через него тока в зависимости от интенсивности света, в то время как фотодиод преобразует свет в электрический ток. Фотодиоды нашли применение в конструкциях солнечных батарей. Следует отметить, что фоторезисторы чувствительны к длине волны падающего на них света, поэтому они выпускаются в различных модификациях.

Для измерения температуры используются датчики, в основу функционирования которых положены термопары, термисторы или резистивные датчики температуры.

Для работы термопары не требуется наличия дополнительных источников питания. В точке измерения температуры соединяются два проводника, изготовленные из различных материалов. Данный тип датчиков может использоваться для измерения широкого диапазона температур, однако характеризуется низкой точностью и большими размерами (более 10 мм). Преимуществом является быстрая реакция на температурные изменения.

Резистивные датчики температуры характеризуются небольшими размерами, работают в интервале температур от -200 до 500 °С, медленно реагируют на изменения температуры, однако точность измерений превосходит термопары.

Наиболее точными являются температурные датчики на основе термисторов, которые работают в узком диапазоне температур от -90 до 130 °С и являются компактными.

Измерение температуры может осуществляться контактным и бесконтактным способом датчиками, которые совместимы с контроллерами ESP32, ESP8266 и STM32. Бесконтактные датчики на чипе MLX90614 обрабатывают инфракрасное излучение измеряемого объекта, подключаются по протоколу I2C и позволяют измерять температуру в интервале от -70 до 380 °С, точность измерений при этом составляет $\pm 0,5$ °С. Модуль датчика температуры KY-028 может использоваться для управления системами вентиляции или отопления в животноводческих помещениях [3].

Датчики температуры LM35 работают в интервале от -55 до 150 °С и обеспечивают точность $\pm 0,75$ °С. Для измерения температуры в помещениях используются комбинированные датчики DHT11 или DHT22, в которых также присутствует возможность измерения влажности.

Датчик, основанный на эффекте Холла, представляет собой металлическую пластинку, помещенную в магнитное поле, через которую пропущен электрический ток. В механизмах сельскохозяйственных машин данный датчик может использоваться для измерения частоты вращения различных узлов и деталей, также может применяться для определения положения объектов в пространстве и в качестве магнитометров. Основными преимуществами датчиков Холла являются их простота, надежность и возможность использования в суровых условиях, свойственных сельскохозяйственному производству.

Датчики измерения расстояния до объектов ультразвукового типа применяются в робототехнике и БПЛА для обнаружения препятствий во время движения. С помощью подобных датчиков можно реализовать позиционирование относительно поверхности почвы штанговых рабочих органов опрыскивателей и машин для внесения твердых минеральных удобрений, позиционирование рабочих органов опрыскивателей, а также определять уровень жидких или твердых сыпучих материалов в накопительных емкостях.

Принцип работы ультразвукового датчика HC-SR04 заключается в определении времени прохождения звукового сигнала, отправленного излучателем, отраженного от объекта-препятствия и полученного приемником. По найденному значению времени через известные значения скорости распространения ультразвука в воздухе с учетом времени запаздывания сигнала вычисляется расстояние (рис. 2).

$$L = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \cdot t_e, \quad (1)$$

где γ – показатель адиабаты воздуха, $\gamma = 7/2$ ед.; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,3144598$ Дж/моль·К; T – абсолютная температура воздуха, $T = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15 \text{ } ^\circ\text{K}$; M – молекулярная масса воздуха, $M = 28,98$ г/моль; t_e – время ожидания, с.

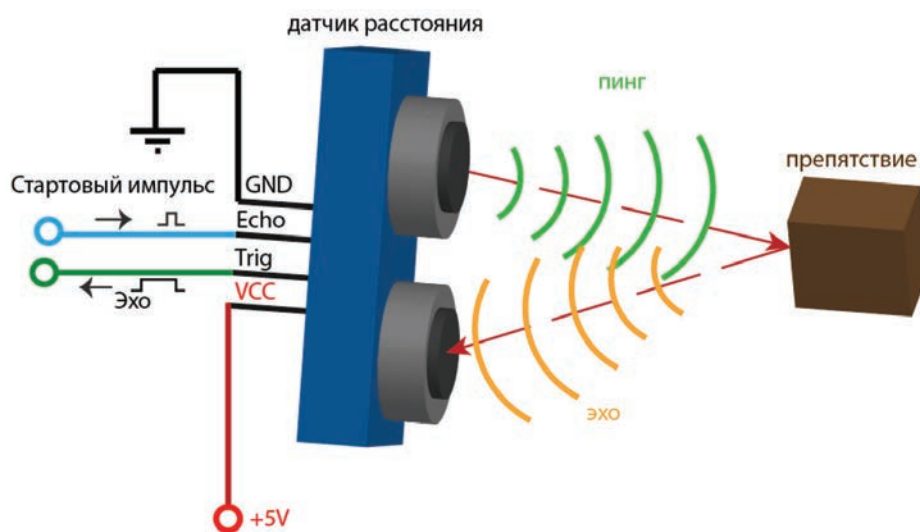


Рис. 2. Принцип работы датчика измерения расстояния

После подстановки известных величин в формулу (1) получим

$$L = \sqrt{t + 273,15} \cdot t_e. \quad (2)$$

Для позиционирования рабочих органов сельскохозяйственных машин, навесных устройств, контроля рабочего и транспортного положения механизмов, а также для определения скорости вращения элементов машин применяют индуктивные датчики. Для подобных целей могут применяться датчики угла наклона и определения положения в пространстве. Для выравнивания положения беспилотных летательных аппаратов и робототехники используются гироскопы и акселерометры различных конструкций [4].

Для направления движения комбайна точно по краю убранного участка применяются инфракрасные датчики, оптические сигналы которых отражаются от стеблей культурных растений. Для подобных целей также применяется интерактивная обработка видеоизображения и применение методов компьютерного зрения.

Важнейшим элементом организации учета в точном животноводстве является применение радиочастотной идентификации RFID [4], посредством которой можно отслеживать активность животных, организовать их идентификацию. Система состоит из транспондера – радиометки, которая прикрепляется к животному, а также приёмника – передатчика сигнала.

Современные комбинированные датчики для измерения свойств почвы позволяют определять содержание питательных веществ, кислотность, электропроводность, температуру и влажность. На рис. 3 представлена схема датчика контроля за состоянием почвы. На рис. 4 – простейший датчик для измерения влажности почвы и схема его подключения к микроконтроллеру ESP-32.

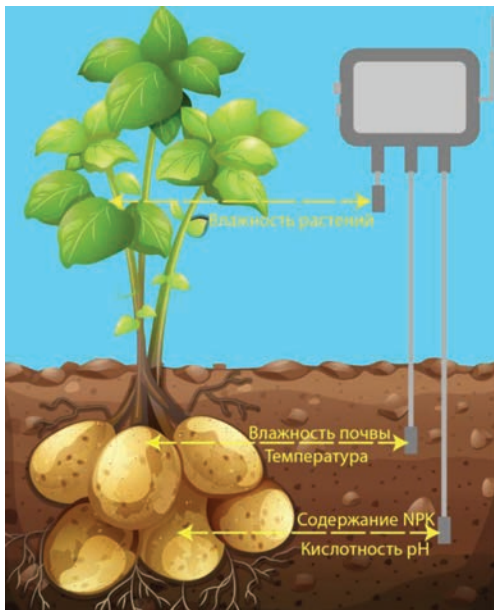


Рис. 3. Схема датчика контроля за состоянием почвы

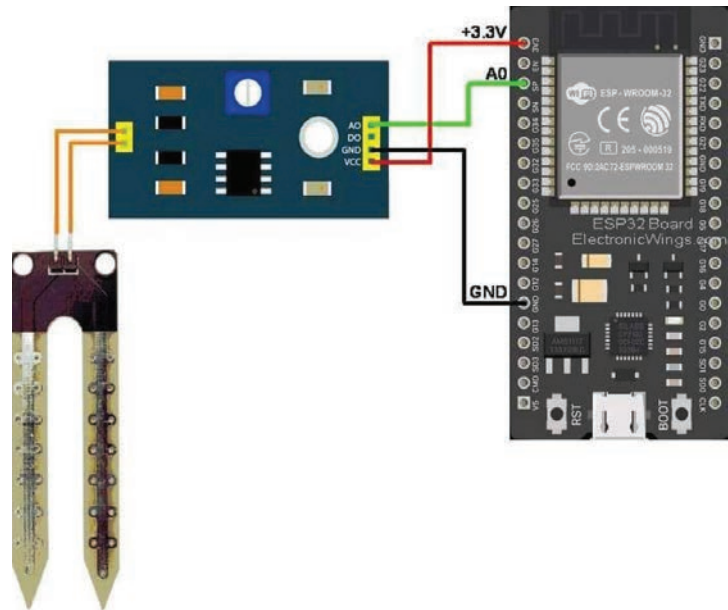


Рис. 4. Датчик для измерения влажности почвы

Данные с датчика обрабатываются аналого-цифровым преобразователем и изменяются в пределах 0 – 4095. Для вычисления влажности необходимо выполнить следующее преобразование:

$$W = 100 - \left(\frac{S_d}{4095} \cdot 100 \right), \quad (3)$$

где S_d – данные с датчика влажности почвы, ед.

Для определения питательных веществ в почве и уровня кислотности используются различные типы датчиков электрохимического типа, которые монтируются на специальных салазках. Отобранные подобным образом пробы могут дополнительно изучаться в лабораторных условиях, а в случае привязки полученных данных к географическим координатам данные могут использоваться для картирования плодородия почвы.

Датчик концентрации углекислого газа применяют для регулирования и контроля микроклимата на сельскохозяйственных предприятиях. Принцип действия таких датчиков основан на методе инфракрасного обнаружения, который является довольно точным и не зависит от содержания кислорода в воздухе. Через специальный фильтрующий элемент воздух поступает к преобразователю первой ступени с инфракрасным детектором. Часть излучения поглощается углекислым газом в узком диапазоне инфракрасного света и формируется пропорциональный уровню поглощения электрический сигнал, что позволяет оценить концентрацию CO_2 . Второй канал позволяет сформировать опорный сигнал. Датчик концентрации метана CH_4 применяется в биогазовых установках с целью мониторинга технологического процесса.

Учитывая то, что погода является важным фактором, влияющим на своевременность выполнения сельскохозяйственных операций, применяются как отдельные датчики для регистрации параметров, влияющих на краткосрочное прогнозирование, так и метеостанции в сборе, позволяющие с высокой степенью точности определять изменения погоды для конкретной локации. Для контроля температуры используются датчики DS18B20, LM35, модули KY-013, KY-001, KY-028. Датчики DHT11, DHT22 или АНТ20 используются для определения влажности, а для измерения атмосферного давления подходят датчики BMP085 или BMP280, которые позволяют осуществлять измерения в диапазоне 30000–110000 Па (± 12 Па). Дополнительно к перечисленным датчикам для уточненных расчетов погодных условий может использоваться сенсор углекислого газа MQ135.

Практически любой автоматизированный процесс контролируется с использованием электронного чипа. В зависимости от разрядности шины можно выделить 4, 8, 16 и 32-битные микроконтроллеры. По архитектуре вычислительной системы можно выделить CISC и RISC микроконтроллеры.

По функциональному назначению выделяют специализированные и универсальные микроконтроллеры.

В качестве исполнительных механизмов сельскохозяйственных машин выступают различные узлы и конструктивные элементы, которые выполняют воздействие на объект управления и изменяют его параметры.

Заключение

Подводя итог, необходимо отметить, что датчики являются физическими поставщиками данных, что позволяет использовать их в качестве средств для накопления и последующей обработки информации. Данные, полученные с датчиков, могут использоваться в информационно-вычислительной системе организации механизированных работ, разрабатываемой при поддержке БРФФИ и МФНТ, для корректировки сроков выполнения механизированных сельскохозяйственных операций, определения рационального состава агрегатов, оптимизации структуры машинно-тракторного парка, оперативной корректировки технологических параметров при выполнении механизированных работ, для повышения качества выполнения сельскохозяйственных операций и др.

Список использованных источников

1. Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture Sensors / C. Kamienski [et al.] // *Sensors*. – 2019. – Vol. 19, no. 2. – P. 276.
2. Leaf-compatible autonomous RFID-based Wireless Temperature Sensors for Precision Agriculture / V. Palazzi [et al.] // *IEEE Topical Conf. on Wireless Sensors and Sensor Netw. (WiSNet)*. – Jan. 2019. – P. 2019–2022.
3. Internet of Things Technology for Greenhouse Monitoring and Management System Based on Wireless Sensor Network / A. A. Halim [et al.] // *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* – 2016. – Vol. 11, no. 22. – P. 13169–13175.
4. Polymer in Agriculture: a Review / F. Puoci [et al.] // *Am. J. Agri. Biol. Sci.* – 2008. – Vol. 3, no. 1. – P. 299–314.

Н. Н. Быков¹, Г. И. Кошля¹, Э. В. Дыба²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: 27genko@mail.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ПЛОЩАДИ ПОЛЯ, КОНТАКТИРУЮЩЕЙ С ДВИЖИТЕЛЯМИ МТА ПРИ ЗАГОТОВКЕ КОРМОВ ИЗ ТРАВ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы определения общего пути машин при уборке трав и площади уплотнения поля в зависимости от кинематических параметров машин и размеров рабочих участков.

Ключевые слова: трактор, почва, технология, свойства, показатели, поле, движитель, воздействие, кинематические параметры, площадь следов, размеры участка.

N. N. Bykov¹, G. I. Koshlya¹, E.V. Dyba²

¹UO "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 27genko@mail.ru

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

DETERMINATION OF TOTAL FIELD AREA IN CONTACT WITH MTU PROPULSORS DURING GRASS FODDER PROCUREMENT

Abstract. The article considers the issues of determining the general path of the machines when harvesting herbs and the area of field compaction depending on the kinematic parameters of the machines and the size of the working areas.

Keywords: tractor, soil, technology, properties, indices, field, propulsor, impact, kinematic parameters, area of traces, site dimensions.

Введение

Площадь поля, подвергающаяся воздействию ходовых систем, и кратность их наложения при заготовке кормов в значительной мере влияют на потери урожайности. Вопросы воздействия движителей МТА на многолетние травы изучены недостаточно. Большинство исследований проводились по изучению воздействия движителей отдельных машин, участвующих в технологическом процессе, на урожайность культур и физико-механические характеристики почвы. Чтобы правильно оценить воздействие ходовых аппаратов на многолетние травы с их специфическими особенностями, необходимо изучить изменение плотности и урожайности при различной кратности воздействия.

Основная часть

Процесс заготовки различных видов кормов из многолетних трав включает несколько операций (кошение, ворошение, сгребание в валок, подбор с измельчением и т. д.), выполняемых без разрыва во времени или с небольшим разрывом (несколько часов), возможно синхронное движе-

ние агрегатов (например, транспортных). Причем для всех операций характерно движение агрегатов в одном направлении, что способствует наложению следов, а это, в свою очередь, усиливает отрицательное воздействие на почву и урожайность. Главным при заготовке кормов является сокращение общего пути машин при выполнении каждой операции и уменьшение площади поверхности поля, подвергающейся воздействию движителей.

Основными способами движения, применяемыми при выполнении операций возделывания кормов из многолетних трав, являются: челночный, круговой, всвал, вразвал, с расширением прокосов, перекрытием, комбинированный. Основными способами поворотов являются: беспетлевой дугообразный, беспетлевой с прямолинейным участком, петлевой грушевидный. Целесообразность применения способа движения и вида поворота в нашем случае определяется минимальной площадью и кратностью наложения следов МТА в технологических операциях.

При уборке заданного участка площадь поля, подвергающаяся воздействию ходовой системы машин, определяется из выражения [1, 2]:

$$F_{сл} = b_{сл} (S_p + S_X), \quad (1)$$

где $b_{сл}$ – суммарная ширина следов ходового аппарата, м; S_p, S_X – путь, проходимый машиной соответственно на рабочем и холостом ходах, м.

Для челночного способа движения путь, проходимый машиной на рабочем ходу, равен:

$$S_p = \frac{c \cdot L}{b_M}, \quad (2)$$

где c, L – соответственно ширина и длина участка, м; b_M – ширина захвата машины, м.

Путь на холостом ходу:

$$S_X = \left(\frac{c}{b_M} + 2m \right) \cdot (6R + 2e), \quad (3)$$

где m – число проходов машины вдоль ширины участка при обкосах участка, шт.; R, e – соответственно радиус поворота и длина выезда машины, м.

Суммарный путь машины на участке [1, 2]:

$$S = \frac{c \cdot L}{b_M} + \left(\frac{c}{b_M} + 2m \right) \cdot (6R + 2e). \quad (4)$$

При постоянном значении площади участка путь на рабочем ходу не зависит от выбора направления движения, является величиной постоянной. На значение холостого пути оказывает влияние соотношение сторон. Если обозначить отношение ширины участка к его длине через μ , то общий путь запишется в виде:

$$S = \frac{\mu \cdot L^2}{b_M} + \left(\frac{\mu \cdot L}{b_M} + 2m \right) (6R + 2e). \quad (5)$$

Анализ и расчеты формулы (5) показывают, что с увеличением μ число поворотов и длина пути увеличиваются. Наименьшая длина пути будет при:

$$\mu \leq \frac{b_M}{L} \text{ и } m = 0. \quad (6)$$

Более интенсивно холостой путь увеличивается при $\mu > 1$. Для уменьшения холостого пути направление движения следует выбирать вдоль большей стороны загона. Это оправдано еще и тем, что при этом увеличивается коэффициент использования времени и производительность машины. Наибольшее влияние на общее значение пути и площадь следа оказывает ширина захвата машины,

с увеличением которой путь и уплотненная площадь уменьшаются. С учетом выражений (1) и (5) площадь следов машины на участке выразится зависимостью [1, 2]:

$$F_{cl} = b_{cl} \left(\frac{\mu \cdot L^2}{b_M} + \left(\frac{\mu \cdot L}{b_M} + 2m \right) \right) \cdot (6R + 2e). \quad (7)$$

Используя данные технической характеристики машины и кинематические характеристики участка, по выражению (7) можно определить площадь, подвергающуюся воздействию ходовой системы машины.

При способе движения «вразвал» поле или участок разбивают на загоны, которые затем убирают, двигаясь против или по часовой стрелке в зависимости от конструкций машин и их технологического взаимодействия. Часть загона шириной $C' = 2R$ убирается с петлевыми поворотами, а оставшаяся площадь шириной $C'' = C - 2R - C$ – беспетлевыми поворотами. Поворотные полосы убирают перед уборкой основного загона. Поле разбивают на загоны оптимальной ширины. При оптимизации параметров загонов s и μ необходимо учитывать вероятность дополнительного прохода для уборки необранной полосы, образующейся вследствие неточности вождения машины. Общая длина следа запишется в виде:

$$S_{общ} = A \left(\frac{2\ell + C + 2(R + 2e)}{2b_M} + \frac{1}{C} \cdot \frac{8R^2}{b_M} \right), \quad (8)$$

где A – общая ширина поля, м.

Площадь, подвергающаяся воздействию ходовой системы машин при уборке поля способом «вразвал», определяется по формуле:

$$F_{cl} = A \cdot b_{cl} \left(\frac{2\ell + C + 2(R + 2e)}{2b_M} + \frac{8R^2}{Cb_M} \right). \quad (9)$$

Используя данные технических характеристик машин и кинематические характеристики участка, по формулам (7) и (9) можно определить площадь поля, подвергающуюся воздействию ходовых систем машин для указанных способов движения.

При способе движения «всвал» поле или участок разбивают на загоны, которые затем убирают, двигаясь против или по часовой стрелке в зависимости от конструкций машин и их технологического взаимодействия. Общая длина следа запишется в виде:

$$S_{общ} = A \left(\frac{2\ell + C + 2(R + 2e)}{2b_M} + \frac{1}{C} \cdot \frac{8R^2}{b_M} \right), \quad (10)$$

и с дополнительным проходом:

$$S_{общ} = A \left(\frac{2\ell + C + 2(R + 2e)}{2b_M} + \frac{1}{C} \cdot \frac{8R^2}{b_M} + e \right). \quad (11)$$

Продифференцировав уравнения (9) и (11) по C и решив полученные выражения, получим оптимальные значения ширины загона. Для первого случая

$$\frac{dS_{общ}}{dC} = \frac{1}{2b_M} - \frac{1}{C^2} \cdot \frac{8R}{b_M}. \quad (12)$$

$$C_{ОПТ} = 4R, \text{ при } R = b_M \rightarrow C_{ОПТ} = 4b_M.$$

Для второго случая

$$\frac{dS_{общ}}{dc} = \frac{1}{2b_M} - \frac{1}{c^2} \cdot \left(\frac{8R}{b_M} + e \right), \quad (13)$$

$$C_{ОПТ} = \sqrt{2(b_M \cdot \ell + R^2)}.$$

Площадь, подвергаящаяся воздействию ходовой системы машин при уборке поля способом «вразвал», определяется по следующим формулам:

$$F_{СЛ} = A \cdot b_{СЛ} \left(\frac{2\ell + C + 2(R + 2e)}{2b_M} + \frac{8R^2}{Cb_M} \right), \quad (14)$$

или

$$F_{СЛ} = A \cdot b_{СЛ} \left(\frac{2\ell + C + 2(R + 2e)}{2b_M} + \frac{8R^2 + b_M \cdot C \cdot \ell}{Cb_M} \right). \quad (15)$$

При заданной площади участка его длина и ширина взаимообусловлены. Поэтому при анализе более правильным будет говорить об оптимальном соотношении этих величин. Выразив b и C через μ , получим выражения:

$$\mu_{ОПТ} = \frac{4R}{\ell}, \quad (16)$$

и

$$\mu_{ОПТ} = \sqrt{\frac{2(b_M \cdot \ell + 8R^2)}{\ell}}. \quad (17)$$

Для беспетлевых способов движения $C_{ОПТ}$ и $\mu_{ОПТ}$ рассчитываем по приведенным формулам, получаются меньше их минимальных значений, обусловленных требованием беспетлевого поворота. Исходя из этого требования:

$$C_{\min} > 2R. \quad (18)$$

При круговом способе движение происходит от периферии к центру по свертывающейся спирали с правым или левым поворотами. В связи с тем, что машина входит в поворот с переменным радиусом, по углам загона остаются неубранные площади, которые располагаются по биссектрисе прямого угла от периферии к центру. Чтобы растения не сминались колесами машин при последующих проходах, необходимы угловые прокосы шириной $2b_M$. На въезде и выезде выполняют повороты длиной $6R$. В конце уборки загона на ширине $2R - b_M$ производятся петлевые повороты количеством $n = \frac{2R}{b_M} - 1$. Исходя из изложенного, холостой путь машины будет равен:

$$\ell_X = 2,8C + (6R + 2e) \left(\frac{2R}{b_M} - 1 \right) + 18R. \quad (19)$$

При известных значениях R и b_M будет зависеть от C , ℓ и их соотношения μ . Первый член уравнения связан с шириной загона следующей зависимостью:

$$\ell'_X = f\left(\frac{F}{C}\right) \text{ при } C > \ell (\mu > 1). \quad (20)$$

При $C = \ell$ ($\mu = 1$) ℓ'_X имеет наибольшее значение, которому соответствует и наибольшее значение общего пути машины на участке. Чтобы обеспечить меньший холостой путь при уборке

прямоугольного участка, угловые прокосы необходимо выполнять при меньших сторонах участка. Площадь следов при круговом движении определится из выражения:

$$F_{СЛ} = b_{СЛ} \left(\frac{\mu \ell^2}{b_M} + 2,8\mu\ell + (6R + 2e) \left(\frac{2R}{b_M} - 1 \right) + 18R \right). \quad (21)$$

Разбивка квадратного участка на прямоугольные загоны не уменьшает общей площади уплотнения и может применяться с целью сокращения холостых переездов транспортных средств. Для этой же цели при заготовке сенажа и силоса целесообразно прокашивать транспортные магистрали.

Заключение

Результаты исследований показывают, что кратность воздействия кормоуборочных комплексов достигает восьми, а площадь уплотнения до 70 % от общей убираемой площади поля; применение прицепных машин практически в 2 раза увеличивает площадь уплотнения поля ходовыми системами, что определяет пути решения проблемы.

Список использованных источников

1. Быков, Н. Н. Рациональное использование кормоуборочной техники в технологических операциях заготовки кормов (для условий БССР) : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01; 05.20.03 / Н. Н. Быков. – Горки, 1989. – 198 л.
2. Непарко, Т. А. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учеб. пособие / Т. А. Непарко, А. В. Новиков, И. Н. Шило; под общ. ред. Т. А. Непарко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.

А. В. Дунаев¹, В. Е. Тарасенко², А. А. Жешко³

¹*Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация*

²*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

³*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь*

БЕСПРИБОРНЫЕ ПРИЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Приведен перечень актуальных органолептических приемов оценки состояния ДВС авто-тракторной техники, которые наряду с современными средствами диагностирования позволяют достаточно эффективно определять техническое состояние машин, не прибегая к использованию дорогостоящего оборудования и существенно снижая трудоемкость осуществления диагностирования.

Ключевые слова: органолептика, масло, контроль, цвет, дымность, угар масла, износ.

A. V. Dunaev¹, V. E. Tarasenko², A. A. Zheshko³

¹*Federal Scientific Agroengineering Center "VIM"
Moscow, Russian Federation*

²*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus*

³*RUE "SPC NAS of Belarus on Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus*

NON-SELECTIVE TECHNIQUES FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOMOTIVE ENGINES

Abstract. The list of actual organoleptic techniques for assessing the state of the internal combustion engine of tractor equipment is given, which, along with modern means of diagnostics, make it possible to determine the technical condition of machines quite effectively, without resorting to the use of expensive equipment and significantly reducing the complexity of diagnostics.

Keywords: organoleptics, oil, control, color, smokiness, oil fumes, wear.

Введение

В настоящее время существует проблема преемственности в передаче знаний, при этом особое значение имеют обобщение и систематизация накопленного ранее опыта в области органолептических методов контроля технического состояния машин. Органолептические методы основаны на анализе информации, воспринимаемой органами чувств (зрения, обоняния, осязания, слуха, вкуса) без применения технических измерительных или регистрационных средств. Эта информация не может быть представлена в численном выражении, она основывается на ощущениях, генерируемых органами чувств мастера-диагноста. Решение относительно объекта контроля принимается по результатам анализа чувственных восприятий [1]. Точность метода зависит от квалификации, опыта и способностей специалистов, проводящих диагностирование. При органолептическом контроле могут использоваться технические средства, повышающие разрешающие способности или восприимчивость органов чувств (лупа, микроскоп, слуховая трубка и т. п.), не являющиеся измерительными.

Основная часть

Современная автотракторная техника оснащается системами управления, с помощью которых снимается информация по электрическим диагностическим сигналам, контактными и бесконтактными датчикам. Осуществляется контроль расхода топлива и других показателей машин, в том числе через спутниковые системы связи. Имеются такие частные решения и по сельскохозяйственным тракторам, для выполнения агротехнических работ разрабатываются интеллектуальные системы точного управления [2]. В ближайшем будущем управление автотракторной техникой будет еще более глубоким.

Вместе с тем в настоящее время в эксплуатации у сельхозпредприятий имеется достаточно большое количество автотракторной техники, к примеру, тракторов «Беларус-82.1», «Беларус-1221» и др., где нет диагностических средств и в целом единого универсального диагностического модуля. Флагман отечественного тракторостроения – ОАО «Минский тракторный завод» по-прежнему осуществляет массовый выпуск тракторов данных тяговых классов, для которых наиболее приемлемыми остаются бесприборные приемы контроля технического состояния и определения необходимых работ своевременного технического обслуживания (ТО) и ремонта.

В связи с отсутствием на местах необходимого диагностического оборудования и квалифицированных кадров, удорожанием запчастей и ТСМ остаются значимыми работы по обслуживанию техники сверх стандартного и расширение обобщенного контроля ее состояния органолептикой самими владельцами машин, что может быть подкреплено и приборным контролем.

Многолетняя практика использования органолептики накопила богатый опыт. Поэтому начинающие диагносты пользовались всеми доступными приборами, а опытные – обходились минимумом [2]. Известный в свое время мастер-диагност Г. И. Лехан из Нововоронцовской райсельхозтехники Херсонской области на Всесоюзном семинаре по диагностике в Тартуском филиале ЦОКТЬ ГОСНИТИ в 1983 г. заявил: «Настоящим диагностом является тот, кто без приборов быстро находит неисправности и помогает быстро их устранять». А проверка перед семинаром использования 33 диагностических средств ГОСНИТИ в Эстонии, Ленинградской и Псковской областях, проведенная Тартускими специалистами, показала, что местные диагносты, опробовав все приборы, применяют лишь промышленный электротестер Ц-4324, гидротестер Лаборатории № 17 ГОСНИТИ и расходомер картерных газов КИ-13671-ГОСНИТИ от Лаборатории № 24. Ниже приведен их опыт по своевременному выявлению неисправностей дизелей, предотвращению их интенсивного изнашивания и отказов.

Внешний осмотр, слушивание, оценка срока службы машины и квалификации оператора могут дать первую характеристику дизеля, вторую даст эмоциональная оценка оператором значений мощности и расхода ТСМ. Затем целесообразно провести контроль показателей моторного масла, которое проверяют на:

– *цвет, прозрачность, расслоение, взвеси*. Свежее масло прозрачно, сине-зеленого или светло-коричневого цвета, а долго работавшее коричневого, серого или черного цвета. Последний не является браковочным, он свидетельствует о моющих свойствах и является следствием насыщения масла отмытыми загрязнениями и частицами сажи неполного сгорания топлива. Если масло белесое, мутное, – оно обводнено и полностью испорчено. Чрезмерно вязкое масло, оставляющее на фильтровальной бумаге густое черное пятно с отблеском или не расплывающуюся каплю – брак; если оно расслаивается, когда верх обманчиво прозрачен и золотист, а низ мутен, содержит взвеси, осадок, шлам, то масло также следует отнести к браку, а агрегат с такими маслами может быть в аварийном состоянии;

– *металлические частицы*, извлекаемые сильным магнитом, блески металла в срезе осадка в реактивной масляной центрифуге, на поверхностях бумажных маслофильтров, на дне картеров;

– *абразивные механические примеси*. При истирании масла с абразивными частицами между стеклянными пластинками или из закаленной стали слышен скрип, а на пластинах образуются риски;

– *вязкость*. О ней можно судить по скорости стекания масла с масломерного шупа, истиранию масла пальцами, но это выявляет только очень разжиженное масло. Для достоверного контро-

ля можно использовать длинную стеклянную трубку с шариком из подшипника. Разница между внутренним диаметром трубки и диаметром шарика может быть 0,3–1,0 мм. Вязкость оценивают сравнением времени падения шарика в эталонном и проверяемом масле. Возможно также контролировать время подъема пузырька воздуха при переворачивании трубки; известны и самоделки из наклонных пластин, в каналах которых сравнивают время стекания масел. Кроме стандартизованного контроля вискозиметрами в термостатах имеются и простые промышленные средства;

– *обводненность*: по паровыделению и каплепадению из сапуна, по запотеванию его крышки, крышки маслозаливной горловины, внутренности клапанной крышки. Если нанести каплю масла на запястье руки в теплом помещении, то по вытеканию микроструек по бороздкам кожи выявляют воду. В стационаре возможно: капнуть каплю масла на разогретую электроплитку с закрытой спиралью, или поджечь промасленный фитиль, или опустить нагретое жало паяльника в масло. При контакте с электроплиткой капля масла «взрывается», от нагретого жала паяльника вода в масле зашипит, пламя горящего обводненного масла потрескивает; возможен нагрев пробы масла до температуры вспышки его паров (85–220 °С), когда обводненное масло или потрескивает, или пузырится со взрывами, или бурлит;

– *моюще-диспергирующую способность* по «капельной пробе», как интегральную проверку, позволяющую за полчаса проверить рабочие показатели масла, предупредить запоздалую его смену. При этом каплю горячего или теплого масла наносят на квадрат (50×50 мм) лабораторной фильтровальной бумаги и выдерживают 15–20 мин в тепле. При этом можно использовать офисную бумагу, белый ситец. Главная суть «капельной пробы» – в динамике масляного пятна по мере работы масла, а импортные шаблоны масляных пятен по однократному тесту – ложные. На рис. 1 показаны типичные масляные пятна [3, 4]:

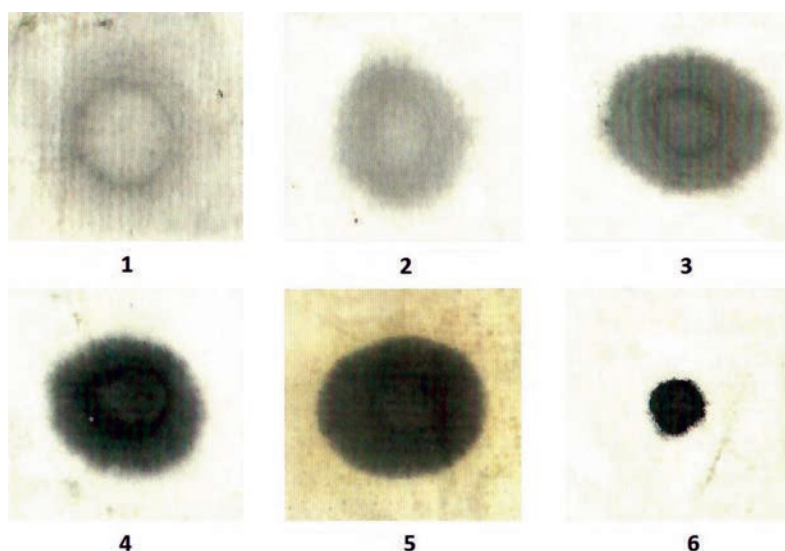


Рис. 1. Примеры капельных проб малощелочного и среднещелочного моторного масла типа М-10Г2К, масел классов качества СС, CD, CF-4, CG-4 и выше

Пятно № 1. Почти свежее масло, поработало не более 50 час; не загрязнено, расплывается на наибольший размер, дает равномерно окрашенное светло-серое пятно со светлой наружной окаемкой чистого масла.

Пятно № 2. То же, не более 100 часов. Видны: центральное ядро диаметром капли до его растекания; кольцо, окаймляющее ядро с самыми крупными механическими примесями, дающее дополнительную информацию о загрязнении масла; далее от центра – широкое кольцо зоны мелких примесей масла; и крайнее кольцо почти чистого масла. Это – эталон «капельной пробы» с большим запасом качества масла.

Пятно № 3. Грязное, много поработавшее масло, но имеющее небольшой ресурс. Ежедневный контроль может предупредить резкое ухудшение состояния масла и мотора.

Пятно № 4. Масло заметно загрязнено и потеряло моюще-диспергирующие свойства; если ДВС работает при больших нагрузках, то масло подлежит замене.

Пятно № 5. Оно может иметь желтый цвет от пережога ДВС. Масло подверглось чрезмерному окислению с образованием смол.

Пятно № 6. Масло взято из аварийного ДВС. Нужно устранить неисправности, протечку воды, промыть двигатель, залить качественное масло.

По наработке диаметр пятна масла уменьшается из-за потери моюще-диспергирующих свойств и укрупнения мехпримесей. По мере порчи масла капельная проба из светло-серой превращается в темно-черную и неуклонно уменьшается в диаметре. Если капля не растекается вообще, представляя собой шлам грязи и воды, то это признак аварийного или предаварийного состояния ДВС.

Важно взять пробу масла щупом не из верхнего, не характерного слоя масла, а донного, в котором может быть вода. Контроль донной и средней долей масла существенно уточнит её состояние, хотя не послужит для арбитражной оценки.

Мировая практика показала, что капельная проба в любых условиях позволяет быстро и эффективно контролировать масло, а по нему и состояние ДВС, предотвращать его интенсивное изнашивание и аварии без какого-либо оборудования. «Капельная проба» введена в руководства по эксплуатации транспортных, судовых и тракторных дизелей, а фирма Shell, ее разработчик, метод компьютеризировала с измерением оптической плотности масла.

В завершение контроля на прогревом ДВС при малом давлении в системе смазки следует проверить его величину механическим манометром, установив минимальную частоту вращения коленчатого вала, т. к. это самый опасный для ДВС режим.

В предаварийном состоянии ДВС возможен осторожный виброакустический контроль. Он требует навыков, памяти на «партию» нормальных и ненормальных звуков, стуков и вибрации, умения настраиваться на шумы высокого и низкого тона, сплошные, прерывистые, импульсные от КШМ, ГРМ, форсунок. Удобен медицинский фонендоскоп, защищающий уши от низкочастотного гула выхлопа и позволяющий выявлять слабые стуки низкого и высокого тона. У фонендоскопа удаляют мембранную капсулу, заглушают трубку пробкой, прижимают трубку к местам контроля с разным усилием, что позволяет различать глухие и звонкие стуки.

Предварительный анализ интенсивности, характера и условий проявления стуков по времени и режимам работы ДВС по данным оператора с анализом других проверок необходим перед углубленной проверкой стуков на повышенной частоте вращения коленвала для избежания аварии ДВС при диагностировании.

Аварийные стуки в ДВС редки и обусловлены только нарушением правил эксплуатации ДВС или чрезмерной изношенностью КШМ. Они прослушиваются простейшим стетоскопом и на слух в зоне коренных подшипников при средних и малых частотах вращения коленчатого вала. Стуки в ЦПГ трудно различимы. Резко выделяются звонкие стуки ГРМ, частые и высокого тона. Они прослушиваются издали и на любой частоте вращения коленчатого вала. У мощных низкооборотных дизелей стуки ГРМ сопоставимы с так называемыми «форсуночными» стуками, которые можно выделить отключением топливоподачи в форсунки.

Контроль ЦПГ можно выполнять различными методами [2, 3, 5]:

– по дымности отработавших газов (ОГ). Начинающееся интенсивное изнашивание ЦПГ, сопровождающееся повышенным расходом моторного масла на угар, т. е. его повышенным сгоранием в ЦПГ, проявляется бело-голубым, а при большом износе ЦПГ даже синим цветом ОГ. В ОГ возможны туман и капли масла, что проверяется отпечатком на бумаге или на ладони руки у обреза выпускной трубы. На отпечатке возможны и частицы сажи неполного сгорания топлива.

Черный цвет дыма говорит о неполном сгорании топлива из-за его избытка или недостатка воздуха (засорены воздушные фильтры и/или снижено давление наддува) и к износу ЦПГ отношения не имеет. Аналогично при плохом распыле топлива форсунками его часть в цилиндрах не загорается, и это окрашивает ОГ в беловатый цвет. Имеет место и белый «холодный дым» непрогретых дизелей. При неисправностях ГРМ с дымом у безнаддувных дизелей возможны искры, треск и грохот с ОГ;

– по расходу масла на угар. Суммируют объемы доливок масла в ДВС по мере снижения его уровня, с подсчетом расхода топлива за квартал при небольшом угаре или чаще – при большом. Метод ничего не требует, но очень информативен (рис. 2).

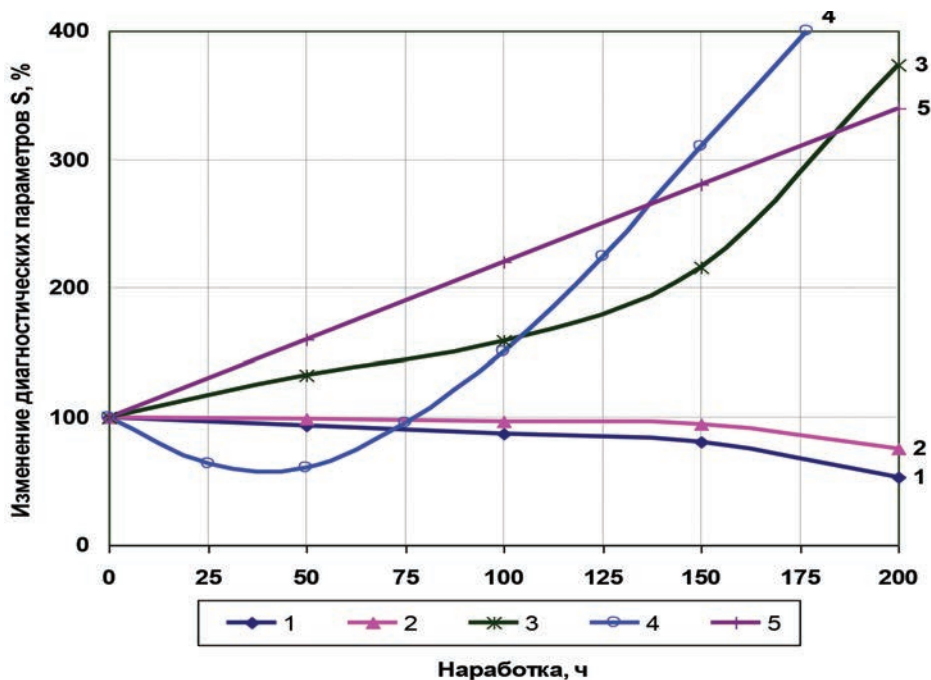


Рис. 2. Классическое изменение диагностических параметров ЦПГ по наработке ДВС: 1 – компрессия; 2 – разрежение; 3 – прорыв газов в картере; 4 – угар масла; 5 – утечка сжатого воздуха при положении поршня в ВМТ

Суммируя расход масла на долив, исключают явные протечки, видимые на деталях ДВС, унос масла с картерными газами системой вентиляции, потери с парами масла и брызгами из сапуна, осадок масла в поддоне воздухоочистителя, другие грубые протечки, а особенно расход через ГРМ при неисправных маслоотражательных колпачках. При чрезмерном износе ЦПГ возможен прямой унос масла с ОГ, что указано выше. Однако могут быть случаи повышения уровня масла в картере из-за попадания в него топлива (протечки из системы питания в картер, проникновение из камеры сгорания несгоревшего топлива).

Контроль угара масла обобщенно оценивает износ компрессионных и маслосъемных колец всех поршней. Его полезно сочетать с контролем давления газов в картере U-образно смонтированной прозрачной трубкой с водой, присоединяемой к картерному пространству, или с контролем расхода газов, прорывающихся из камер сгорания в картер ДВС, но это требует наличия хотя бы простейшего индикатора расхода газов КИ-13799-ГОСНИТИ. Если угар масла и прорыв газов не противоречивы и выше допустимых – нужна замена колец. При исправных маслоотражательных колпачках и отсутствии протечек достаточен контроль угара масла.

Ранее пределами угара масла до плановой переборки ДВС были 3,5–5 % от расхода топлива, для современных автотракторных дизелей это 2,5–3 %, у импортных дизелей – 2,5 % при номинальном значении угара 0–0,05 %. У тракторных двигателей Detroit International DTA 530E расход масла на угар составляет 0,2 % от расхода топлива, у двигателей Deutz BF6M1013FC – 0,3–0,75 %. Приведенные нормативы относятся именно к угару масла в ЦПГ при исправном состоянии систем питания (отсутствие разжижения масла несгоревшим топливом), воздухоподачи (без отсоса масляного тумана при загрязненных воздухоочистителях), без потерь масла в ТКР и воздушном компрессоре.

Дизель устойчиво работает с угаром масла до 10 % и в крайнем случае предел угара масла можно определить по отношению затрат на его долив за сезон к затратам на замену поршневых колец или на полную замену ЦПГ.

Визуальный контроль давления или расхода картерных газов может выявить только повышенный износ ЦПГ, когда значителен выход газов из сапуна и они выносят даже брызги масла. Более точен контроль по скорости нарастания давления газов в картере, но при герметизации картерного пространства.

На рис. 2 показано изменение параметров состояния не аварийной ЦПГ [3]. При этом менее показательные компрессия и разрежение в цилиндрах, определяемые на неработающих ДВС, уменьшаются только на 15–50 %, а более информативные, определяемые на работающих ДВС, увеличиваются в 3–5 и более раз, как, например, угар масла и расход картерных газов. Кривая 4 на рис. 2 показывает уменьшение угара масла в начале эксплуатации, что соответствует приработке ДВС, поэтому более полувека этот параметр считается очень достоверным.

Высокая информативность расхода масла на угар позволяет, хотя и обобщенно, оценивать состояние ЦПГ и предотвращать работу ДВС в предаварийном режиме. Сопоставляя фактический угар масла с допустимыми (ремонт не требуется) и предельными (ремонт требуется) нормами, можно планировать дизелю сроки и виды ремонтно-обслуживающих воздействий.

Другой обобщенный метод оценки состояния ЦПГ – по времени прокрутки ДВС для пуска. На форсунках оценивают внешний вид (чистые и сухие, без замасливания, нагара и кокса, без ржавчины в штуцере форсунки), можно заглянуть в цилиндры или проверить шупом чистоту поршня, отсутствие на нем масла, а в крайних случаях воды или дизельного топлива.

На бензиновых ДВС оценивали работу цилиндров по снижению частоты вращения коленвала при отключении их зажигания. Но для современных автотракторных дизелей с большим моментом инерции коленчатого вала и маховика, со всережимным регулятором ТНВД отключение топливоподачи в один-два цилиндра ощутимого снижения частоты вращения коленвала не дает.

Таким образом, имеется арсенал приемов органолептического контроля состояния ДВС, который позволяет предотвращать неправильную их эксплуатацию, повышенное изнашивание и аварии без применения средств диагностики.

Однако диагностирование по обычным параметрам не подкреплено определением степени и причин повышенного изнашивания узлов трения, что несложно выявлять различно, в т. ч. приборами марки ФЧМ-П.

Износы деталей в нормальных условиях эксплуатации невелики: в прецизионных парах топливной аппаратуры это микроны, в гидроприводах, ЦПГ и КШМ ДВС – сотые доли мм, в узлах силовых передач – десятые доли мм, и только во внешних узлах миллиметры. Но именно они на 80 % обуславливают снижение работоспособности и отказы агрегатов машин. Поэтому выявление степени и причин повышенного и аварийного изнашивания является первостепенной задачей диагностирования МТП, чтобы уменьшать его отказы и продлевать эксплуатационный ресурс. Со временем будет возможна широкая проверка содержания стальных частиц износа в маслах датчиком на основе планарной катушки Тесла [6].

Высокая чувствительность спектрального анализа, в т. ч. несложными приборами ФЧМ-П позволяет контролировать даже начальные износы поршневых колец, подшипников КШМ и др. Но эти приборы не выявляют кремний загрязнений – главного агента абразивного изнашивания. Поэтому актуальна проверка абразивов в масле, например, истиранием ее капли между стеклянными пластинами [2, 3, 7, 8]. При этом опасный абразив со скрипом оставляет на пластинах царапины.

Загрязнение масел абразивами обусловлено загрязнением машин, протечками масел через неплотности агрегатов: при нагреве агрегатов из них идут протечки, а при охлаждении всасываются загрязнения. А для аварийного изнашивания ДВС с 15 л масла достаточно попадания 0,1 см³ пыли, грязи.

Изнашивания можно контролировать с помощью неодимовых магнитиков (3, 4, 5 мм диаметром и 4, 5, 8 и 12,5 мм длины) с большой силой сцепления. Взвесив их на лабораторных весах с погрешностью не более 10 мг, опустив на проволоке магнит через маслозаливную горловину или вместо масломерного шупа на 100 с в масло работающего на холостом ходу ДВС, промыв магнит с частицами от масла в бензине/дизтопливе, высушив и повторно взвесив, можно экспертно выявлять интенсивность изнашивания ДВС.

Давно оценивают изношенность ДВС по анализу среза осадков в РМЦ, где могут быть видны блестящие частицы металлов [2, 8].

Заключение

Таким образом, бесприборные приемы контроля технического состояния автотракторных двигателей являются эффективным комплексом мер определения технического состояния машин и в настоящее время. При этом обобщенный бесприборный контроль состояния машин может сочетаться с приборным контролем и данными бортовых систем контроля.

Список использованных источников

1. Ассоциация ЕАМ. Субъективные (органолептические) методы технического диагностирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eam.su/subektivnye-organolepticheskie-metody-technicheskogo-diagnostirovaniya.html>. – Дата доступа: 01.11.2023.
2. Дунаев, А. В. Диагностирование двигателей внутреннего сгорания и планирование их ремонта на основании качественных признаков технического состояния / А. В. Дунаев, М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 2. – С. 41–46.
3. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В. П. Миклуш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – 392 с.
4. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотракторной техники / В. В. Ладиков [и др.]. – Москва : ВИССО, 2004. – 52 с.
5. Дунаев, А. В. Диагностирование двигателей внутреннего сгорания и планирование их ремонта на основании качественных признаков технического состояния / А. В. Дунаев // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 112, ч. 1. – С. 172–177.
6. Способ оперативного контроля качества трансмиссионного масла : пат. RU 2758746 / И. С. Филатов, Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, Г. В. Рыбин, А. Е. Ломовских. – Оpubл. 01.11.2021.
7. Ананьин, А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2015. – 416 с.
8. Дунаев, А. В. Выявление неисправностей двигателей внутреннего сгорания / А. В. Дунаев // Сельский механизатор. – 2013. – № 10. – С. 38–41.

А. Н. Смирнов¹, Н. В. Серебрякова¹, П. В. Авраменко¹, Н. Д. Лепешкин², Е. Ю. Жушма¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: ansna2013@mail.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЗВЕНА ГИДРОЦИЛИНДРА ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА С ПОЗИЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрена методика выбора рационального режима движения исполнительного звена (штока) гидроцилиндра фронтального погрузчика с позиции энергосбережения.

Ключевые слова: погрузчик, шток гидроцилиндра, приведенное усилие, приведенная масса, режим движения, гидравлические потери, энергосбережение.

A. N. Smirnov¹, N. V. Serebryakova¹, P. V. Auramenka¹, N. D. Lepeshkin², E. Yu. Zhushma¹

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: ansna2013@mail.ru

²RUE “SPC NAS of Belarus on Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

SELECTION OF A RATIONAL MODE OF MOTION OF THE EXECUTIVE ELEMENT OF A FRONT LOADER HYDRAULIC CYLINDER FROM THE POSITION OF ENERGY SAVING

Abstract. The article discusses the methodology for choosing a rational mode of movement of the actuator link (rod) of a front loader hydraulic cylinder from the position of energy saving.

Keywords: loader, hydraulic cylinder rod, reduced force, reduced mass, driving mode, hydraulic losses, energy saving.

Введение

Фронтальные погрузчики применяют в различных отраслях народного хозяйства для выполнения широкого спектра работ с использованием различного сменного рабочего оборудования [1]. Спрос на эти универсальные машины постоянно растет. По статистике, каждый третий погрузчик используется в агропромышленном комплексе.

Технический прогресс в этой области направлен на постоянное совершенствование конструкций этих машин, и его основным направлением является улучшение их технико-экономических параметров [2, 3].

Фронтальные погрузчики являются гидрофицированными, циклического действия, имеют погрузочное оборудование, которое приводится в действие, как правило, с помощью двух стреловых и ковшового гидроцилиндров.

Конструкция и параметры погрузочного оборудования фронтального погрузчика, включающая гидромеханизм подъема стрелы, во многом определяет его технико-экономические показатели, основными из которых являются увеличение грузоподъемности (производительности), повышение энергоэффективности и топливной экономичности [4–7].

Рассмотрим вопрос выбора рационального режима движения исполнительного звена (штока с поршнем) стрелового гидроцилиндра с позиции энергосбережения при работе погрузчика.

Основная часть

При работе одноковшового фронтального погрузчика в целях сокращения времени цикла и повышения производительности операции подъезда погрузчика с грузным ковшом к транспортному средству и подъема стрелы должны совмещаться.

Найдем закон движения штоков стреловых гидроцилиндров, при котором работа, затраченная на подъем груза, будет минимальной.

Рациональным с точки зрения энергозатрат на подъем груза в ковше будет случай, когда за время подъезда погрузчика к транспортному средству штоки стреловых гидроцилиндров должны переместиться на полный ход $S_{ш\ max}$ за время t_1 .

Рассмотрим для этого два режима движения штоков гидроцилиндров:

а) движение с постоянной скоростью ($V_{ш1} = \text{const}$);

б) движение с постоянным ускорением ($a_{ш} = d^2S_{ш} / dt^2 = \text{const}$) – переходной процесс.

Тогда комбинированный режим движения штоков можно моделировать как состоящий из указанных режимов.

Принимаем следующие допущения:

– приведенные к штоку стрелового гидроцилиндра приведенная масса $m_{пр}$ и приведенное усилие $F_{пр}$ движущихся частей погрузочного оборудования постоянны (этот случай параллельнограммного механизма, когда ковш с грузом движется поступательно при подъеме, при этом плечи стреловых гидроцилиндров в нижнем и верхнем положениях стрелы равны).

– рабочая жидкость абсолютно несжимаема.

– трение в шарнирах погрузочного оборудования не учитываем.

Работа, совершаемая стреловыми гидроцилиндрами при установившемся движении на полном ходе штока $S_{ш\ max}$ равна:

$$A_y = (F_{пр} + KV_{ш1}^2)S_{ш\ max}, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где $F_{пр}$ – приведенное к штоку стрелового гидроцилиндра усилие движущихся частей погрузочного оборудования, Н; $K = \text{const}$ – коэффициент пропорциональности между скоростью штока $V_{ш1}^2$ (м/с) и дополнительным со стороны слива рабочей жидкости на поршень усилием, учитывающий потери давления в гидравлических сопротивлениях при турбулентном режиме, кг/м; $S_{ш\ max}$ – полный ход стрелового гидроцилиндра, м.

Так как на сообщении штоку скорости $V_{ш1}$ требуется определенное время разгона t_p , то считаем, что в первом случае $t_p \rightarrow 0$ и соответственно путь, пройденный штоком при разгоне, $S_{шp} \rightarrow 0$ вследствие скачкообразного открытия золотника, которое равно $\approx 0,1$ с.

С учетом кинетической энергии, необходимой для разгона штока, выражение (1) запишем так:

$$A_y = m_{пр}V_{ш1}^2 / 2 + (F_{пр} + KV_{ш1}^2)S_{ш\ max}, \text{ Дж}.$$

Так как $V_{ш1} = S_{ш\ max} / t_1$, то работа при постоянной скорости штока равна:

$$A_y = m_{пр}S_{ш\ max}^2 / (2t_1^2) + F_{пр}S_{ш\ max} + K S_{ш\ max}^3 / (t_1^2), \text{ Дж}.$$

Работа A_p , совершаемая стреловыми гидроцилиндрами при движении штока с постоянным ускорением $a_{ш}$ с учетом сил инерции равна:

$$A_p = (m_{пр}a_{ш} + F_{пр})S_{ш\ max} + K \int_0^{S_{ш\ max}} V_{ш}^2 dS_{ш}, \text{ Дж}. \quad (3)$$

Так как при равноускоренном движении

$$a_{ш} = 2S_{ш\ max} / t_1^2 \quad (4)$$

и

$$V_{ш}^2 = 2a_{ш}S_{ш}, \quad (5)$$

то, подставляя выражения (4) и (5) в формулу (3), после преобразований получим:

$$A_p = 2K S_{ш\ max}^3 / t_1^2 + 2m_{пр} S_{ш\ max}^2 / t_1^2 + F_{пр} S_{ш\ max}, \text{ Дж.} \quad (6)$$

График режимов движения штоков гидроцилиндров изображен на рис. 1.

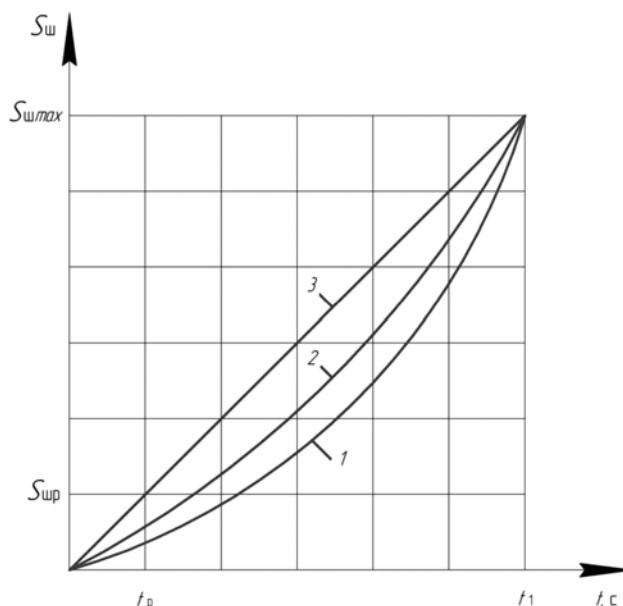


Рис. 1. Режимы движения штоков стреловых гидроцилиндров: 1 – режим движения штока с постоянным ускорением ($a_{ш} = \text{const}$; $S_{ш\ пр} = S_{ш\ max}$); 2 – комбинированный (общий) режим ($a_{ш} = \text{const}$; $V_{ш1} = \text{const}$); 3 – рациональный с энергетической точки зрения режим движения штока ($V_{ш1} = \text{const}$; $S_{ш\ пр} = 0$)

Анализ уравнений (2) и (6) показывает, что работа, совершаемая стреловыми гидроцилиндрами в указанных режимах, при одинаковых приведенных массе $m_{пр}$, усилнии $F_{пр}$, ходе штока $S_{ш\ max}$ и времени t_1 , при постоянной скорости штоков будет всегда меньше, чем в случае их ускоренного движения ($A_y < A_p$).

Разница работ, совершаемых стреловыми гидроцилиндрами в рассмотренных случаях, составляет:

$$A_y - A_p = (K S_{ш\ max}^3 + 1,5m_{пр} S_{ш\ max}) / t_1^2, \text{ Дж.}$$

Значит, при комбинированном режиме движения ($0 < t_p < t_1$) штоков величина работы A_k для этого случая будет находиться в пределах, определяемых уравнениями (2) и (6):

$$A_y < A_k < A_p.$$

Следовательно, рациональным с позиции энергосбережения будет режим движения штоков гидроцилиндров, при котором они движутся с постоянной скоростью $V_{ш1}$ на протяжении всего хода $S_{ш\ max}$, т.е. период разгона (переходный процесс) должен быть наименьшим, что соответствует скачкообразному открытию золотника гидрораспределителя и постоянной подаче регулируемого насоса. На рис. 1 этому режиму соответствует линия 3.

Заключение

Разработанная методика выбора рационального движения исполнительного звена (штока) стрелового гидроцилиндра с позиции энергосбережения позволяет снизить до минимума гидравлические потери в сливной линии гидропривода, сохранить время цикла, повысить КПД, уменьшить расход топлива, что следует учитывать при эксплуатации одноковшовых фронтальных погрузчиков.

Список использованных источников

1. Базанов, А. Ф. Самоходные погрузчики / А. Ф. Базанов, Г. В. Забегалов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 406 с.
2. Радкевич, В. В. Основные тенденции конструирования фронтальных пневмоколесных погрузчиков в отрасли / В. В. Радкевич // Строительные и дорожные машины. – 1988. – № 3. – С. 13–14.
3. Смирнов, А. Н. Тенденции развития одноковшовых фронтальных погрузчиков / А. Н. Смирнов, П. В. Авраменко, Н. Г. Серебрякова // Материалы Международной науч.-практ. конференции «Белагро-2019»; БГАТУ, Минск, 6–7 июня 2019. – С. 422–426.
4. Анализ кинематических схем погрузочного оборудования одноковшовых фронтальных погрузчиков / А. Н. Смирнов [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 ноября 2019 года : в 2 ч. / редкол.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 270–271.
5. Улучшение кинематических параметров гидромеханизма подъема стрелы фронтального погрузчика / А. Н. Смирнов [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 ноября 2020 года: сб. науч. ст. / редкол.: Н. Г. Серебрякова [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 207–212.
6. Смирнов, А. Н. Рекомендации по повышению энергоэффективности одноковшовых фронтальных погрузчиков при эксплуатации / А. Н. Смирнов, П. В. Авраменко. – Минск : БГАТУ, 2020. – 76 с.
7. Смирнов, А. Н. Научно-технические основы проектирования фронтальных погрузчиков: монография / А. Н. Смирнов, П. В. Авраменко. – Минск : БГАТУ, 2021. – 172 с.

С. Ю. Лазарев¹, В. Е. Тарасенко², А. В. Дунаев³, А. А. Жешко⁴

¹ООО «НПО «Геоэнергетика»
г. Калуга, Российская Федерация

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

³Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация

⁴РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОМОДИФИКАТОРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Рассмотрено применение при эксплуатации и ремонте автотракторных двигателей нового класса конструкционных материалов – геомодификаторов поверхностей трения, обуславливающих образование на поверхностях трения углеродных алмазоподобных износостойких антифрикционных покрытий от нескольких до десятков микрон. Описаны физические механизмы, приводящие к повышению свойств различных объектов при вводе в их масла высокодисперсных серпентиновых составов – смесей гидросиликатов магния, алюминия, никеля, железа. На базе многочисленных испытаний различных двигателей показаны изменения их эксплуатационных показателей после ввода составов в работающие ДВС и при станочном способе изготовления их деталей.

Ключевые слова: двигатель, состав, геомодификатор, обработка, трение, износ, расход, компрессия.

S. Yu. Lazarev¹, V. E. Tarasenko², A. V. Dunaev³, A. A. Zheshko⁴

¹LLC “SPA “Geoenergetika”
Kaluga, Russian Federation

²EI “Belarusian State Agrarian Technical University”
Minsk, Republic of Belarus

³Federal Scientific Agroengineering Center “VIM”
Moscow, Russian Federation

⁴RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus

THE IMPORTANCE OF GEOMODIFIERS OF FRICTION SURFACES DURING OPERATION AND REPAIR OF AUTOTRACTOR ENGINES

Abstract. We are considering the use of a new class of structural materials in the operation and repair of automotive and tractor engines – friction surface geomodifiers, which cause the formation of carbon diamond-like wear-resistant anti-friction coatings from several to tens of micrometers on the friction surfaces, is considered. The physical mechanisms are described that lead to an increase in the properties of various objects when highly dispersed serpentine compositions – mixtures of hydrosilicates of magnesium, aluminum, nickel, and iron are introduced into their oils. On the basis of numerous tests of various engines, changes in their performance indicators are shown after the introduction of the compositions into the working internal combustion engines and during the machine-tool method of manufacturing their parts.

Keywords: engine, composition, geomodifier, processing, friction, wear, consumption, compression.

Введение

На современном этапе развития автотракторостроения встает дилемма: искать для двигателей новые источники энергии или рассматривать пути их совершенствования. В первом случае рассматривается переход на электрические двигатели [1], однако высказываются серьезные со-

мнения в том, что в Российской Федерации (РФ) и в Республике Беларусь (РБ) автотракторная техника с аккумуляторными батареями в ближайшие 50 лет станет массовым средством механизации и транспорта. Подобные сомнения основаны на следующем: для зарядки электромобилей требуется в 1,4 раза больше ресурсов, чем обычно; необходима организация соответствующей инфраструктуры; аккумуляторные батареи имеют малый ресурс по времени и по пробегу машин, а их утилизация требует значительных затрат. Для внутризаводского транспорта этот недостаток можно проигнорировать, но на магистральном транспорте, особенно с автотракторными двигателями, он является принципиальным препятствием.

Во втором случае рассматривают пути совершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС), включающие повышение механического, индикаторного и эффективного КПД, снижение вредных выбросов, сокращение расхода топлива и смазки, улучшение экологических показателей. Это становится возможным при использовании принципиально новых конструкционных материалов, модификации процессов горения топлива и др. К числу таких новых материалов относятся минеральные составы природного происхождения, модифицирующие поверхности пар трения и позволяющие получить ряд новых эффектов. Наиболее распространенными из них являются серпентиниты разных структурных форм. Первое применение их относится к середине XX века [2].

Целью данной статьи является освещение и анализ результатов проведённых с 1990 г. по настоящее время работ по использованию геомодификаторов трения применительно к ДВС.

Идеи по применению природных минералов в различных областях техники впервые с 30-х гг. XX века сформулированы академиком В. И. Вернадским и его учеником А. Е. Ферсманом. Со второй половины 60-х гг. с развитием космонавтики, атомной промышленности минеральные материалы начали применять для обеспечения надежности техники, работающей в экстремальных условиях. По данной тематике работала, например, лаборатория института ЛИАПа под руководством д.т.н. М. С. Каткова. Теоретическое же обоснование применения слоистых кристаллических веществ как высокотемпературных твердофазных смазочных материалов впервые дала Г. П. Майорова [3], которая, однако, не рассматривала природные материалы. В исследованиях природных материалов и покрытий деталей для современной техники участвовали ряд гражданских, оборонных и научных организаций, в т. ч. институт «Механобр», ИМАШ РАН, НИИ и вузы аграрного профиля, БГАТУ. За рубежом исследования проводились в Пекинском университете Циньхуа, Финляндии, Японии, Германии.

Данные исследования (список публикаций насчитывает более 2000 наименований) убедительно подтвердили, что, например, серпентиниты являются эффективным конструкционным материалом, применяемым в виде противоизносных антифрикционных покрытий деталей машин. В 2007 г. эти представления на уровне кристаллографии оформлены в Российской Федерации как научное открытие № 323 [4]. Один из авторов данной статьи является соавтором данного открытия.

Основная часть

Исходя из физико-механических характеристик высокодисперсных порошков слоистых гидросиликатов металлов с плоскостями из кремнекислородных соединений, положительные результаты их ввода в смазки узлов, агрегатов, например, по снижению износа, обусловлены следующим:

– высокое сродство кремния и кремнекислородных октаэдров в серпентинах к железу и к некоторым другим веществам делает возможным получение стойких покрытий на поверхностях трения;

– адгезионные связи между покрытиями из серпентинов в 80–150 раз ниже, чем у традиционных материалов, что обуславливает низкие коэффициенты их трения;

– иницилируемые порошками смесей серпентинов покрытия наращиваются при взаимодействии поверхностей трения с толщиной от долей до десятков и сотен мкм, а в отдельных случаях до 1 мм и в смазках, и на сухую.

В статье не рассматриваются технологии формирования покрытий на поверхностях деталей ДВС. Это осуществляется как безразборной обработкой ДВС (приработкой трибосостава) [5–13], так и станочным способом [14–16].

Ниже рассмотрены некоторые эффекты от ввода в масла ДВС качественных высокодисперсных серпентиновых порошков.

Уменьшение механических потерь

Весьма информативным параметром для оценки конструкции ДВС является механический КПД ($\eta_{\text{мех}}$). Этот показатель можно определять, например, мотор-тестерами типа К-297 или измерительно-вычислительными комплексами (ИВК). Испытания на ДВС разных типов показали, что в штатном исполнении их механический КПД составляет:

- для бензиновых ДВС – 0,74–0,87 (рис. 1), причем КПД слабо зависит от наработки (пробега);
- для дизелей [17] – 0,70–0,87;
- для газовых ДВС – 0,75–0,80;
- для четырехтактных и двухтактных ДВС с наддувом – до 0,92.

В [18] показано, что распределение механических потерь в четырехтактном двигателе при частоте вращения 4000 мин^{-1} по узлам и механизмам следующее: ЦПГ – 43 %; аэродинамические потери – 17 %; гидравлические потери – 16 %; в ГРМ – 7 %; в масляном насосе – 3 %; в жидкостном насосе – 6 %; в подшипниках шатунов – 13 %; в коренных подшипниках – 11 %.

Результаты формирования серпентиновых покрытий на поверхностях трения в ДВС зависят от режима приработки, от объема порошка, подаваемого в зону контакта, от свойств расходного материала. Основное требование к такой приработке ДВС – наращивание покрытия толщиной хотя бы 10–20 мкм на основных поверхностях трения. При этом условии испытания на мотор-тестере ДВС легковых автомобилей показали, что механический КПД составлял 98,2–99,5 %. В частности, на автомобиле «Волга» ГАЗ 3110 механические потери снизились с 20 % до 1,2 %.

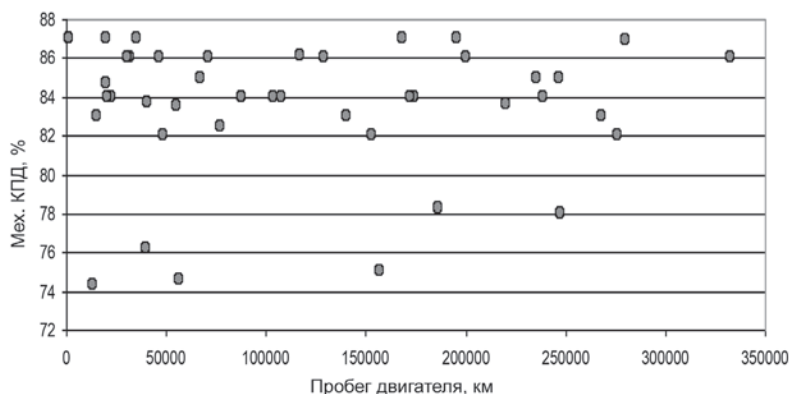


Рис. 1. Зависимость механического КПД двигателей от пробега

На рис. 2 показаны кривые изменения механического КПД от эффективной мощности для дизеля 2Ч8,5/11 в штатном состоянии, а также после модификации поверхностей трения, полученной с минеральным трибосоставом.

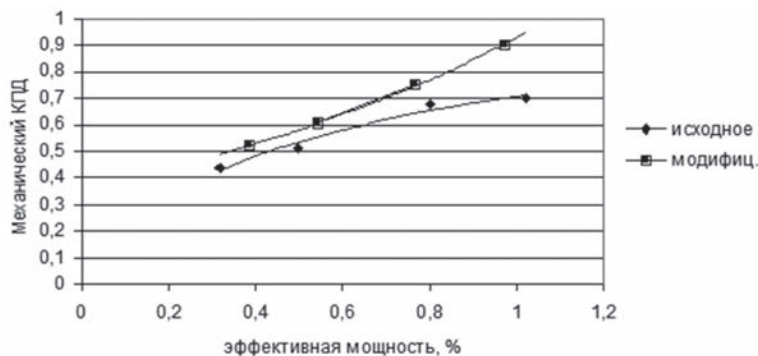


Рис. 2. Зависимость механического КПД от эффективной мощности для дизеля 2Ч8,5/11 в штатном и модифицированном состоянии

Известен большой объем испытаний различных трибосоставов на ДВС:

– в [8] Шабановым А. Ю. и Колодочкиным М. В. показаны испытания пяти составов не указанного поставщиками принципа действия:

- германский состав Liqui Moly Ceratec, содержащий «специальную микрокерамику»;
- бельгийский состав Bardahl Full Metal, обеспечивающий, по-видимому, металлоплакирующий эффект и предполагающий наличие фуллеренов C₆₀;
- российский состав Suprotec Active Plus как геомодификатор трения;
- украинский состав XADO 1 Stage Atomic Metal Conditioner, сложно обозначенный производителем как «ревитализант и кондиционер»;
- американский состав SMT Oil Treatment как «кондиционер металла».

Составами, содержащими природные вещества, являются только Suprotec Active Plus и XADO 1 Stage Atomic Metal Conditioner.

Составы несколько изменили следующие показатели ДВС:

Мощность. Прирост мощности составил: 1,3 % (SMT); 2,7 % (XADO); 2,9 % (Bardahl Full Metal); 3,7 % (Liqui Moly Ceratec); 4,0 % (Suprotec). Но даже максимальные показатели сравнимы с эффектом, который дает простейший тюнинг. Наблюдалось увеличение крутящего момента ДВС, особенно в зоне низких и средних оборотов, что обеспечивает улучшение динамики автомобиля.

Механические потери. Снижение механических потерь составило: 5,6 % (Suprotec); 4,2 % (Bardahl Full Metal); 3,4 % (Liqui Moly Ceratec); 2,9 % (XADO); 2,5 % (SMT). Такую эффективность тюнинг не дает.

Компрессия. Измерялась на полностью прогретых ДВС с постоянной частотой вращения 300 мин⁻¹. В среднем рост компрессии составил 2–3 кгс/см², что для малоизношенных ДВС незначительно. На изношенных ДВС трибообработка дает прирост компрессии 2–10 кгс/см².

Расход топлива. Обещанного рядом производителей снижения расхода на 20–30 % не наблюдалось. Получено: 7,4 % (Suprotec); 5,7 % (Bardahl Full Metal); 4,3 % (Liqui Moly Ceratec); 3,3 % (XADO); 2,5 % (SMT). Наибольшая экономия, превышающая 10 %, наблюдается на холостом ходу и при малых нагрузках, когда влияние механических потерь в ДВС максимально. В режиме номинальной мощности эффект практически исчезал. Однако в многолетних и многочисленных испытаниях, например, С. Н. Подчуфарова, И. Ф. Пустового, А. Ю. Шабанова с М. В. Колодочкиным, В. Г. Рыжова, С. Н. Шарифуллина и других снижение расхода топлива на стабильном режиме движения автомобилей достигало 7–12 %.

Токсичность отработавших газов. Изменение показателей лежит на границе погрешности измерений. Полученное снижение показателей по остаточным углеводородам происходило благодаря уменьшению расхода масла на угар. Двигатели после обработки составами расходовали масла на 15–45 % меньше.

Следует отметить, что после трибообработки естественно увеличивается выход окислов азота (NO_x).

Износ. Его оценивали содержанием продуктов износа в пробах масла, а также взвешиванием поршневых колец и вкладышей подшипников. Выявлено, что составы Bardahl и Liqui Moly лучше защищают подшипники коленчатого вала, а Suprotec и XADO – поршневые кольца и цилиндры. Установлено, что продуктов износа у обработанных ДВС на 12–60 % меньше, чем у контрольного двигателя. Косвенно это соответствует увеличению ресурса ДВС.

При обкатке по 60 ч всех ДВС с составами параметры ДВС улучшились, незначительно с составом SMT, значительно – с составами Bardahl, Liqui Moly и Suprotec, но до уровня «здорового» двигателя показатели не достигли. Компрессия увеличилась до 10–15 кгс/см², что повлияло на расход топлива и на токсичность отработавших газов. Испытания ряда специалистов геотриботехники показали, что в отдельных случаях обработанные ДВС заметно превосходили показатели новых ДВС.

По результатам исследования шатунных вкладышей, коренных вкладышей, поршневых колец выяснилось, что потери их массы снижались в 1,2–1,8 раза. Содержание продуктов износа в пробах моторного масла в целом меняется в тех же пропорциях.

Коэффициент трения: Он для Bardahl Full Metal, Liqui Moly Ceratec, SMT Oil Treatment изменился незначительно. Наибольшее снижение дали составы с геомодификаторами Suprotec Active Plus – с 0,049 до 0,025 и XAD01Stage AMC – с 0,070 до 0,040.

Твёрдость поверхностей шеек коленчатых валов двигателей после испытания увеличилась на 12 НВ только после применения состава Suprotec Active Plus.

Следует отметить, что количество геомодификатора для образования устойчивого трибопокрытия на всех поверхностях трения точно определить достаточно сложно, ряд исследователей вводили трибосоставы до 3 раз. Испытанные трибосоставы по-разному воздействовали на износ одинаковых пар трения и в основном просто тормозили изнашивание, продлевали срок службы ДВС, существенно не изменив их показатели.

Рассмотрим теперь вопрос о максимальных параметрах двигателя в случае наличия на поверхностях трения триботехнического покрытия толщиной 10–40 мкм. Для этого в [8, 12, 13, 19] приведены результаты многочисленных испытаний, в т. ч. состава «БелГео» на базе сервисного центра ОАО «МТЗ», ОАО «Любанский райагросервис», СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района Республики Беларусь.

Увеличение компрессии и восстановление ЦПГ

Трибообработка для увеличения компрессии в цилиндрах ДВС проводится по определенной процедуре, контроль в хозяйствах РБ осуществлялся с помощью высокоточного тестера с манометром COMPRECC (Арт. 102). Результаты такой работы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Увеличение компрессии в ДВС автотракторной техники

Марка автомобиля	Компрессия в цилиндрах, кгс/см ²							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Дизель Д-260.2 трактора «Беларус-1221В.2» (на базе сервисного центра ОАО «МТЗ»)								
Исходная	29	28	28,5	20	28	30	–	–
После обработки	31,5	32,5	32,5	27,9	31	32	–	–
Дизель Д-260.2 трактора «Беларус-1221В.2» (на базе ОАО «Любанский райагросервис»)								
Исходная	29,5	29	29,5	29	29,5	30,5		
После обработки	31,5	32,5	32,5	31,5	31,5	32,5		
Грузовик ЗИЛ-130								
Исходная	8,0	8,5	9,5	7,5	8,0	8,0	7,0	8,0
После обработки	8,2	12,2	10,5	10,2	9,8	10,0	11,3	9,3
А/погрузчик «Хайстер»								
Исходная	11,8	10,0	8,6	10,0	–	–	–	–
После обработки	21,0	20,0	17,0	20,0	–	–	–	–
А/погрузчик «Комасу»								
Исходная	28	28	27	28	–	–	–	–
После обработки	33	33	30	33	–	–	–	–
«ВАЗ 21093»								
Исходная	11,5	10,5	11,5	10,5				
После обработки	14,0	13,5	13,7	13,5				

При подаче значительного количества трибосостава в ДВС, а в отдельных случаях суспензии напрямую в цилиндр можно добиться полного устранения зазоров между поршнем и гильзой цилиндра. Так в ДВС автомобиля BMW X5 компрессию во всех цилиндрах довели до 16 кгс/см².

Процесс восстановления цилиндропоршневой группы ДВС в условиях их эксплуатации отработан и приводит к желаемым результатам. При этом для успешного восстановления любых, а особенно «убитых» двигателей, необходимо предварительное и последующее диагностирование ДВС и сбор данных об истории его эксплуатации и имеющихся дефектах.

Снижение расхода топлива и смазки

Уменьшение потерь на трение в двигателе естественно ведет и к снижению расхода топлива. Подтверждением этому являются специальные испытания, проведенных на стендах и в эксплуатации машин, тепловозов на лабораторных установках и на особом оборудовании.

В частности, два дизеля автобуса «Икарус» фирмы «RABA-MAN» прошли модификацию поверхностей деталей станочным методом в условиях авторемонтного завода. Испытания их на типовом стенде при скорости вращения 1600 мин^{-1} и постоянной нагрузке, равной 25 кВт, показали снижение 20-минутного расхода топлива для обоих двигателей в среднем с 4,7 л до 4,1 л (на 12,7 %). Сопоставление этих результатов показало, что механический КПД ДВС находится в пределах 0,96–0,97.

Другой случай: карьерный автосамосвал БелАЗ-7519 со степенью износа агрегатов 70–80 % имел перерасход топлива от нормативной величины на 3800 л/месяц. Через 4,5 месяца после модификации ходовой части и двигателя провели их дефектацию, которая показала, что все детали имеют номинальные размеры и на их поверхностях хорошо просматривалось трибопокрытие. В течение 3 последних месяцев эксплуатации автосамосвал стал потреблять топлива на 700 литров в месяц меньше норматива, что являлось минимальным расходом топлива по всему автопарку.

Сокращение расхода топлива связано не только со снижением механических потерь двигателя. При наличии трибопокрытий в камере сгорания действуют и другие факторы. Исследования [20] показали более полное сгорание топлива, инициированное покрытием и рост эффективной мощности ДВС.

Снижение расхода масла в модифицированном двигателе связано в основном со снижением расхода масла на угар. Расход смазочных масел определялся рядом организаций в ходе стендовых испытаний в течение 12 лет на различных типах дизелей [9–11]. При этом установлено, что расход масла на угар снижается в 2,5–3,5 раза, что дает возможность понизить его эксплуатационный расход минимум в два раза. В частности, для дизеля 2Ч8,5/11 расход масла на угар снижался в 3,28 раза. Данные тенденции свойственны и бензиновым двигателям.

Экологические показатели

При контроле отработавших газов бензиновых ДВС измеряют содержание в них СО. Для оценки наибольшего влияния геотрибопокрытий на этот показатель были выбраны наиболее проблемные двигатели. Так для автомобиля «Волга» ГАЗ-3110 содержание СО при 3700 мин^{-1} составило 7,5 %.

Данные измерений типовым газоанализатором по машинам, прошедшим трибомодификацию цилиндропоршневой группы, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание СО в отработавших газах автомобилей

Автомобиль	Режим	Содержание СО, %		
		Исходное состояние	Модифицированный двигатель	По федеральным нормам США
УАЗ 3909	Холостой ход	2,8	1,5	Менее 0,5
	Номинальные обороты	2,0	1,0	
Волга ГАЗ-21	Номинальные обороты	7,2	1,5–1,7	
Волга ГАЗ-24		6,4	0,8–1,2	

Данные таблицы показывают, что с геотрибопокрытиями в бензиновом ДВС происходит резкое снижение выбросов СО. Изменение в составе отработавших газов подтверждено и стендовыми испытаниями дизеля 2Ч8,5/11 с одним из разновидностей трибосостава. Однако следует учитывать, что с трибопокрытиями выброс оксидов азота (NOx) по испытаниям А. Ю. Шабанова повышается на 6,53 %.

Изменение интенсивности изнашивания деталей ДВС

Изменение интенсивности изнашивания пар трения является интегральным показателем качества поверхности. Данные по интенсивности износа узлов и деталей ДВС в литературе известны. Эти показатели для большинства деталей в зависимости от материалов колеблются от $1,4 \times 10^{-10}$ до $4,9 \times 10^{-12}$. При использовании синтетических масел в отдельных зарубежных ДВС наблюдается уровень $8,0 \times 10^{-14}$, а в среднем $5,0 \times 10^{-13}$ (без учета вида обработки и шероховатости поверхности).

Исследования зависимости скорости изнашивания поршневых колец судовых дизелей от эффективной мощности (N_e) в пределах 0,25–1,0 от номинала при различном относительном числе холодных пусков двигателя [12] показали (табл. 3), что точка возникновения режима практической безызносности (т. е. невозможности установить износ имеющимися инструментальными способами при достаточно длительном испытании) была принята как 5×10^{-14} .

Таблица 3. Точки наступления эффекта практической безызносности

Относительное число пусков	0,05 (1 за 20 час)	0,1 (1 за 10 час)	0,125 (1 за 8 час)
Относительная эффективная мощность N_e , при которой уже наступает эффект практической безызносности	0,65	0,50	0,25

Испытания дизеля 2Ч8,5/11 с одним из триботехнических составов, проведенные при повышении $\eta_{мех}$ с 0,702 до 0,902, выявили следующее снижение скорости износа основных деталей: втулок цилиндров – в 3,5 раза, поршневых колец – в 1,8 раза, вкладышей шатунных подшипников – в 12,8 раза.

Оценка интенсивности изнашивания деталей ДВС была проведена также на рядовом автомобиле ВАЗ после ремонта ДВС с формированием геотрибопокрытий на деталях цилиндропоршневой группы. Механический КПД двигателя имел величину 0,983. После пробега 15 тыс. км интенсивность изнашивания гильз цилиндров, компрессионных колец и шейки шатунного подшипника составляла от $1,4 \times 10^{-14}$ до $3,7 \times 10^{-14}$.

Свойства отдельных деталей двигателя

Пример – компрессионное кольцо ДВС автомобиля ВАЗ. Кольцо выполнено из серого чугуна. Микротвердость (прибор МНТ-4) боковых, без покрытий, поверхностей составила: $HV = 416 \pm 64$ и $HV = 442 \pm 54$ при нагрузке 200 г.

Кольцо с трибопокрытием рабочей поверхности проработало в ДВС в пробеге около 115 тыс. км. Определение $\eta_{мех}$ дало величину 0,98. Рабочая поверхность кольца была зеркальная, небольшие царапины обнаружили только при увеличении в X200. Твердость рабочей поверхности с покрытием после эксплуатации достигла 1375 HV при толщине покрытия 8–9 мкм.

Шток распределительного устройства системы топливоподдачи

Деталь была изъята из того же автомобиля. Условия работы аналогичны. Материал штока – сталь 3Х13. Микротвердость поверхности без покрытия при нагрузке 200 г – 608 HV. Рабочая поверхность детали после указанного срока эксплуатации при визуальном рассмотрении и под микроскопом повреждений не имела. Микротвердость при нагрузке 200 г повысилась до 1136 HV. Толщина геопокрyтия составила 10–12 мкм.

Экономические показатели

Для потребителя интерес представляет не только стоимость автомобиля, но и эксплуатационные расходы. Для двух однотипных автомобилей «Волга» с дизельным мотором ГАЗ 310221-600 в штатном исполнении эксплуатационные затраты на 1 километр пробега составляли 1,122 руб./км, а для автомобиля с модифицированными парами трения – 0,423 руб./км. Следует отметить, что у последнего пробег был намного меньше, что снижает полученную разницу.

Для крупных предприятий интерес представляют расходы на эксплуатацию, отнесенные к стоимости техники. Так в парке из 123 единиц автотракторной и дорожной техники модифицировались в основном двигатели, некоторые механические передачи и отдельные подшипники. По результатам годичной эксплуатации вследствие трибообработки экономия средств на обслуживание техники составила 0,12 стоимости парка.

В парке легковых отечественных и импортных автомобилей численностью за время наблюдения от 89 до 63 единиц была также проведена модификация ЦПГ ДВС и некоторых механических передач машин. В результате количество капитальных ремонтов двигателей снизилось с 58 (по средним нормам) до 1 за период 12 месяцев, а экономия средств на обслуживание составила те же 0,12 стоимости техники.

Заключение

Многочисленные и длительные гражданские и оборонные испытания на самых разнообразных ДВС, на многих других узлах и агрегатах в РФ, Финляндии, Японии, Китае, на Украине, РБ, во многих других странах Европы, Азии, Африки, Америки убедительно показали, что слоистые гидросиликаты поверхностей трения группы серпентина способствуют заметному улучшению показателей ДВС по мощности, расходу топлива и масла с превышением показателей новых ДВС, а по увеличению их эксплуатационного ресурса – в 2–3 раза.

Принципиальный вывод заключается в том, что уже сегодня можно иметь автотракторную технику с высокой надежностью механических систем. На пути к решению этой задачи стоит большое количество инженерно-технических и организационных проблем, связанных с адаптацией технологии геопокровов к условиям массового производства. Естественно, что такие технические результаты требуют изменения в организации автотракторной промышленности, поскольку, например, на Волжском автозаводе 40 % оборота составляют запасные части, поэтому применение технологии модификации трения существенно уменьшит потребность в запасных частях.

В целом облик нового двигателя представляется в следующем виде. Двигатель не требует капитального ремонта ЦПГ за весь срок службы – характеристики могут быть восстановлены в эксплуатационном режиме. Количество запасных частей для ремонта после отработки ряда технических вопросов сокращается в 3–4 раза. Полезная мощность двигателя увеличивается до 10 % и более.

Значительно увеличивается полнота сгорания топлива, снижаются вредные выбросы с отработавшими газами бензиновых ДВС, обеспечивая у них соблюдение жестких норм. Снижается удельный расход топлива, смазочных масел и стоимость эксплуатации, при этом увеличивается экспортный потенциал.

Список использованных источников

1. Проблемы электрификации автомобильного транспорта России / С. Н. Девянин [и др.] // Двигателестроение. – 2022. – №1 (287). – С. 21–32.
2. Дерягин, Б. В. Новый закон трения, его экспериментальная проверка и применение к трению минеральных дисперсидов / Б. В. Дерягин, В. П. Лазарев // Коллоидный журнал. – 1935. – Т. 1, вып. 4. – С. 293–302.
3. Майорова, Л. А. Твердые неорганические вещества в качестве высокотемпературных смазок / Л. А. Майорова. – М.: Наука, 1971. – 95 с.
4. Свойство энергоплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем / Научное открытие № 323 / В. В. Зуев, С. Ю. Лазарев, Ю. Г. Лавров, Г. А. Денисов, Т. Л. Маринич, В. Н. Половинкин, А. П. Соловьёв, А. Н. Холин.
5. Способ формирования минеральных покрытий поверхностей деталей из металлов и сплавов : пат. RU 2262553 / С. Ю. Лазарев, М. В. Энгельке, Ю. И. Кузякин. – Оpubл. 20.10.2005.
6. Способ обеспечения минимальных механических потерь в поршневых машинах-двигателях внутреннего сгорания : пат. RU 2263217 / С. Ю. Лазарев, В. П. Филимонов, Ю. В. Холопов. – Оpubл. 27.10.2005.
7. Балабанов, В. И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобилей / В. И. Балабанов. – М.: Астрель*АСТ, 2002. – 62 с.
8. Шабанов, А. Ю. Как отсрочить смерть двигателя? / А. Ю. Шабанов, М. В. Колодочкин // За рулем. – 2015. – № 9.
9. Результаты обработки двигателя МАК 8М453С высокой мощности минеральным модификатором трения Fe-do / А. В. Дунаев [и др.] // Агротехника и энергообеспечение. – 2022. – № 2 (35). – С. 54–62.
10. Аратский, П. Б. Использование модификаторов трения нового поколения для повышения ресурса судовых дизелей / П. Б. Аратский, Ю. Г. Лавров, А. Ю. Шабанов // Судостроение. – 1999. – № 3. – С. 24.
11. Аратский, П. Б. Сравнительные исследования влияния присадок к смазочным маслам на показатели трения и износа узлов ДВС / П. Б. Аратский, Ю. Г. Лавров, А. Ю. Шабанов // Двигателестроение. – 1999. – № 2. – С. 30–31.
12. Половинкин, В. Н. Применение геомодификаторов трения для восстановления изношенных поверхностей узлов трения при эксплуатации / В. Н. Половинкин, Ю. Г. Лавров, П. Б. Аратский // «СЛАВЯНТРИБО-5. Наземная и аэрокосмическая трибология – 2000: проблемы и достижения» : материалы междунар. научн.-практ. симпозиума. ВМПАВТО, РГТА. – СПб. – 2000. – С. 289–290.
13. Дунаев, А. В. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития / А. В. Дунаев, Е. М. Филиппова ; под ред. С. Н. Шарифуллина. – М.: ФНАЦ ВИМ, 2017. – 252 с.
14. Зуев, В. В. Природные минеральные материалы в современной технике. Теория и практика применения. Наука и технология. / В. В. Зуев, С. Ю. Лазарев // Труды XXIV Российской школы по проблемам науки и технологий. РАН. – М., 2004. – Т. 2. – С. 149–159.
15. Грушев, В. В. Промышленное применение минеральных покрытий и ультразвуковой обработки / В. В. Грушев, С. Ю. Лазарев. – Чита: ЗабГУ, 2011. – 151 с.

16. Хмелевская, В. Б. Повышение надежности судового оборудования технологическими методами : [В 3 т.] / В. Б. Хмелевская, Л. Б. Леонтьев. – Владивосток : Дальнаука, 2003–2004. – Т. 2: Триботехника покрытий и композиционных материалов. – 2004. – 282 с.
17. Шароглазов, Б. А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б. А. Шароглазов, М. Ф. Фарафонов, В. В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
18. Groth K. Neuere Methoden zur Untersuchung von Reibungsverlusten in Motortriebwerken. Schiff & Hafen/ Kommandobrücke 29 (1977) 10, s. 917–923.
19. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В. П. Миклуш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – 392 с.
20. Способ и устройство для отбора энергии из энергоплотных веществ природного происхождения и способ его применения в газовых приборах и горелках : пат. RU 2687671 / С. Ю. Лазарев, О. И. Ефимов, О. В. Гудкова, Б. И. Турышев, В. Л. Касатонов. – Оpubл. 15.05.2019

А. П. Ляхов¹, Т. А. Непарко¹, Н. Н. Быков¹, Э. В. Дыба²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: dibua-18@mail.ru

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ В ТРАНСМИССИИ ТРАКТОРА 4×4 И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КИНЕМАТИКУ КАЧЕНИЯ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ПРИ БЛОКИРОВАННОЙ СХЕМЕ СВЯЗИ

Аннотация. В статье приведен метод расчета распределения крутящих моментов по ветвям заблокированного межосевого привода 4×4 машинно-тракторного агрегата.

Ключевые слова: крутящий момент, колесо, движитель, буксование, ведущий мост.

A. P. Lyakhov¹, T. A. Neparco¹, N. N. Bykov¹, E. V. Dyba²

¹UO "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: dibua-18@mail.ru

TORQUE DISTRIBUTION IN TRANSMISSION TRACTORS 4×4 AND THEIR INFLUENCE ON ROLLING KINEMATICS OF DRIVE WHEELS WITH BLOCKED COMMUNICATION CIRCUIT

Abstract. The article provides a method for calculating the distribution of torques along the branches of a blocked 4×4 center-to-center drive of a machine-tractor unit.

Keywords: torque, wheel, propulsor, skidding, driving bridge.

Введение

Нынешний этап развития тракторных средств механизации для различных отраслей хозяйственной деятельности характеризуется возросшими удельными мощностями универсально-пропашных тракторов, на базе которых комплектуется большая часть технологических машинно-тракторных агрегатов. Реализация новых концепций таких агрегатов и технологий путем совмещения технологических операций обеспечивается многофункциональными высокоуниверсальными технологическими прицепными машинами блочно-модульного построения. В результате повышаются требования к оптимальному распределению мощностных и силовых параметров. Причем, если перечень возможных состояний структуры моторно-трансмиссионной системы известен заведомо, то динамика этих состояний при работе машинно-тракторного агрегата в конкретных условиях движения заведомо неизвестна, так как это определяется состоянием различных муфт, расчленяющих систему и входящих в конструкцию трансмиссии энергосредства машинно-тракторного агрегата, которые могут быть не только замкнутыми или разомкнутыми, но и находиться в переходном режиме.

Поэтому задача по определению крутящих моментов на конкретных элементах такой трансмиссии представляет достаточно сложную проблему, требующую для решения составления дифференциальных уравнений движения и моделирования с применением ЭВМ динамики трансмиссии в составе всего агрегата. Однако для решения практических проектных и эксплуатационных

задач необходимы также удобные аналитические выражения, позволяющие определять распределение крутящих моментов на валах трансмиссии и усилий в шарнирах связей при установившихся скоростях движения агрегата и конечных состояниях трансмиссионных муфт. Цель данной работы и состоит в получении подобных выражений.

Основная часть

На кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» ведется исследовательская работа по разработке научно-практических рекомендаций по операционному использованию технических средств, в рамках которой производится определение крутящих моментов в трансмиссии энергосредств агрегатов.

Одним из эффективных направлений совершенствования мобильных сельскохозяйственных агрегатов является повышение тягово-сцепных свойств колесных тракторов путем эффективного использования мощности и веса трактора с распределением его по всем ведущим колесам ходовой системы.

Поиск различных способов повышения тяговых качеств колесных тракторов привел к использованию наиболее эффективного при компоновке по схеме 4×4, при которой все колеса равных радиусов являются ведущими при практически равномерном распределении веса всего трактора в качестве сцепного. Однако результаты выполненных экспериментальных исследований [1–9] позволили сделать выводы, что коэффициенты сцепления таких колес несколько ниже, чем таких же колес трактора по схеме 4×2 в аналогичных условиях эксплуатации. Эти расхождения связаны со схемой привода ведущих колес, и в настоящее время применяются две схемы – блокированная и дифференциальная.

При этом следует отметить, что с целью улучшения проходимости полноприводных тракторов в трудных условиях применяют блокировку трансмиссии. При заблокированном приводе имеет место различие в радиусах качения эластичных движителей, что вызывает перераспределение крутящих моментов по ведущим мостам и упругое закручивание валов в результате отклонения величин крутящих моментов от заданных кинематической схемой привода.

Это связано с тем, что во всем диапазоне эксплуатации трактора невозможно обеспечить кинематическое согласование в приводе передних и задних колес. Экспериментально также установлено, что зависимости крутящих моментов колес от их буксования, силы сопротивления перекачиванию от тяговой нагрузки меняются с изменением кинематического несоответствия скоростей колес:

$$K_v = \frac{\omega_{к1} r_{к1}^0}{\omega_{к2} r_{к2}^0} = K_n K_r, \quad (1)$$

где $\omega_{к1}$, $\omega_{к2}$ – угловые скорости вращения колес передней и задней осей, c^{-1} ; $r_{к1}^0$, $r_{к2}^0$ – радиусы качения колес передней и задней осей, м; K_n , K_r – коэффициенты кинематического несоответствия угловых скоростей и радиусов качения колес.

Значение кинематического несоответствия K_v (радиусов качения ведущих колес) зависит от выбора типа шин и внутреннего давления воздуха в них, технологических допусков на изготовление, нормальных нагрузок на шины и их перераспределения в процессе эксплуатации. Практически величину кинематического несоответствия в межосевом приводе у тракторов с заблокированным приводом выбирают в зависимости от соотношения радиусов качения колес.

Особенности заблокированного силового привода и распределение крутящих моментов заключаются в том, что крутящие моменты $M'_{к1}$ передних колес и $M'_{к2}$ задних отличаются от соответствующих моментов $M_{к1}$ и $M_{к2}$ при отсутствии кинематической и силовой связи мостов на величину момента внутренних сил упругости $M_{упр}$, нагружающих силовую передачу. Исследованиями установлено, что знак $M_{упр}$ зависит от радиуса колеса. Отрицательный момент приложен к колесу с меньшим радиусом (отстающему), а положительный – к колесу с большим радиусом (забегающему). В процессе движения на жестком несминаемом основании выравнивание кинематического

несоответствия и поступательных скоростей колес происходит за счет деформации почвы при буксовании. На рис. 1 приведена зависимость касательной силы тяги трактора от величины буксования колес при различном значении кинематического несоответствия K_v .

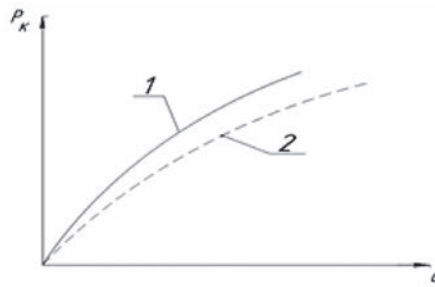


Рис. 1. Зависимость касательной силы тяги трактора от величины буксования колес при различном значении кинематического несоответствия: 1 – при $K_v = 1$; 2 – при $K_v \neq 1$

Оценку упругих свойств шин в тангенциальном направлении на несминаемом основании согласно ГОСТ 17697-72 «Автомобили. Качение колеса. Термины и определения» осуществляют коэффициентом тангенциальной эластичности $\lambda_r = \frac{\partial r_k}{\partial M_k}$. В практическом значении коэффициент λ_r является отношением:

$$\lambda_r = \frac{(r_{ki}^0 - r_{ki})}{M_{ki}}, \quad (2)$$

где r_{ki}^0 – радиус качения i -го колеса в ведомом режиме, м; r_{ki} – радиус качения i -го колеса при приложении крутящего момента M_{ki} , м.

Радиусы качения r_{ki} и r_{ki}^0 ведущих колес взаимосвязаны:

$$r_{ki} = r_{ki}^0 (1 - \delta_i), \quad (3)$$

где δ_i – буксование i -го колеса.

При движении трактора с заблокированной трансмиссией и кинематическим рассогласованием ведущих колес имеют место три случая неравномерного распределения крутящих моментов по мостам: моменты имеют положительные значения; один момент имеет положительное значение, другой – отрицательное, причем за время выравнивания радиусов r_{k1} и r_{k2} колеса не скользят; моменты имеют разные знаки, причем из-за значительного различия r_{k1} и r_{k2} их выравнивание происходит при скольжении колес одной или обеих осей, при этом наличие отрицательного крутящего момента на колесах одной из осей наблюдается явление циркуляции мощности в заблокированной трансмиссии.

Для упрощения процесса выравнивания радиусов качения колес трактора с формулой 4×4 рассмотрим движение в ведомом режиме, принимая следующие допущения: коэффициенты тангенциальной эластичности шин правого и левого бортов равны $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$; передаточные числа главных передач одинаковы, зазоры в приводе отсутствуют, скорость движения трактора постоянная.

В этом случае уравнение движения трактора имеет вид

$$d\alpha = ds \left(\frac{1}{r_{BK2} + \lambda_2 c_T \alpha} - \frac{1}{r_{BK1} + \lambda_1 c_T \alpha} \right), \quad (4)$$

где α – относительное угловое перемещение колес, град.; c_T – приведенный коэффициент жесткости привода от первой оси до второй; r_{BKi} – радиус качения i -го колеса в ведомом режиме, м.

Обозначив $r_{BK1} - r_{BK2} = \Delta r$ и выполнив преобразование, получим:

$$ds = \frac{r_{BK1} r_{BK2} + \Delta r \lambda c_T \alpha - (\lambda c_T \alpha)^2}{\Delta r - 2 \lambda c_T \alpha} d\alpha. \quad (5)$$

Интегрирование этого выражения дает зависимость пути, проходимого трактором для выравнивания радиусов качения колес

$$s = - \left(\frac{4r_{\text{BK1}}r_{\text{BK2}} + \Delta r^2}{8\lambda c_{\text{T}}} \right)^2 \ln(\Delta r - 2\lambda c_{\text{T}}\alpha) - \frac{\Delta r\alpha}{4} + \frac{\lambda c_{\text{T}}\alpha^2}{2} + c. \quad (6)$$

Для определения постоянной интегрирования примем начальные условия $\alpha = 0$ при $s = 0$

$$c = \left(\frac{4r_{\text{BK1}}r_{\text{BK2}} + \Delta r^2}{8\lambda c_{\text{T}}} \right) \ln(\Delta r). \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в (6), получим формулу для пути, на котором произойдет выравнивание радиусов качения:

$$s = \frac{\lambda c_{\text{T}}\alpha^2}{4} - \frac{\Delta r\alpha}{4} + \frac{(r_{\text{BK1}} + r_{\text{BK2}})^2}{8\lambda c_{\text{T}}} \ln\left(\frac{\Delta r}{\Delta r - 2\lambda c_{\text{T}}\alpha}\right). \quad (8)$$

Условия, при которых произойдет выравнивание текущих радиусов качения, представляются в виде

$$\left. \begin{aligned} r_{\text{K1}} &= r_{\text{BK1}} - \lambda c_{\text{T}}\alpha \\ r_{\text{K2}} &= r_{\text{BK2}} + \lambda c_{\text{T}}\alpha \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где r_{K1} , r_{K2} – текущие значения радиусов качения колес переднего и заднего мостов, м.

Условие выравнивания радиусов качения $r_{\text{K1}} = r_{\text{K2}}$ или, как следует из выражения (9),

$$r_{\text{BK1}} - \lambda c_{\text{T}}\alpha = r_{\text{BK2}} - \lambda c_{\text{T}}\alpha,$$

или

$$\Delta r - 2\lambda c_{\text{T}}\alpha = 0. \quad (10)$$

Анализируя выражение (8) с учетом зависимости (10), приходим к выводу, что последний член выражения (8) равен бесконечности, а первые два – имеют конечные значения, что позволяет произвести упрощение (8) и сделать вывод, что путь выравнивания радиусов качения равен бесконечности

$$s = \frac{(r_{\text{BK1}} + r_{\text{BK2}})^2}{8\lambda c_{\text{T}}} \ln\left(\frac{\Delta r}{\Delta r - 2\lambda c_{\text{T}}\alpha}\right). \quad (11)$$

Из выражения (11) угол α равен

$$\alpha = \frac{\Delta r(e^n - 1)}{2e^n\lambda c_{\text{T}}}, \quad (12)$$

а значение показателя степени равно:

$$n = \frac{8\lambda c_{\text{T}}s}{(r_{\text{BK1}} + r_{\text{BK2}})^2}. \quad (13)$$

Принимая во внимание, что при большом значении n можно принять $\frac{e^n - 1}{e^n} \approx 1$, выражение (12) принимает вид

$$\alpha = \frac{\Delta r}{2\lambda c_{\text{T}}}. \quad (14)$$

Используя выражение (9) с учетом (12), получим зависимости выравнивания радиусов качения колес r_{K1} и r_{K2} от пути s :

$$\left. \begin{aligned} r_{k1} &= r_{BK1} + \lambda C_T \alpha = r_{BK1} + \frac{\Delta r (e^n - 1)}{2e^n} \\ r_{k2} &= r_{BK2} - \lambda C_T \alpha = r_{BK2} - \frac{\Delta r (e^n - 1)}{2e^n} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Зависимость радиуса качения колес от пути s передней и задней осей энергосредства с колесной формулой 4×4 по данным эксперимента приведена на рис. 2 [3], из которого следует, что радиусы качения r_{k1} и r_{k2} в зависимости от пройденного пути изменяются нелинейно, и уже после 1,0–1,5 метров можно с некоторым приближением считать их выровненными.

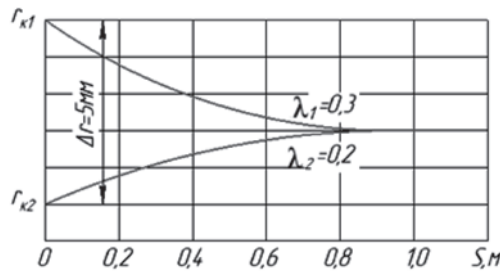


Рис. 2. Зависимость радиусов качения от пути при движении энергосредства с колесной формулой 4×4

Рассмотрим факторы, влияющие на упругое скручивание валов трансмиссии.

Первая группа факторов связана с особенностями конструкции движителей, точностью их изготовления, а также изменением их состояния в процессе эксплуатации. Результаты исследований показывают: наименьший упругий момент скручивания валов привода, а следовательно, и путь выравнивания радиусов качения имеют движители с шинами высокого давления и регулируемым давлением воздуха. Наибольший путь выравнивания радиусов качения и склонность к возникновению циркуляции мощности имеют место у энергосредств с арочными шинами, шинами типа «Р», за счет меньших значений коэффициентов тангенциальной эластичности λ . Значительно влияет на значение λ и число слоев корда каркаса шины, а также отклонения величин свободных радиусов от номинальных при изготовлении шин, достигающие до 3–4 %. При разбросе размеров свободных радиусов в пределах 3–4 % радиусы качения этих шин отличаются друг от друга на такую же величину. Существенное влияние на радиусы качения колес многоприводных движителей оказывает различие в величине внутреннего давления в шинах. Неравномерный износ протектора шин влияет на значение коэффициента λ и при полном износе протектора уменьшается до 25 % по сравнению с неизношенным протектором.

Вторая группа факторов связана с конструктивными особенностями энергетического средства (тип трансмиссии, компоновка и т. д.). Значительное влияние на возникновение внутренних сил упругости оказывает перераспределение нагрузки на движители при движении, особенно это проявляется при действии силы тяги на крюке трактора.

Третья группа факторов связана с особенностями условий эксплуатации. Неодинаковые окружные зазоры в приводе к ведущим мостам и в трансмиссии приводят при трогании к неодновременному нагружению ведущих колес и перераспределению крутящих моментов по ведущим мостам.

Продольные угловые колебания корпуса машины при движении приводят к динамическому перераспределению крутящих моментов и появлению динамической циркуляции мощности. При движении на поворотах колеса того или иного борта проходят разные расстояния, что приводит к перераспределению крутящих моментов.

Заключение

1. Улучшение эксплуатационных и тягово-сцепных свойств энергетических средств машинно-тракторных агрегатов связано с использованием всех колес в качестве ведущих. В этом слу-

чае практически весь вес трактора используется в качестве сцепного и способствует реализации силы тяги.

2. Тяговая динамика энергосредств со всеми ведущими колесами зависит от типа привода, влияющего на распределение крутящих моментов по осям движителя, и в большинстве конструкций применяются два их типа – блокированный и дифференциальный. При блокированном приводе две и более ведущих оси энергетического средства жестко связаны между собой, и вследствие этого между угловыми скоростями колес существует неизменное соотношение. При дифференциальном приводе связь между осями происходит через включенный межосевой дифференциал, что влияет на соотношение скоростей и крутящих моментов.

3. Наиболее сложным режимом при движении энергосредств является работа движителя с блокированным приводом, основной фактор которого – кинематическое несоответствие передних и задних ведущих колес, что приводит к разнице окружных скоростей, упругому закручиванию валов и возможности возникновения и циркуляции паразитной мощности, ухудшающей тяговые свойства трактора. Снижение величины коэффициента кинематического несоответствия может быть достигнуто при определенных значениях буксования передних и задних колес и практически устранено при прямолинейном движении на рыхлых почвах с достаточной величиной силы тяги на крюке.

4. При применении дифференциального привода вследствие наличия сил внутреннего трения в дифференциале имеет место зона нечувствительности, и дифференциальный привод превращается в блокированный и вступает в работу лишь тогда, когда на его осях создается разность моментов, достаточная для преодоления сил трения. Кроме этого сила тяги трактора зависит от силы тяги колес, находящихся в худших условиях по сцеплению, что является явным недостатком дифференциального привода.

Список использованных источников

1. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В. В. Кацыгин [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 с.
2. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д. А. Чудаков. – М.: Колос, 1972. – 384 с.
3. Транспортные средства на высокоэластичных движителях / Н. Ф. Бочаров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1974. – 208 с.
4. Бочаров, Н. Ф. Распределение крутящих моментов в трансмиссии многоприводных колесных машин на твердых дорогах / Н. Ф. Бочаров // Известия ВУЗов. Серия «Машиностроение». – 1964. – № 12. – С. 111–131.
5. К вопросу неравномерного распределения крутящих моментов по мостам трехосного автомобиля / Н. Ф. Бочаров [и др.] // Автомобильная промышленность. – 1968. – № 7. – С. 20–24.
6. Агейкин, Я. С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я. С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
7. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов / В. А. Петрушов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
8. Ечеистов, Ю. А. Распределение крутящего момента по ведущим осям автомобиля с блокируемым приводом / Ю. А. Ечеистов // Автомобильная промышленность. – 1964. – № 2. – С. 19–23.
9. Работа автомобильной шины / В. И. Кноров [и др.]. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.

В. А. Бурдейко¹, В. Б. Ловкис², Э. В. Дыба³

¹УО «Барановичский государственный университет»

г. Барановичи, Республика Беларусь

E-mail: V_A_Victor@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dekanat_amf@bsatu

³РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛОТКА И КОПИРОВ МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

Аннотация. В статье приводится расчет параметров лотка и копиров машины для сбора колорадского жука, а также рассматривается конструкция лотка и копиров при выращивании экологически чистого картофеля.

Ключевые слова: картофель, колорадский жук, лоток, копиры, щётка, ширина, длина, диаметр.

V. A. Burdeyko¹, V. B. Lovkis², E. V. Dyba³

¹EI “Baranavichy State University”

Baranovichy, Republic of Belarus

E-mail: V_A_Victor@mail.ru

²EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dekanat_amf@bsatu

³RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

CALCULATION OF PARAMETERS OF TRAY AND COPIERS COLORADO BEETLE COLLECTION MACHINES

Abstract. The article provides a calculation of the parameters of the tray and copiers of the Colorado beetle collection machine, and also considers the design of the tray and copiers when growing environmentally friendly potatoes.

Keywords: potato, colorado beetle, tray, copiers, brush, width, length, diameter.

Введение

Выращивание экологически чистого картофеля подтверждается Законом Республики Беларусь от 09.11.2018 № 144-З «О производстве и обращении органической продукции» [1]. Метод механического сбора колорадского жука актуален и перспективен. Основными рабочими органами машины для сбора колорадского жука являются коническая щетка, лоток и два эластичных копира.

Исследованием технологической операции сбора колорадского жука занимались ученые П. П. Казакевич, В. К. Пестис, Э. В. Заяц, П. В. Заяц, С. Н. Ладутько и др. [2–10]. Но по-прежнему имеется необходимость повышения эффективности сбора колорадского жука.

Цель настоящей работы – обоснование конструктивных параметров лотка и копиров, а также их компоновка относительно конической щетки, борозды, гребней и кустов картофельной ботвы.

Основная часть

Геометрические параметры лотка и копиров зависят от параметров конической щетки, ширины междурядий картофеля и высоты ботвы, а также от рабочей скорости машины. Изобразим на рис. 1 основные параметры конической щетки, ее расположение относительно лотка и картофельной ботвы. Коническая щетка расположена усеченной частью вверх. Машина работает без делителей ботвы.

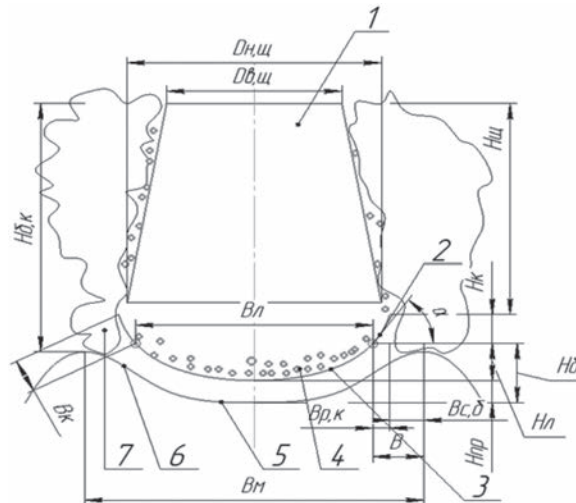


Рис. 1. Схема для определения поперечных параметров лотка и копиров: 1 – коническая щетка; 2 – копир; 3 – лоток; 4 – колорадский жук; 5 – борозда; 6 – гребень; 7 – картофельный куст

Очесанные конической щеткой 1, колорадские жуки 4 падают за счет собственной силы тяжести вниз, в лоток 3, проникая сквозь промежутки картофельной ботвы 7 и между ворсинок щетки 1. Для предотвращения попадания колорадского жука 4 на гребень 6 к лотку 3 крепятся копиры 2.

Ширину лотка определим по выражению:

$$B_{л} = B_{м} - 2 \left(B_{р.к.} + \frac{B_{с.б.}}{2} \right), \quad (1)$$

где $B_{м}$ – ширина междурядий, м; $B_{р.к.}$ – рабочая ширина захвата копира, м; $B_{с.б.}$ – ширина стеблей ботвы картофеля у основания гребня, м.

При ширине междурядий $B_{м} = 0,7$ м ширина лотка составит:

$$B_{л} = 0,7 - 2 \left(0,08 + \frac{0,14}{2} \right) = 0,4 \text{ м.}$$

Высоту лотка определим по формуле:

$$H_{л} = H_{б} - H_{пр}, \quad (2)$$

где $H_{б}$ – глубина борозды, м; $H_{пр}$ – промежуточное расстояние между днищем лотка и дном борозды, м.

$$H_{л} = 0,25 - 0,05 = 0,2 \text{ м.}$$

Ширину копира определим по формуле:

$$B_{к} = \frac{B_{р.к.}}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где α – угол наклона копира к горизонту, 45 град.;

$$B_k = \frac{0,08}{0,71} = 0,11 \text{ м.}$$

Для определения длины лотка и копиров представим схему на рис. 2.

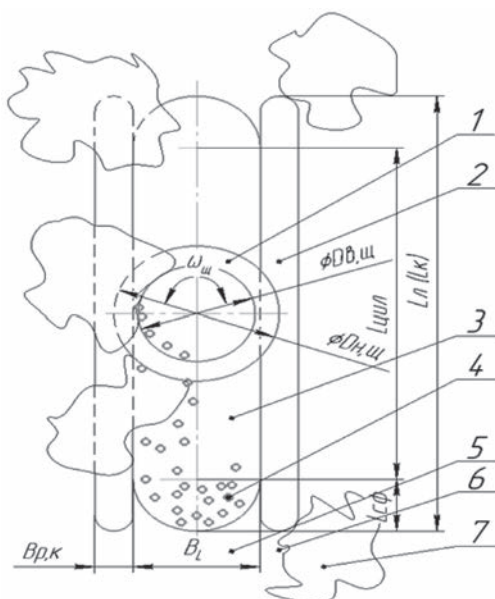


Рис. 2. Схема для определения длины лотка и копиров: 1 – коническая щетка; 2 – копир; 3 – лоток; 4 – колорадский жук; 5 – борозда; 6 – гребень; 7 – картофельный куст

Длину лотка определим по формуле:

$$L_l = D_{н.ц.} + 2L_{доп.} + 2R_{сф.}, \quad (4)$$

где $D_{н.ц.}$ – диаметр нижнего основания конической щетки, м; $L_{доп.}$ – дополнительное увеличение длины лотка, м; $R_{сф.}$ – сферическая часть лотка, м.

При счесывании колорадского жука на максимальной высоте ботвы $H_b^{max} = 0,6...0,65$ м для незначительной части особей, совершающих максимальную длину полета $S_{н.ж.} = 0,25...0,3$ м, примем $L_{доп.} = 0,35$ м.

Для лучшего копирования борозды и гребней желобом, т. е. при небольшом искривлении борозд и гребней, а также при некотором осыпании с гребня почвы необходимо снизить усилие на преодоление неровностей картофельного поля. Поэтому в передней и задней части устанавливаем сферические наконечники площадью $\frac{1}{4} S_{сф.}$. Тогда

$$L_l = 0,54 + 2 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,2 = 1,64 \text{ м.}$$

Длину копира примем равной длине лотка:

$$L_k = L_l = 1,64 \text{ м.}$$

Площадь поверхности лотка определим по формуле:

$$S_l = \frac{1}{4} S_u + 2 \cdot \frac{1}{4} S_{сф.}, \quad (5)$$

где S_u – площадь боковой поверхности цилиндра, м^2 ; $S_{сф.}$ – площадь поверхности сферы (шара), м^2 .

$$S_l = \frac{1}{3} \cdot 2\pi R \cdot (D_{н.ц.} + 2L_{доп.}) + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 4\pi \cdot R_{сф.}^2, \text{ м}^2.$$

$$S_{л} = \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot (0,54 + 2 \cdot 0,35) + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2 = 0,86 \text{ м}^2.$$

Общий объем лотка определим по формуле:

$$V_{л} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R_{ц}^2 \cdot (D_{н.ц.} + 2 L_{дон.}) + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{сф.}^3, \quad (6)$$

где $V_{л}$ – объём лотка, м^3 .

$$V_{л} = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,2^2 (0,54 + 2 \cdot 0,35) + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,2^3 = 0,074 \text{ м}^3.$$

Определим массу колорадского жука при полном заполнении им всего объема лотка по формуле:

$$m_{жс} = \rho_{жс} \cdot V_{л}, \quad (7)$$

где $\rho_{жс}$ – объемная масса личинок колорадского жука, равная 450...600 $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$m_{жс} = 500 \cdot 0,074 = 37 \text{ кг.}$$

Заключение

Приведен расчет конструктивных параметров рабочих органов машины для сбора колорадского жука для работы ее при ширине междурядий 70 см.

По вышеприведенной методике можно определить следующие конструктивные параметры лотка: ширину, высоту, длину, площадь поверхности и объем, а также ширину и длину эластичных копилов. Вместе с этими расчетами приведена компоновка лотка с эластичными копирами относительно механической щетки, борозды, гребней и кустов картофельной ботвы.

Список использованных источников

1. О производстве и обращении органической продукции [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 9 нояб. 2018 г. № 144-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11800144&p1=1>. – Дата доступа: 17.11.2018.
2. Бурдейко, В. А. Машина и рабочие органы для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. В. Дубень // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2018. – Вып. 6. – С. 87–91.
3. Бурдейко, В. А. Перспективные рабочие органы машин для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко // Техника и технологии: инновации и качество : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 18 декабря 2015 г., г. Барановичи, Респ. Беларусь. – Барановичи: БарГУ, 2015. – С. 7–8.
4. Бурдейко, В. А. Расчет щеток машины для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2021. – Вып. 9. – С. 53–58.
5. Бурдейко, В. А. Результаты предварительных испытаний новых рабочих органов машины для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. В. Дубень // Техника и технологии: инновации и качество: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., 20 дек. 2018 г., Барановичи, Респ. Беларусь / редкол. В. В. Климук (гл. ред.), Ю.Е. Горбач (отв. ред.) (и др.). – Барановичи: БарГУ, 2019. – С. 136–138.
6. Заяц, П. В. Комбинированный агрегат для получения экологически чистого картофеля / П. В. Заяц, Э. В. Заяц // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы : сборник научных трудов в четырех томах / УО «Гродненский государственный аграрный университет». – Гродно : ГГАУ, 2006. – Т. 1 : Сельскохозяйственные науки (агронимия). – С. 185–191.
7. Тележка для сбора колорадского жука : полез. модель ВУ 4041 / В. К. Пестис, Э. В. Заяц, С. Н. Ладутько, П. П. Казакевич, П. В. Заяц. – Опубл. 30.12.2007.
8. Устройство для сбора колорадского жука: полез. модель RU 2469533 / Н. В. Бышов, И. Б. Тришкин, В. Д. Липин, В. В. Важинский, В. П. Топилин, Т. В. Липина. – Опубл. 20.12.2012.
9. Бурдейко, В. А. Машина для удаления колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. М. Дыдышко // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., 2 нояб. 2022 г., Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель, 2022. – С. 233–237.
10. Бурдейко В. А. Техническая характеристика ворсинок щетки для счесывания колорадского жука / В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 24–25 нояб. 2022 года. – Минск, БГАТУ, 2022. – С. 219–222.

А. А. Шупилов¹, В. Б. Ловкис¹, Э. В. Дыба²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dekanat_amf@bsatu

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

АДАПТАЦИЯ РЕЖИМНО-КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОЙ КОСИЛКИ-ПЛЮЩИЛКИ К ВИДУ И СОСТОЯНИЮ ТРАВ

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по адаптации процесса механической обработки трав при скашивании билльным плющильным устройством к особенностям строения и физиологическим свойствам кормовых культур, представлены теоретические основы взаимодействия рабочих органов с растениями и предложения по повышению эффективности обработки трав для интенсификации их сушки.

Ключевые слова: косилка, трава, плющение, барабан, срез, метод, стебель.

A. A. Shupilov¹, V. B. Lovkis¹, E. V. Dyba²

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dekanat_amf@bsatu

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

ADAPTATION OF MODE-DESIGN PARAMETERS OF A ROTARY MOWER-CONDITIONER TO THE TYPE AND CONDITION OF GRASSES

Abstract. The article presents the results of studies on the adaptation of the process of mechanical processing of herbs when mowing with a billet-type ivy device to the peculiarities of the structure and physiological properties of feed crops, presents the theoretical foundations of interaction of working organs with plants and proposals for increasing the efficiency of processing herbs for intensifying their drying.

Keywords: mower, grass, ivation, drum, slice, method, stem.

Введение

Плющение трав при скашивании является наиболее известным и простым приемом интенсификации сушки бобовых и бобово-злаковых травосмесей, характеризующихся неравномерностью влагоотдачи, который широко используется в конструкциях современных ротационных косилок. Ряд предприятий в стране освоили производство косилок с плющильными устройствами билльного типа [1].

Для обеспечения высокой эффективности процесса плющения трав необходимо научно обоснованно осуществлять проектирование конструкций рабочих органов, определять параметры и режимы их работы с учетом особенностей строения и физиологических свойств кормовых культур.

Основная часть

При обосновании конструкции рабочих органов для эффективного их воздействия на стебли принимали во внимание выполнение двух основных условий:

- воздействие рабочих органов на скошенную массу должно вызывать повреждения покровных тканей по длине стебля, в несколько раз превышающей его диаметр;
- воздействие рабочего органа на стебель для предотвращения измельчения растения следует производить в плоскости, имеющей наибольшую энергоемкость для его перебивания.

Выполнение первого условия обеспечивает эффективность обработки массы, второго – минимум потерь от измельчения.

Характер получаемых стеблем повреждений зависит от вида удара рабочего органа по стеблю. Так, например, поперечный удар по стеблю не удовлетворяет первому условию: воздействие рабочего органа на движущийся стебель в поперечной плоскости приводит лишь к его прегибу, образуя минимально возможную площадь повреждения покровных тканей. При этом существует опасность перебивания стеблей.

Повреждение стеблей при помощи расщепляющих ударов также не отвечает вышеуказанным условиям. Объясняется это тем, что расщепление цельного стебля, имеющего большую длину и малый диаметр, торцевым ударом невозможно без его измельчения при острой рабочей кромке (лезвии) и трудно выполнимо при тупой рабочей кромке (планке) рабочего органа.

При определении плоскости воздействия рабочего органа на стебель в процессе обработки трав исходили из теории энергоемкости процесса резания растений [2–4]. Определив из теории резания плоскость воздействия на стебель, где срез наиболее энергоемкий, и «заменяя» нож плющильной планкой рабочего органа бильного устройства, исключаяющей этот срез, можно теоретически обосновать принцип деформации стебля – повреждение покровных тканей бильными рабочими органами. Воздействуя планкой в плоскости наиболее энергоемкого разделения растения на части, обработку трав бильным устройством можно производить эффективно без значительных потерь от измельчения стеблей.

В исследованиях проф. Л. П. Краморенко [2] отмечается, что резание под углом 45° к оси стебля значительно снижает усилие на работу по сравнению с резанием поперек стебля. В статье С. Д. Трофимова [3] указывается, что с увеличением угла между плоскостью среза и торцевой плоскостью стебля усилие и работа снижаются по закону прямой линии. Однако, поскольку в его опытах угол среза не превышал 50° , вопрос о полном исследовании процесса резания стебля не рассматривался.

Исследуя возможные варианты взаимного положения ножа и стебля в процессе резания, Н. В. Тудель и В. М. Верхуша [4] в своей работе сделали вывод, что важнейшими факторами, влияющими на резание стебля, являются углы расположения плоскости среза и скорости ножа относительно торцевой плоскости стебля.

На рис. 1 приведена схема момента удара планки рабочего органа бильного устройства по стеблю в системе координат XYZ и указаны углы, характеризующие положение планки рабочего органа относительно стебля. Положение планки должно обеспечивать механическое отделение эпидермиса (покровных тканей) от субэпидермальной ткани по длине стебля без нарушения целостности растения.

Плоскость действия планки рабочего органа на стебель пересекает продольную плоскость XOY по линии mn (линия нормальной кромки планки), перпендикулярной к вектору скорости V. Косой срез на передней вершине планки позволяет производить деформацию стеблей при ударе со скольжением (рис. 1).

Удар планки по стеблю характеризуется двумя углами: углом χ отклонения планки относительно торцевой поверхности стебля в плоскости XOY и углом Θ наклона планки относительно торцевой поверхности стебля плоскости XOZ. При помощи этих углов определяются все виды ударов планки по стеблю. Исходя из числового значения данных углов определяется вид ударов планки по стеблю (рис. 1), которые могут быть:

- поперечными ($\chi = 0^\circ$ и $\Theta = 0^\circ$);
- косыми ($\Theta = 0^\circ$ и $0^\circ < \chi < 90^\circ$);
- наклонными ($\chi = 0^\circ$ и $0^\circ < \Theta < 90^\circ$);
- наклонно-косыми ($0^\circ < \chi < 90^\circ$ и $0^\circ < \Theta < 90^\circ$).

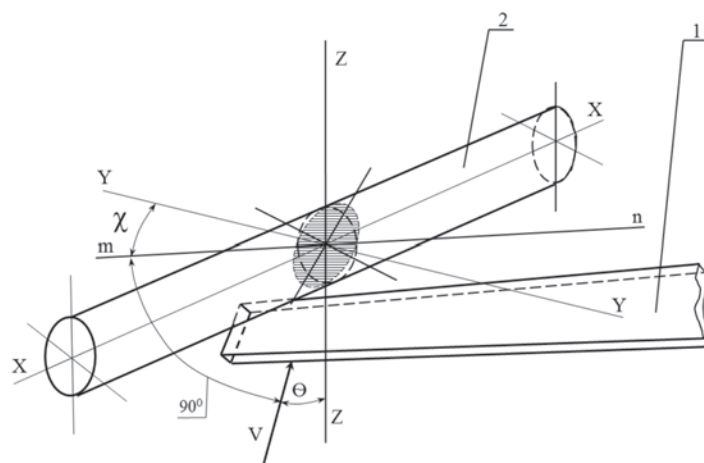


Рис. 1. Положение планки рабочего органа бильного барабана при воздействии на стебель растения:
1 – планка рабочего органа; 2 – стебель растения

Расщепляющие продольные углы:

торцовый ($\Theta = 90^\circ$ и $\chi = 90^\circ$);

продольный ($\chi = 90^\circ$, от угла Θ не зависит);

торцово-продольный ($\Theta = 90^\circ$ и $0^\circ < \chi < 90^\circ$).

Косой, наклонный, торцово-продольный удары планки имеют один переменный угол (χ или Θ) и являются переходными. Ее наклонно-косой удар характеризуется изменением обоих углов (χ и Θ) на всем интервале их значений от 0° до 90° , кроме предельных, что дает основание считать их наиболее общим случаем при воздействии планки на стебель. Наклонно-косой удар сочетает в себе свойства всех остальных видов ударов и может рассматриваться как переходный от косого к торцово-продольному путем изменения угла Θ .

В трудах Н. В. Тудель, В. М. Верхуша предложили формулу для определения полной работы по перерезанию стебля в общем случае при наклонно-косом срезе, по которой построили пространственную диаграмму работы при этом срезе [4]. По данной диаграмме определены плоскости под углами $\chi \geq 75^\circ$ и $\Theta \geq 60^\circ$ наиболее энергоемкого разделения стебля на части срезом. Сделав допущение, что планка рабочего органа для обработки травы представляет собой нож с «тупым» лезвием, можно предположить, что срез в данных плоскостях не происходит – при ударе планкой повреждается только покровная ткань стебля без его перебивания.

При ударе планкой бильного рабочего органа под углами $\chi \geq 75^\circ$ и $\Theta \geq 60^\circ$ возможна лишь деформация стеблей путем смятия и разрушения на большой длине покровных тканей. Объясняется это тем, что необходимые энергетические затраты на перебивание стеблей при воздействии планок с определенным усилием в плоскостях с указанными углами значительно превышают энергию, необходимую для возможного их перебивания под меньшими углами.

Учитывая, что поступающие в бильное устройство стебли в основной массе ориентированы в одной плоскости – вдоль прохода косилки, можно сделать заключение о возможности обработки скошенных растений наклонно-косым ударом.

В результате анализа основных возможных видов ударов рабочего органа по стеблю растения обосновано расположение на барабане рабочих органов с отклонением планок от радиального положения на угол, равный 15° , которые при установке на одном кронштейне должны образовывать рабочий орган V-образной формы с углом раствора 30° .

Длина планок рабочих органов определяется исходя из толщины потока травы, поступающего от режущего аппарата, который имеет величину по результатам исследований в диапазоне 100–150 мм. При рабочей длине планок менее 100 мм эффективность воздействия планок на стебли за счет наклонного удара снижается.

Исходя из расчетной длины рабочих органов определен диаметр бильного барабана, который является значимым параметром конструкции плющильного аппарата. Для предотвращения по-

вторного воздействия рабочего органа на один и тот же участок стебля растение должно изменить свое положение относительно вращающихся планок, исходя из чего диаметр барабана должен быть по расчетам не менее 0,4 м.

Вместе с тем, при проектировании бильного барабана необходимо учитывать диаметр трубы, на которой устанавливаются рабочие органы, из условия предотвращения наматывания растений.

Диаметр бильного барабана с учетом длины планок рабочих органов ($h = 0,10-0,15$ м) определяется из выражения:

$$D = 1,2 - 1,3 \frac{H}{\pi} + 2h, \quad (1)$$

где H – высота травостоя, и по расчету должен составлять 0,60–0,70 м.

Расстановку рабочих органов на поверхности бильного барабана целесообразно производить по винтовым линиям, поскольку при этом обеспечивается обработка покровных тканей стеблей на большой длине. Обработка стеблей растений осуществляется за счет пересечения криволинейной траектории движения стеблей по деке плющильного устройства, вследствие расстановки рабочих органов на барабане по винтовой линии, с радиальной плоскостью действия отдельных планок рабочих органов на движущийся в зазоре поток травы. Применение винтовой (двухходовой) линии расположения рабочих органов способствует более равномерному распределению поступающей в зазор плющилки травы по всей поверхности (длине) бильного барабана.

Для повышения эффективности обработки стеблей целесообразно расстановку рабочих органов второго захода по винтовой линии осуществлять с осевым смещением относительно первого на величину, равную половине расстояния между вершинами планок V-образного рабочего органа.

Важнейшей составляющей обеспечения эффективного плющения стеблей является частота вращения бильного барабана. При максимальной поступательной скорости косилки 4,2 м/с и радиусе барабана 0,3 м частота вращения должна составлять не менее 134,0 мин⁻¹. Однако, учитывая V-образную конструкцию рабочих органов, не обеспечивающую захват растений с первого воздействия планок, необходимая частота вращения определяется из условий $n = 134,0 \cdot r$, где r – число ударов рабочих органов по стеблю.

При поступлении растения в радиальном направлении за один оборот барабана на него воздействуют два V-образных рабочих органа. Исходя из условий, что захват растения рабочими органами осуществляется за два-три оборота барабана, частота вращения его должна находиться в диапазоне 540–800 мин⁻¹.

При выборе частоты вращения барабана необходимо учитывать в обязательном порядке вид обрабатываемых растений, поскольку коэффициент трения, а следовательно, и силы трения о рабочие органы при захвате у разных видов растений имеют свое значение. Клевер, имеющий по сравнению со злаковыми больший коэффициент трения, а также с учетом особенностей его строения и крепления листьев целесообразно обрабатывать при частоте вращения барабана, близкой к нижней границе – 600 мин⁻¹. Для обработки злаковых культур, имеющих более жесткий и менее облиственный стебель, частота вращения должна быть выше, ближе к верхней границе диапазона – 800 мин⁻¹.

В отдельных серийно выпускаемых косилках-плющилках привод бильного барабана косилки не позволяет изменять частоту вращения рабочих органов при плющении разных видов кормовых культур (клевер, злаковые, травосмеси). Кроме того частота вращения барабана имеет завышенное значение – 1000 мин⁻¹, что приводит к излишним энергозатратам и потерям от переизмельчения, особенно бобовых культур. Доработка привода плющильного устройства косилки для установки частоты вращения барабана, необходимой для обработки бобовых культур, позволит адаптировать технологическую операцию к виду и состоянию убираемой культуры.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о существенном влиянии ориентации стеблей при поступлении в барабан на отрыв листьев и соцветий, измельчение стеблей, которые могут теряться при дальнейших операциях. Подача растений в бильный барабан более толстой и менее облиственной прикорневой частью стебля позволяет дифференцированно производить об-

работку стеблей по длине растения, значительно снизить возможные потери от обивания листьев и соцветий, молодых побегов.

В конструкциях косилок-плющилок предусмотрен передний брус перед режущим аппаратом для крепления защитного полога, который отклоняет вершины растений перед срезом вперед по ходу движения косилки. Однако его расположение относительно режущего аппарата и отсутствие возможности изменять высоту его положения в зависимости от высоты скашиваемого травостоя зачастую приводит к излишним потерям.

С целью обеспечения подачи стеблей в бильный барабан в радиальном направлении прикорневой частью перед режущим аппаратом косилки необходимо устанавливаемый по высоте брус, производящий перед скашиванием отгиб вершин стеблей растений вперед по ходу движения косилки.

Учитывая, что более 70 % листьев клевера находится на вершине растения, составляющей 1/3 его длины, для выполнения данного условия необходимо воздействовать брусом на растения на высоте, составляющей не менее 2/3 средней высоты убираемого травостоя.

Зазор между вершинами планок рабочих органов и поверхностью деки, частично охватывающей барабан, в значительной мере определяет качественные и энергетические показатели работы бильного плющильного устройства. Посредством изменения величины зазора бильное плющильное устройство адаптируется к свойствам и состоянию, урожайности обрабатываемой культуры. Результаты проведения исследований [5] свидетельствуют об эффективности сушки травы, обработанной при соотношении зазоров на входе и выходе с барабана, близком к 2:1. В конструкции косилки необходимо предусмотреть установку и изменение положения деки при регулировке таким образом, чтобы зазор на входе имел значение в два раза больше, чем на выходе. Это позволит уменьшить энергозатраты на обработку травы и обеспечит более адаптированный приток энергии к захватываемым в зазор растениям и, следовательно, уменьшит обивание листьев и соцветий. Технологическую настройку плющильного аппарата косилки целесообразно осуществлять за счет изменения зазора на входе деки.

Заключение

Использование приведенных результатов исследований при разработке и совершенствовании ротационных косилок-плющилок позволит научно обоснованно осуществлять проектирование конструкций рабочих органов, определять параметры и режимы их работы, обеспечивать высокую эффективность процесса плющения скашиваемых трав.

Список использованных источников

1. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования / П. П. Казакевич [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 481–491.
2. Крамаренко, Л. П. Сопротивление растений перерезанию: Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / Л. П. Крамаренко. – М.-Л.: Сельхозиздат, 1936. – Т. 2.
3. Трофимов, С. Д. Исследование косо́го среза толстостебельных растений / С. Д. Трофимов // Сельхозмашина. – 1957. – № 5. – С. 6–7.
4. Тудель, Н. В. Исследование энергоемкости процесса резания толстостебельных растений / Н. В. Тудель, В. М. Верхуша // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. – № 1. – С. 25–28.
5. Шупилов, А. А. Ускорение процесса влагоотдачи путем обработки трав бильным устройством косилки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. А. Шупилов ; Центральный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Нечерноземной зоны СССР. – Минск, 1991. – 24 с.

А. Н. Леонов¹, Т. А. Непарко¹, Цинчжэнь Ли², Э. В. Дыба³

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: lannik@rambler.ru

²Ибиньский профессиональный технический колледж
г. Сычуань, Китайская Народная Республика
E-mail: 190570873@qq.com

³РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: dibua-18@mail.ru

ОПЕРАЦИЯ ВСПАШКИ: ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА И УДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ ЧАСТЬ 1. МНОГОФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ВСПАШКИ

Аннотация. Одна из важнейших проблем при производстве зерна в Республике Беларусь – повышение производительности труда, которая в 4–5 раз меньше производительности труда в странах ЕС. Большое влияние на производительность труда и удельные эксплуатационные затраты оказывают энерго- и материалоемкие операции, такие как вспашка и уборка. Данная статья посвящена изучению основных закономерностей операции вспашки, которая, являясь сложной технической системой, связана с использованием большого объема агротехнологической, технической, эксплуатационной, ресурсной и экономической информации (продолжительность операции, рабочая длина гона, физико-механические свойства почв, глубина обработки, допустимый интервал скоростей движения агрегата, топливно-энергетические, мощностные и тяговые характеристики двигателя, ширина захвата агрегата, экономические показатели и др.). В настоящее время в результате внедрения систем компьютерной математики появились эффективные методы изучения сложных технических систем, позволяющие проводить многофакторное моделирование и многокритериальную оптимизацию производственного процесса и формирование комплекса машин методом системного анализа. Необходимым условием полного и всестороннего описания функционирования сложной технической системы является наличие конфликтующих параметров оптимизации, а также полного комплекса независимых управляющих факторов, существенно влияющих на эти параметры. Отличительная особенность предложенного метода заключается в определении не одного оптимального решения, а множества Парето-оптимальных решений, дающих производителю новые возможности выбора при организации производственного процесса, повышающего эффективность операции вспашки и, следовательно, рентабельность производства зерна в целом. Поэтому повышение производительности труда при допустимых удельных эксплуатационных затратах путем формирования рационального комплекса машин и режимов его эксплуатации в конкретных условиях производства является актуальной научно-технической задачей. Математическая иллюстрация метода приведена для природно-производственных условий Республики Беларусь.

Ключевые слова: производительность труда, удельные эксплуатационные затраты, номинальная мощность двигателя, скорость движения агрегата, продолжительность операции, рабочая длина гона, глубина обработки, сопротивление почвы, многофакторное моделирование, многокритериальная оптимизация, множество Парето-оптимальных решений.

A. N. Leonov¹, T. A. Neparko¹, Qingzhen Li², E. V. Dyba³

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: lannik@rambler.ru

²YiBin Vocational and Technical College
Cychuan, China
E-mail: 190570873@qq.com

³RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: dibua-18@mail.ru

ПЛОУЖЕНИЕ: ЛАБОРНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ. ЧАСТЬ 1. МУЛЬТИФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОУЖЕНИЯ

Abstract. One of the most important problems in grain production in the Republic of Belarus is the increase in labor productivity, which is 4–5 times less than labor production in the EU countries. Energy-intensive operations, such as ploughing and cleaning, have a large impact on labor productivity and unit operating costs. This article is devoted to the study of the main regularities of plowing operations, which, being a complex technical system, is associated with the use of a large amount of agrotechnological, technical, operational, resource and economic information (operation duration, running length, physical and mechanical properties of soils, depth of processing, permissible range of speeds of the unit, fuel-energy, power and traction characteristics of the engine, width of the unit capture, economic indicators, etc.). Currently, as a result of the introduction of computer mathematics systems, effective methods for studying complex technical systems have appeared, allowing for multifactorial modeling and multi-criteria optimization of the production process and the formation of a complex of machines by system analysis. A necessary condition for a complete and comprehensive description of the functioning of a complex technical system is the presence of conflicting optimization parameters, as well as the presence of a complete set of independent control factors that significantly affect these parameters. A distinctive feature of the proposed method consists in determining not one optimal solution, but a set of Pareto-optimal solutions that give the manufacturer new opportunities to choose when organizing a production process that increases the efficiency of the plowing operation, and, therefore, the profitability of grain production as a whole. Therefore, increasing labor productivity at permissible specific ex-pluational costs by forming a rational complex of machines and modes of its operation in specific production conditions is an urgent scientific and technical task. The mathematical illustration of the method is given for the natural production conditions of the Republic of Belarus.

Keywords: labor productivity, specific operating costs, rated engine power, speed of the unit movement, duration of operation, working length of the race, depth of cultivation, soil resistance, multifactorial modeling, multi-criteria optimization, set of Pareto-optimal resolutions.

Введение

В настоящее время главным приоритетным направлением повышения эффективности сельского хозяйства Республики Беларусь является реализация курса, направленного на инновационную модернизацию АПК при повышении производительности труда и снижении относительно высокой энерго- и материалоемкости производства, так как энергоемкость экономики республики по паритету покупательной способности почти на 20 % выше среднемирового уровня при отставании по производительности труда от уровня стран ЕС в 4–5 раз [1].

Известно, что эффективность растениеводства можно повысить за счет использования высокоурожайных культур и севооборотов, совершенствования производственных процессов, внедрения высокопроизводительной техники нового поколения, формирования рациональных комплексов машин и приемов точного земледелия.

Основная часть

Моделирование операции вспашки. Операция вспашки относится к классу сложных технических систем (СТС), методология изучения которой в данной работе базируется на следующих положениях [2–6]:

– полное и всестороннее математическое описание СТС возможно только при использовании большого объема агротехнологической, технической, эксплуатационной, ресурсной и экономической информации (продолжительность операции, рабочая длина гона, физико-механические свойства почв, глубина обработки, допустимый интервал скоростей движения агрегата, топливно-энергетические, мощностные и тяговые характеристики двигателя, ширина захвата агрегата, экономические показатели и др.) и применении фундаментальных законов механики (топливно-энергетический, мощностной, тяговый и экономический балансы, баланс времени);

– цель производственного процесса – получение конечного продукта;

– наличие конфликтующих параметров оптимизации;

– наличие полного комплекса независимых управляющих факторов, влияющих на параметры оптимизации;

- функциональные и факторные ограничения, учитывающие конъюнктуру рынка и природно-производственные условия сельскохозяйственного предприятия);
- основной математический инструмент научных исследований – многофакторное моделирование, многокритериальная оптимизация, множество Парето-оптимальных решений.

Цель исследования – создание методологических основ изучения основных закономерностей сложных технических систем (операция вспашки), связанных с использованием большого объема агротехнологической, технической, эксплуатационной, ресурсной и экономической информации, позволяющих обеспечить максимально возможную производительность труда при допустимых удельных эксплуатационных затратах путем формирования рационального комплекса машин.

Решение поставленной задачи включает в себя выполнение четырех этапов.

Первый этап – обоснование и выбор конфликтующих параметров оптимизации [7]. В данной работе в качестве таких параметров приняты производительность труда W , характеризующая уровень социально-экономического развития государства, и удельные эксплуатационные затраты γ , влияющие на себестоимость конечного продукта, которые позволяют судить о конкурентоспособности разработанного технического решения на внутреннем и мировом рынках.

Второй этап – обоснование и выбор полного набора независимых управляющих факторов, влияющих на конфликтующие параметры оптимизации. В данной работе в качестве таких факторов выбраны номинальная мощность двигателя трактора Ne_n и скорость движения агрегата при вспашке v [6, 8]. Интервал варьирования управляющих факторов предопределен техническими возможностями сельскохозяйственного предприятия и агротехническими требованиями: $Ne_n \in [Ne_{min}, Ne_{max}]$, $v \in [v_{min}^{arp}, v_{max}^{arp}]$.

Третий этап – детерминированное многофакторное моделирование операции вспашки, заключающееся в составлении математических уравнений, отражающих зависимость параметров оптимизации от управляющих факторов: $W = W(Ne_n, v)$, $\gamma = \gamma(Ne_n, v)$.

Четвертый этап – многокритериальная оптимизация, в которой целевая функция – удельные эксплуатационные затраты при вспашке $\gamma = \gamma(Ne_n, v) \rightarrow \min$, а на производительность труда накладывается функциональное ограничение $W(Ne_n, v) \geq W_T$, где W_T – максимально возможное значение производительности труда при вспашке.

Моделирование операции вспашки выполнено с учетом следующих параметров: S_0 – площадь всех земельных участков сельскохозяйственного предприятия, м² (га); ΔT_0 – планируемая продолжительность операции, с (ч); L_p – рабочая длина гона, м; $C_{yч}$ – ширина одного земельного участка, м; a – глубина обработки, м; $k_{пл}$ – удельное сопротивление почв при вспашке, Н/м² (кН/м²).

Предварительная модель процесса вспашки построена на базе экономического баланса и баланса времени.

Модель параметра оптимизации – производительность труда при вспашке

$$W = \frac{S_0}{\Delta T_0}, \quad (1)$$

где ΔT_0 – фактический ресурс времени, затраченный на вспашку всех земельных участков сельскохозяйственного предприятия, с (ч),

$$\Delta T_0 = n_a \Delta t_0, \quad (2)$$

где n_a – необходимое количество агрегатов,

$$n_a = \frac{n_{yч} \Delta t_1}{\Delta t_0}, \quad (3)$$

где $n_{yч}$ – количество всех земельных участков в сельскохозяйственном предприятии,

$$n_{yч} = \frac{S_0}{L_p C_{yч}}, \quad (4)$$

Δt_1 – продолжительность обработки одного земельного участка, с (ч),

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t_p + \Delta t_{xx1} + \Delta t_{xx2} + \Delta t_{ост}}{1 - k_{отд}}, \quad (5)$$

Δt_p – время работы в загоне, с (ч)

$$\Delta t_p = \frac{L_p C_{уч}}{v b_p}, \quad (6)$$

Δt_{xx1} – время движения на поворотах

$$\Delta t_{xx1} = \left(\frac{l_{xx1}}{v} \right) \left(\frac{C_{уч}}{b_p} - 1 \right), \quad (7)$$

Δt_{xx2} – время переезда с участка на участок

$$\Delta t_{xx2} = \frac{l_{xx2}}{v}, \quad (8)$$

$\Delta t_{ост}$ – время технологического обслуживания агрегата

$$\Delta t_{ост} = \Delta t_{ост,xx1} \left(\frac{C_{уч}}{b_p} - 1 \right) + \Delta t_{ост,xx2}, \quad (9)$$

где $k_{отд}$ – коэффициент, учитывающий время, затраченное на личные надобности; b_p – рабочая ширина захвата агрегата, м; l_{xx1}, l_{xx2} – длина траектории одного поворота и одного переезда с участка на участок, м; $\Delta t_{ост,xx1}, \Delta t_{ост,xx2}$ – продолжительность остановки на технологическое обслуживание агрегата на повороте, при переезде с участка на участок, с (ч).

$$\Delta t_{ост,xx1} = \Delta t_{xx1,1} \frac{N_{ен}}{N_0} + \Delta t_{xx1,0}, \quad (10)$$

$$\Delta t_{ост,xx2} = \Delta t_{xx2,1} \frac{N_{ен}}{N_0} + \Delta t_{xx2,0}, \quad (11)$$

где $\Delta t_{xx1,1}, \Delta t_{xx1,0}, \Delta t_{xx2,1}, \Delta t_{xx2,0}$ – константы, характеризующие производственный процесс конкретного сельскохозяйственного предприятия, с (ч); константа $N_0 = 1000$ Вт (введена для придания выражению $N_{ен} / N_0$ безразмерного вида).

Модель параметра оптимизации – удельные эксплуатационные затраты при вспашке

$$\gamma = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{S_0}, \quad (12)$$

где D_1, D_2, D_3 – затраты при вспашке всех земельных участков: на топливно-смазочные материалы; заработную плату; амортизацию, техническое обслуживание (ТО), текущий ремонт (ТР) и хранение техники), усл. ед.

Затраты на топливно-смазочные материалы

$$D_1 = (1 + k_{ссм}) p_{топ} n_{уч} (N_{ep} g_{ep} \Delta t_p + N_{exx1} g_{exx1} \Delta t_{xx1} + N_{exx2} g_{exx2} \Delta t_{xx2} + k_{ост} N_{ен} g_{ен} \Delta t_{ост}), \quad (13)$$

где $k_{ссм}$ – коэффициент, учитывающий стоимость смазочных материалов; $p_{топ}$ – удельная стоимость топлива, усл. ед./кг (усл. ед./т); $N_{ep}, N_{exx1}, N_{exx2}$ – эффективная мощность двигателя трактора на рабочем ходу, на поворотах, при переезде с участка на участок, Вт (кВт); $g_{ep}, g_{exx1}, g_{exx2}$ – удельный расход топлива на рабочем ходу, на поворотах, при переезде с участка на участок, кг/Дж (г/кВт·ч); $g_{ен}$ – удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя трактора, кг/Дж (г/кВт·ч); $k_{ост}$ – коэффициент, учитывающий расход топлива на холостом режиме работы двигателя.

Мощность двигателя на рабочем режиме работы агрегата

$$N_{ep} = \eta_{lep} N_{en}, \quad (14)$$

где η_{lep} – коэффициент загрузки двигателя трактора на рабочем ходу.

Затраты на заработную плату

$$D_2 = p_{мех} (1 + k_{нак}) \Delta T_0, \quad (15)$$

где $p_{мех}$ – удельная оплата труда механизатора, усл. ед./с (усл. ед./ч),

$$p_{мех} = p_{мех,1} \frac{N_{en}}{N_0} + p_{мех,0}, \quad (16)$$

где $k_{нак}$ – коэффициент накладных расходов; $p_{мех,1}$, $p_{мех,0}$ – коэффициенты, учитывающие оплату труда в конкретном сельскохозяйственном предприятии, усл. ед./с (усл. ед./ч).

Затраты на амортизацию, техническое обслуживание, текущий ремонт и хранение техники

$$D_3 = n_a \left[\frac{C_{тр} \Delta t_0 (a_{a_{тр}} + a_{TO_{тр}} + a_{TP_{тр}} + a_{XP_{тр}})}{T_{Г_{тр}}} + \frac{c_{схм} b_p \Delta t_0 (a_{a_{схм}} + a_{TO_{схм}} + a_{TP_{схм}} + a_{XP_{схм}})}{T_{Г_{схм}}} \right], \quad (17)$$

где $C_{тр}$ – стоимость трактора, усл. ед.; $a_{a_{тр}}$, $a_{TO_{тр}}$, $a_{TP_{тр}}$, $a_{XP_{тр}}$, $a_{a_{схм}}$, $a_{TO_{схм}}$, $a_{TP_{схм}}$, $a_{XP_{схм}}$ – коэффициенты отчислений на амортизацию, техническое обслуживание, текущий ремонт и хранение трактора и сельскохозяйственной машины соответственно; $c_{схм}$ – удельная стоимость сельскохозяйственной машины, усл. ед./м; $T_{Г_{тр}}$, $T_{Г_{схм}}$ – годовая загрузка трактора и сельскохозяйственной машины соответственно, ч.

Математические модели вспашки (уравнения (1)–(17)), построенные только на базе экономического баланса и баланса времени, имеют концептуальный недостаток: они не могут быть использованы для многокритериальной оптимизации. Построенные модели имеют вид $W = W(\vec{X}, \vec{Z}(\vec{X}), \vec{A}(\vec{X}), \vec{B})$, $\gamma = \gamma(\vec{X}, \vec{Z}(\vec{X}), \vec{A}(\vec{X}), \vec{B})$, где $\vec{X} = (N_{en}, v)$ – вектор управляющих факторов; $\vec{Z}(\vec{X})$ – вектор вспомогательных параметров ($b_p, Ne_{xx1}, Ne_{xx2}, l_{xx1}, g_{ep}, g_{exx1}, g_{exx2}$), зависящих от управляющих факторов в неявном виде (для получения в явном виде следует использовать тяговый баланс, баланс мощности и топливно-энергетический баланс); $\vec{A}(\vec{X})$ – вектор технических параметров энергосредств, зависящих от управляющих факторов в неявном виде ($R_{тр}, L_{тр}, g_{ен}, M_{тр}, C_{тр}$) (для получения зависимостей в явном виде необходимо построить аппроксимирующие зависимости на базе данных линейки тракторов); \vec{B} – вектор констант, не зависящих от управляющих факторов, значения которых предопределяются природно-производственными условиями сельскохозяйственного предприятия. Поэтому математические модели операции вспашки, пригодные для многокритериальной оптимизации, должны иметь следующий вид: $W = W(\vec{X}, \vec{B})$, $\gamma = \gamma(\vec{X}, \vec{B})$.

Расчет вспомогательного параметра b_p в явном виде с использованием тягового баланса (вектор $\vec{Z}(\vec{X})$). Тяговый баланс при установившемся режиме описывается уравнением [9, 10]

$$P_{дв} = P_f + P_\alpha + R_M, \quad (18)$$

где $P_{дв}$ – движущая сила трактора, Н (кН); P_f – сопротивление качению движителей трактора, Н (кН),

$$P_f = M_{тр} g f_T, \quad (19)$$

P_α – сопротивление движению трактора на местности с уклоном α , Н (кН),

$$P_\alpha = (M_{тр} + m_{схм} b_p) g \sin \alpha, \quad (20)$$

R_M – тяговое сопротивление рабочей машины, Н (кН),

$$R_M = ak_{пл} [1 + \Delta_c (v - v_1)] b_p, \quad (21)$$

где $M_{\text{тр}}$ – эксплуатационная масса трактора, кг (т); g – ускорение свободного падения, м/с²; f_{T} – коэффициент сопротивления качению движителей трактора; $m_{\text{схм}}$ – удельная масса рабочей машины, кг/м (т/м); α – уклон местности, рад (град); $k_{\text{пл}}$ – удельное сопротивление почвы при вспашке со скоростью движения агрегата v_1 , Н/м² (кН/м²); a – глубина обработки, м; Δ_c – темп нарастания удельного тягового сопротивления, с/м (ч/км).

Из уравнений (18)–(21) следует

$$b_p = \frac{P_{\text{дв}} - M_{\text{тр}} g (f_{\text{T}} + \sin \alpha)}{ak_{\text{пл}} [1 + \Delta_c (v - v_1)] + m_{\text{схм}} g \sin \alpha}. \quad (22)$$

Значение $P_{\text{дв}}$ определяют из условия [4]

$$P_{\text{дв}} = \begin{cases} P_{\text{к}}, & \text{если } P_{\text{к}} \leq F_{\text{сн}} \\ F_{\text{сн}}, & \text{если } P_{\text{к}} > F_{\text{сн}} \end{cases}, \quad (23)$$

где $P_{\text{к}}$ – касательная сила тяги, Н (кН),

$$P_{\text{к}} = \frac{N_{\text{еН}} \eta_{\text{неР}} \eta_{\text{мГ}} (1 - \delta)}{v}, \quad (24)$$

$F_{\text{сн}}$ – максимальная сила сцепления движителей трактора с почвой, Н (кН),

$$F_{\text{сн}} = \mu M_{\text{тр}} g \cos \alpha, \quad (25)$$

где $\eta_{\text{мГ}}$ – КПД трансмиссии; δ – буксование движителей трактора; μ – коэффициент сцепления движителей трактора с почвой.

Из уравнений (22)–(25) следует

$$b_p = \begin{cases} \frac{\left(\frac{N_{\text{еН}} \eta_{\text{неР}} \eta_{\text{мГ}} (1 - \delta)}{v} \right) - M_{\text{тр}} g (f_{\text{T}} + \sin \alpha)}{ak_{\text{пл}} [1 + \Delta_c (v - v_1)] + m_{\text{схм}} g \sin \alpha}, & \text{если } P_{\text{к}} \leq F_{\text{сн}} \\ \frac{M_{\text{тр}} g [\mu - (f_{\text{T}} + \sin \alpha)]}{ak_{\text{пл}} [1 + \Delta_c (v - v_1)] + m_{\text{схм}} g \sin \alpha}, & \text{если } P_{\text{к}} > F_{\text{сн}} \end{cases}, \quad (26)$$

Параметр δ , входящий в уравнение (26), зависит от управляющих факторов $N_{\text{еН}}$ и v , поэтому его необходимо выразить как функцию управляющих факторов в явном виде, используя систему уравнений [11, 12]:

$$\begin{cases} \delta = \delta_{\text{max}} \left[1 - (1 - P_{\text{к}} / P_{\text{к max}})^m \right] \\ P_{\text{к}} = \frac{N_{\text{еН}} \eta_{\text{неР}} \eta_{\text{мГ}} (1 - \delta)}{v} \\ P_{\text{к max}} = M_{\text{тр}} g (f_{\text{T}} + \varphi_{\text{к, max}}) \end{cases}, \quad (27)$$

где δ_{max} – максимально допустимое буксование движителей трактора; $P_{\text{к max}}$ – максимальное значение касательной силы тяги на ведущих колесах трактора, при которой начинается полное буксование, Н (кН); m – показатель степени, характеризующий интенсивность буксования; $\varphi_{\text{к, max}}$ – отношение максимальной силы тяги к эксплуатационному весу трактора.

Система уравнений (27) сводится к уравнению

$$M_{\text{тр}} g (\varphi_{\text{к, max}} + f_{\text{T}}) \left[1 - (1 - \delta / \delta_{\text{max}})^{1/m} \right] v - \eta_{\text{мГ}} \eta_{\text{неР}} N_{\text{еН}} (1 - \delta) = 0. \quad (28)$$

Получение зависимости $\delta = \delta(N_{eH}, v)$ в явном виде возможно численным методом после подстановки значений констант $\varphi_{k, \max}, f_T, \delta_{\max}, m, \eta_{MГ}, \eta_{Mер}$ (например, «Подбор параметров» в MS Excel), а также аппроксимирующего уравнения $M_{Тр} = M_{Тр}(N_{eH})$.

Расчет параметров $N_{e_{xx1}}, N_{e_{xx2}}$ в явном виде (вектор $\vec{Z}(\vec{X})$) с использованием баланса мощности. Баланс мощности при установившемся режиме, представляющий закон сохранения энергии и предопределяющий распределение механической энергии, полученной от двигателя в результате сжигания топлива, на преодоление различных сопротивлений при эксплуатации агрегата определяется уравнением [13–16]:

$$N_e = N_M + N_\delta + N_f + N_\alpha + N_T, \quad (29)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, Вт (кВт); N_M – потери мощности в трансмиссии трактора, Вт (кВт),

$$N_M = N_e(1 - \eta_{MГ}), \quad (30)$$

N_δ – затраты мощности на буксование, Вт (кВт),

$$N_\delta = N_e \delta \eta_{MГ}, \quad (31)$$

N_f – затраты мощности на качение трактора, Вт (кВт),

$$N_f = \begin{cases} f_T M_{Тр} g v, & \text{на рабочем ходу,} \\ f_T g v (M_{Тр} + m_{схм} b_p), & \text{на холостом ходу (на повороте),} \end{cases} \quad (32)$$

N_α – затраты мощности на преодоление уклона, Вт (кВт),

$$N_\alpha = (M_{Тр} + m_{схм} b_p) v g \sin \alpha, \quad (33)$$

N_T – тяговая мощность трактора, Вт (кВт),

$$N_m = \begin{cases} a k_{nl} b_p v, & v \leq v_1 \\ a k_{nl} b_p v [1 + \Delta_c (v - v_1)], & v > v_1 \end{cases}. \quad (34)$$

Из уравнений (29)–(34) определяются:

– мощность двигателя $N_{e_{xx1}}$ при движении пахотного агрегата на повороте, при $N_e = N_{e_{xx1}}, \delta \approx 0, f_T = f_{T, xx1}, N_T = 0$

$$N_{xx1} = (1 - \eta_{MГ}) N_{eH} + (f_{T, xx1} + \sin \alpha) (M_{Тр} + m_{схм} b_p) g v; \quad (35)$$

– мощность двигателя $N_{e_{xx2}}$ при движении пахотного агрегата при переезде с участка на участок, при $N_e = N_{e_{xx2}}, \delta \approx 0, f_T = f_{T, xx2}, N_T = 0$

$$N_{xx2} = (1 - \eta_{MГ}) N_{eH} + (f_{T, xx2} + \sin \alpha) (M_{Тр} + m_{схм} b_p) g v, \quad (36)$$

где $f_T, f_{T, xx1}, f_{T, xx2}$ – коэффициенты сопротивления качению движителей трактора на рабочем ходу, на повороте, при переезде с участка на участок.

Расчет параметров $g_{e_{xx1}}, g_{e_{xx2}}$ в явном виде (вектор $\vec{Z}(\vec{X})$) с использованием топливно-энергетического баланса (параметрические уравнения Лейдερмана), показывающего, какая часть тепловой энергии, выделяемая при сжигании дизельного топлива в двигателе, переходит в механическую энергию маховика [17]:

$$\begin{cases} \frac{g_e}{g_{eH}} = c_0 - c_0 \left(\frac{n_e}{n_H} \right) + \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^2 \\ \frac{N_e}{N_{eH}} = c_1 \left(\frac{n_e}{n_H} \right) + (2 - c_1) \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^2 - \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^3 \end{cases}, \quad (37)$$

где g_e – удельный расход топлива при эффективной мощности двигателя N_e , кг/Дж (г/кВт·ч); c_0 , c_1 – константы, характеризующие режим работы дизельных двигателей; n_e , n_H – частота вращения коленчатого вала при эффективной и номинальной мощности двигателя, c^{-1} (мин $^{-1}$); интервал варьирования $n_e / n_H \in [0,3; 1,0]$.

Из системы уравнений (37) следует, что при $n_e / n_H = 1$, g_e / g_{eH} при $N_e = N_{eH}$, что косвенно подтверждает корректность уравнений Лейдермана.

Минимальное значение $g_{e_{\min}}$ следует из 1-го уравнения системы (37) при $\frac{dg_e}{dn_e} = 0$:

$$n_{g_{\min}} = \frac{c_0 n_H}{2}. \quad (38)$$

Подставляя уравнение (38) в систему уравнений (37), получаем

$$\frac{g_{e_{\min}}}{g_{eH}} = c_0 - \frac{c_0^2}{4}, \quad (39)$$

$$\frac{N_{e_{g_{\min}}}}{N_{eH}} = \frac{c_0}{8} [4c_1 + 2(2 - c_1)c_0 - c_0^2]. \quad (40)$$

Рассчитав значения c_0 , c_1 , по уравнениям (39)–(40) с учетом паспортных данных $g_{e_{\min}} / g_{eH}$, $N_{e_{g_{\min}}} / N_{eH}$ для дизельных двигателей с турбонаддувом, методом наименьших квадратов [18] может быть получено уравнение $g_e = g_e(N_e)$ в явном виде, которое позволит рассчитать удельный расход топлива g_{ep} , g_{exx1} и g_{exx2} при заранее рассчитанных параметрах N_{ep} , N_{exx1} и N_{exx2} .

Расчет параметра l_{exx1} в явном виде (вектор $\vec{Z}(\vec{X})$) с использованием кинематического уравнения траектории одного поворота. Траектории движения агрегата на повороте, различающиеся своими параметрами, оказывают влияние на энергетический и временной баланс производственной операции. В качестве примера траектория движения (рис. 1) описывается уравнением

$$l_{xx1} = \pi R_0 + |b_p - 2R_0| + L_{тр}, \quad (41)$$

где R_0 – радиус поворота, м; $L_{тр}$ – длина трактора, м.

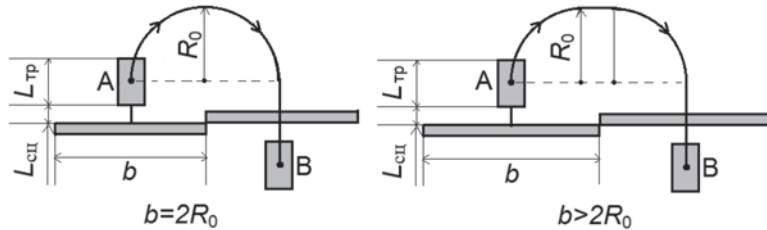


Рис. 1. Схема движения агрегата на повороте $l_{xx1} = l_{AB}$

После представления зависимости вектора вспомогательных параметров $\vec{Z} = \vec{Z}(\vec{X})$ от управляющих факторов в явном виде предварительная математическая модель вспашки (уравнения (1)–(17)) приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} W = W(\vec{X}, \vec{A}(\vec{X}), \vec{B}) \\ \gamma = \gamma(\vec{X}, \vec{A}(\vec{X}), \vec{B}) \end{cases}, \quad (42)$$

Дальнейший шаг, направленный на придание математической модели вида, пригодного для многокритериальной оптимизации, заключается в подстановке в модель вспашки аппроксимирующих зависимостей технико-экономических параметров энергосредств $R_{тр}$, $L_{тр}$, g_{eH} , $M_{тр}$, $C_{тр}$ (вектор $\vec{A}(\vec{X})$) от номинальной мощности двигателей в явном виде с использованием базы данных

конкретной линейки тракторов, а также полного комплекса констант (вектор \vec{B}), не зависящих от управляющих факторов, значения которых предопределяются природно-производственными условиями сельскохозяйственного предприятия. В результате математическая модель операции вспашки, пригодная для многокритериальной оптимизации, примет вид: $W = W(\vec{X}, \vec{B})$, $\gamma = \gamma(\vec{X}, \vec{B})$.

Заключение

1. Создана методология изучения основных закономерностей сложных технических систем (операция вспашки), связанных с использованием большого объема агротехнологической, технической, эксплуатационной, ресурсной и экономической информации, позволяющая обеспечить максимально возможную производительность труда при допустимых удельных эксплуатационных затратах путем формирования рационального комплекса машин.

2. Отличительная особенность полученной математической модели процесса вспашки заключается в использовании двух конфликтующих между собой параметров оптимизации (производительность труда, удельные эксплуатационные затраты) и двух независимых управляющих факторов (номинальная мощность двигателя трактора, скорость движения агрегата) для любой линейки тракторов и природно-производственных условий любой страны мира.

3. Многокритериальная оптимизация и построение Парето-оптимальных решений на базе созданной модели вспашки будет выполнена для линейки тракторов Минского тракторного завода и природно-производственных условий Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства : Директива Президента Республики Беларусь, 14 июня 2007 г., № 3 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 26.01.2016 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.
2. Операционная технология вспашки полей / В. Я. Тимошенко [и др.] // Агропанорама. – 2001. – № 2. – С. 27–31.
3. Оценка годовой загрузки новых отечественных тракторов «БЕЛАРУС» класса тяги 6 / А. В. Новиков [и др.] // Агропанорама. – 2016. – № 3. – С. 20–22.
4. Эксплуатационная оценка широкозахватного пахотного агрегата на базе трактора «БЕЛАРУС 4522С» / А. В. Новиков [и др.] // Агропанорама. – 2017. – № 2. – С. 2–8.
5. Новиков, А. В. Обоснование нормативов потребности сельскохозяйственного предприятия в мобильных энергетических средствах / А. В. Новиков, Д. А. Жданко, Т. А. Непарко // Изобретатель. – 2017. – № 2. – С. 41–45.
6. Ли, Цинчжэнь. Моделирование и оптимизация технологического процесса и средств механизации производства зерна для Среднего Китая на базе белорусской техники / Цинчжэнь Ли, А. Н. Леонов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі, Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 90–107.
7. Ли, Цинчжэнь. Определение номинальной мощности двигателя трактора и скорости МТА для выполнения конкретной операции с минимальным уровнем удельных затрат / Цинчжэнь Ли, А. Н. Леонов // Агропанорама. – 2019. – № 4. – С. 26–32.
8. Параметры оценки приспособленности энергосредств к агрегатированию в составе МТА / А. П. Ляхов [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 3. – С. 6–10.
9. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства: учебник / А. Н. Новиков [и др.]; под ред. А. В. Новикова. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 512 с.
10. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум: учеб. пособие / Т. А. Непарко [и др.]; под ред. Т. А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 220 с.
11. Савочкин, В. А. Тяговый расчет трактора / В. А. Савочкин. – М.: МГТУ «МАМИ», 2001. – 48 с.
12. Тверсков, Б. М. Тяговый расчет трактора / Б. М. Тверсков. – Курган: КГУ, 2016. – С. 11.
13. Тимошенко, В. Я. Технологическая надежность вспашки торфяно-болотных почв / В. Я. Тимошенко // Агропанорама. – 2004. – № 2. – С. 10–13.
14. Зангиев, А. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, А. В. Шпилько, А. Г. Глевшин. – М.: Колос, 2008. – С. 88–102.
15. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства / А. В. Новиков [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2011. – 408 с.
16. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства / Т. А. Непарко [и др.]; под общ. ред. Т. А. Непарко // Минск, БГАТУ, 2013. – С. 80.
17. Удельный эффективный расход топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/217/Lekcii/8-Lekciya-Tipi-tractorov-i-avtomobilej-Klassifikaciya.pdf>. – Дата доступа: 25.10.2023.
18. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. – М.: Мир, 1980. – 456 с.

А. Н. Леонов¹, Цинчжэнь Ли², Э. В. Дыба³, Т. А. Непарко¹, Е. Ю. Жушма¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: lannik@rambler.ru

²Ибиньский профессиональный технический колледж

г. Сычуань, Китайская Народная Республика

E-mail: 190570873@qq.com

³РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ

Аннотация. Разработан метод стохастического моделирования однофакторных технологических процессов уравнениями в ортогональных многочленах. Метод проиллюстрирован на типовой задаче растениеводства – построение зависимости недобора урожая зерновых при отклонении срока посева от оптимального значения.

Ключевые слова: моделируемая функция (урожайность), моделирующая функция (алгебраический ряд Тейлора), ортогональные факторы, недобор урожая, сроки выполнения операций, абсолютная погрешность моделирующей функции.

A. N. Leonov¹, Qingzhen Li², E. V. Dyba³, T. A. Neparco¹, E. Yu. Zhushma¹

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: lannik@rambler.ru

²YiBin Vocational and Technical College

Sichuan, China

E-mail: 190570873@qq.com

³RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: dibua-18@mail.ru

STOCHASTIC PROCESS MODELING CROP PRODUCTION WITH ORTHOGONAL POLYNOMIALS

Abstract. The method of stochastic modeling of single-factor technological processes by equations in orthogonal polynomials has been developed. The method is illustrated on the typical problem of crop production – the construction of a dependence on the shortage of grain yield when the sowing period deviates from the optimal value.

Keywords: simulated function (yield), simulating function (Taylor algebraic series), orthogonal factors, crop shortage, timing of operations, absolute error of simulating function.

Введение

Эффективным методом исследования сложных технических систем (СТС), к которым относится аграрно-промышленный комплекс (АПК), является системный анализ. Начальный этап системного анализа – операция **анализ**, которая включает в себя разбиение СТС на подсистемы с последующим математическим моделированием. Моделирование подсистем, так как они являются объектами более низкого порядка по сравнению с обобщенной системой, реализовать значительно легче, чем моделирование всей системы в целом. Заключительный этап системного анализа – операция **синтез**, которая включает в себя объединение всех подсистем в единое целое путем наложения функциональных связей между ними и построение обобщенной модели [1].

Для построения обобщенной модели СТС в стандартных компьютерных системах (например, MS Excel, Mathcad) необходимо, чтобы их математические модели и функциональные связи между ними (далее – объекты) были представлены аналитическими функциями (функция и ее производные – непрерывны). Однако на практике это не всегда бывает возможно. В этом случае предполагается, что изучаемый объект описывается некоторой неизвестной функцией $Y(t)$ (моделируемая функция), которая задается базой дискретных данных $Y_j(t_j)$, получаемых в результате эксперимента (t – независимый управляющий фактор). Математически задача моделирования объекта формулируется следующим образом: для моделируемой функции $Y(t)$ необходимо «подобрать» такую моделирующую функцию $\psi(t)$ чтобы $[Y(t) \approx \psi(t)]$ [2].

Основная часть

В данной статье рассмотрен случай, в котором и моделируемая функция $Y(t)$, и моделирующая функция $\psi(t)$ являются однофакторными уравнениями. Известно, что любая аналитическая функция с определенной погрешностью может быть представлена, например, в виде конечного степенного ряда Тейлора. Поэтому в качестве моделирующей функции $\psi(t)$ использован степенной ряд Тейлора k -ого порядка [3]

$$\psi(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_kt^k = \sum_{l=0}^k a_l t^l, \quad t \in [t_{\min}, t_{\max}], \quad (1)$$

где a_l – размерный коэффициент, $l = 0, \dots, k$.

Моделируемая функция $Y(t)$ и моделирующая функция $\psi(t)$ являются функциями размерного фактора t . Такой способ задания обеих функций имеет ряд существенных недостатков. Для исключения отрицательных моментов, связанных с различной размерностью и масштабом размерного фактора t , выраженного в натуральных координатах, моделирование осуществляют в безразмерном нормированном факторе X [3].

$$X_j = \frac{t_j - t_0}{\Delta t}, \quad X_j \in [-1, +1], \quad j = 1, \dots, N, \quad (2)$$

где $t_0 = (t_{\min} + t_{\max})/2$ – основной уровень, а $\Delta t = (t_{\max} - t_{\min})/2$ – интервал варьирования размерного фактора t .

После замены размерного фактора t на безразмерный X уравнение (1) принимает вид

$$\psi(X) = b_0X_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_kX^k = \sum_{l=0}^k b_l X^l, \quad X \in [-1, +1], \quad (3)$$

где b_l – безразмерный коэффициент уравнения, $l = 0, \dots, k$.

Однако уравнение (3) также имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что все факторы X^l взаимозависимы, что затрудняет интерпретацию параметра $Y(X)$ и существенно усложняет расчет абсолютной ошибки моделирующей функции $\Delta\psi(X)$, которая необходима для предоставления полного комплекса результатов моделирования.

Существенный прогресс в повышении эффективности моделирования изучаемых объектов внес Дж. Форсайт, который предложил структуру моделирующей функции $\psi(X)$ рассматривать в виде суммы ортогональных многочленов, а значения коэффициентов моделирующей функции рассчитывать по критерию Гаусса (1795) – Лагранжа (1805) методом наименьших квадратов (МНК) [4].

Уравнение моделирующей функции в ортогональных многочленах имеет следующий вид:

$$\psi(X) = c_0q_0(X) + c_1q_1(X) + c_2q_2(X) + \dots + c_kq_k(X) = \sum_{l=0}^k c_l q_l(X), \quad (4)$$

где c_l – безразмерный коэффициент; $q_l(X)$ – безразмерный ортогональный многочлен l -го порядка, $l = 0, 1, \dots, k$.

Моделированию объектов, описываемых детерминированными законами, в научной литературе посвящено достаточно большое количество публикаций [2, 4–8]. В этом случае каждому независимому управляющему фактору t со 100 % вероятностью соответствует одно значение моделирующей функции $\psi_j(t_j)$.

Ортогональные многочлены задаются уравнениями [5]

$$\begin{cases} q_0(X) = 1 \\ q_1(X) = X - \alpha_{10} \\ q_2(X) = X^2 - \alpha_{21}X - \alpha_{20} \\ \dots \\ q_k(X) = X^k - \alpha_{k,k-1}X^{k-1} - \dots - \alpha_{k0} \end{cases}, \quad (5)$$

где $\alpha_{10}, \alpha_{21}, \alpha_{20}, \dots, \alpha_{k0}$ – коэффициенты, которые рассчитываются из условия ортогональности многочленов, задаваемым следующим уравнением:

$$\sum_{j=1}^N q_l(X_j) \cdot q_m(X_j) = \begin{cases} 0, & l \neq m \\ \sum_{j=1}^N q_l^2(X_j) > 0, & l = m \end{cases}. \quad (6)$$

Для того, чтобы моделирующая функция $\psi(X)$ (см. уравнение (4)) «наилучшим образом» отражала дискретные экспериментальные значения моделируемой функции $Y_j(X_j)$, необходимо, чтобы ее коэффициенты c_0, c_1, \dots, c_k при $N > k + 1$ рассчитывались методом МНК:

$$\varphi(c_0, c_1, \dots, c_k) = \sum_{j=1}^N [\psi(X_j) - Y_j(X_j)]^2 = \min, \quad (7)$$

где $\psi(X_j)$ – значение моделирующей функции при $X = X_j$ (см. уравнение (4)).

Необходимое условие минимума функции $\varphi(c_0, c_1, \dots, c_k)$

$$\partial \varphi / \partial c_l = 0, \quad l = 0, 1, \dots, k. \quad (8)$$

Система уравнений (8) после преобразования имеет следующий вид:

$$\begin{cases} c_0 \sum_{j=1}^N q_0^2 + c_1 \sum_{j=1}^N q_0 q_1 + c_2 \sum_{j=1}^N q_0 q_2 + \dots + c_k \sum_{j=1}^N q_0 q_k = \sum_{j=1}^N q_0 \bar{Y}_j \\ c_0 \sum_{j=1}^N q_0 q_1 + c_1 \sum_{j=1}^N q_1^2 + c_2 \sum_{j=1}^N q_1 q_2 + \dots + c_k \sum_{j=1}^N q_1 q_k = \sum_{j=1}^N q_1 \bar{Y}_j \\ \dots \\ c_0 \sum_{j=1}^N q_0 q_k + c_1 \sum_{j=1}^N q_1 q_k + c_2 \sum_{j=1}^N q_2 q_k + \dots + c_k \sum_{j=1}^N q_k^2 = \sum_{j=1}^N q_k \bar{Y}_j \end{cases}. \quad (9)$$

Так как в системе уравнений (9) многочлены ортогональны (см. уравнение (6)), то эта система имеет диагональный вид и поэтому регрессионные коэффициенты $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ рассчитываются по достаточно простым формулам:

$$c_0 = \frac{\sum_{j=1}^N q_0 \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N q_0^2}, \quad c_1 = \frac{\sum_{j=1}^N q_1 \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N q_1^2}, \quad c_2 = \frac{\sum_{j=1}^N q_2 \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N q_2^2}, \quad \dots, \quad c_k = \frac{\sum_{j=1}^N q_k \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N q_k^2}. \quad (10)$$

Абсолютная погрешность $\Delta Y(X)$ моделируемой функции равна [2]:

$$\Delta Y(X) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N [\psi(X_j) - Y_j(X_j)]^2}{k+1}}, \quad (11)$$

Очевидно, что чем выше порядок ортогональных многочленов, тем точнее моделирующая функция $\psi(X)$ отражает дискретные значения моделируемой функции $Y(X)$. Наилучшее среднеквадратичное приближение в случае объекта, описываемого детерминированными законами, достигается при таком значении коэффициента k , при котором абсолютная погрешность $\Delta Y(X)$, рассчитанная по уравнению (11), равна инструментальной погрешности измерения $Y_j(X_j)$.

Стохастическому моделированию объектов в ортогональных многочленах в научной литературе посвящено значительно меньшее число публикаций, причем порядок многочленов, используемых в них, не превышает $k = 3$ [7–10]. При стохастическом моделировании каждому управляющему фактору t_j соответствуют различные значения объекта, причем каждое из значений в отдельно взятом опыте реализуется концептуально непредсказуемо даже при соблюдении одинаковых условий эксперимента.

Поясним применение стохастического моделирования на конкретном примере растениеводства. Система «растениеводство» состоит из большого количества подсистем (основная обработка почвы, внесение удобрений, предпосевная обработка почвы, посев, операции по уходу за посевами (подкормка, защита растений, орошение и др.), уборка, послеуборочная доработка продукции). Очевидно, что методология изучения основных закономерностей растениеводства должна базироваться на системном анализе. Кроме моделирования перечисленных подсистем, необходимо также наличие некоторого числа математических уравнений, характеризующих функциональные связи между ними, которые необходимы при объединении подсистем в единое целое. В растениеводстве в качестве таких связей используют, как правило, математические модели, отражающие зависимость недобора урожая зерновых культур от сроков выполнения производственных операций (пахота, посев, уборка) [11].

Моделирование процессов фотосинтеза, позволяющее установить зависимость прироста биомассы зерна на стадии молочно-воскового созревания, а также естественного процесса осыпания зерна на стадии уборки с помощью детерминированных закономерностей, выработанных в молекулярной биологии, в настоящее время практически невозможно. Кроме того, детерминированное моделирование этих процессов в значительной степени осложняется непредсказуемыми колебаниями природно-климатических условий. В результате агротехнических исследований установлено, что на величину собранного урожая значительное влияние оказывает соблюдение оптимальных сроков выполнения основных операций, возможно, даже большее, чем их качество [9, 10]. В свою очередь, соблюдение оптимальных сроков проведения операций оказывает существенное влияние на формирование рационального комплекса технических средств, что напрямую определяет эффективность производства (себестоимость зерна, производительность труда).

Поэтому стохастическое моделирование – эффективный способ моделирования функциональных связей между подсистемами, например, путем построения зависимости недобора урожая зерновых культур при отклонении сроков выполнения пахоты, посева и уборки от оптимальных значений.

Алгоритм Форсайта, разработанный для моделирования детерминированных процессов, в целом можно использовать и для моделирования стохастических процессов, но с учетом того, что при обработке исходных экспериментальных данных следует использовать аппарат математической статистики. Поэтому можно ожидать, что значения коэффициентов α в ортогональных многочленах (см. уравнение (5)), а также абсолютная погрешность прогнозирования изучаемого объекта будут зависеть не только от порядка ортогональных многочленов k , но и от плана эксперимента, количества опытов N , числа дублей каждого опыта n .

Цель статьи – разработка методологии стохастического моделирования технологических процессов с помощью уравнений в ортогональных многочленах, а также иллюстрация разработанно-

го алгоритма при решении конкретной народнохозяйственной задачи – математическое моделирование зависимости урожая озимой пшеницы от сроков посева.

Прежде чем перейти к моделированию технологического процесса, необходимо задать базу экспериментальных данных $Y_{ji}(X_j)$, характеризующих этот процесс. Так как природа изучаемого явления стохастическая, то получение экспериментальных данных должно осуществляться по заранее выбранному плану: матрица планирования состоит из N опытов ($j = 1, \dots, N$) и n дублей в каждом опыте ($i = 1, \dots, n$). В качестве плана эксперимента используем равномерно-симметричный план (РСП), размерный фактор которого в натуральных координатах задается уравнением

$$t_j = t_{\min} + \frac{j-1}{N-1} \cdot (t_{\max} - t_{\min}), \quad t \in [t_{\min}, t_{\max}], \quad \text{при } j=1, \dots, N. \quad (12)$$

Равномерно-симметричный план эксперимента в безразмерных нормированных координатах X после подстановки уравнения (12) в уравнение (2) имеет следующий вид:

$$X_j = -1 + \frac{2(j-1)}{N-1}, \quad X_j \in [-1, +1], \quad \text{при } j=1, \dots, N. \quad (13)$$

Если интервал варьирования фактора $X_j \in [-1, +1]$ и значения фактора антисимметричны относительно начала координат, то ортогональный многочлен $q_k(X)$ содержит только те степени фактора X , которые имеют одинаковую четность с номером k [5, 6]. Поэтому система уравнений (5) принимает следующий вид (для иллюстрации метода ограничимся случаем $k=5$):

$$\begin{cases} q_0(X) = 1 \\ q_1(X) = X \\ q_2(X) = X^2 - \alpha_{20} \\ q_3(X) = X^3 - \alpha_{31}X \\ q_4(X) = X^4 - \alpha_{42}X^2 - \alpha_{40} \\ q_5(X) = X^5 - \alpha_{53}X^3 - \alpha_{51}X \end{cases}, \quad (14)$$

где $\alpha_{20}, \alpha_{31}, \alpha_{42}, \alpha_{40}, \alpha_{53}, \alpha_{51}$ – коэффициенты ортогональных многочленов.

Следует отметить, что в работе была сделана попытка рассчитать коэффициенты α по системе уравнений (5) для $k=5$. Результат: $\alpha_{10}, \alpha_{21}, \alpha_{32}, \alpha_{30}, \alpha_{43}, \alpha_{41}, \alpha_{54}, \alpha_{52}, \alpha_{50}$ тождественно равнялись нулю, что подтвердило справедливость утверждения работ [5, 6], сделанного для систем, описываемых детерминированными законами.

Так как факторы $q_0(X), q_1(X), q_2(X), q_3(X), q_4(X), q_5(X)$ ортогональны между собой, то система уравнений (9) имеет диагональный вид, а коэффициенты $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ рассчитываются по уравнениям (10).

При расчете коэффициентов $\alpha_{20}, \alpha_{31}, \alpha_{42}, \alpha_{40}, \alpha_{53}, \alpha_{51}$, значения которых обеспечивают ортогональность многочленов $q_0(X), q_1(X), q_2(X), q_3(X), q_4(X), q_5(X)$, следует учесть, что при антисимметричности РСП:

$$X_j = -X_{N-j+1} \quad \text{для } j = 1, 2, \dots, N, \quad (15)$$

имеют место формулы

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N X_j \equiv 0 \\ \sum_{j=1}^N X_j^{2m+1} \equiv 0 \end{cases}, \quad m = 0, 1, 2. \quad (16)$$

Приведем еще одно очевидное равенство, которое будет полезно при расчете коэффициентов $\alpha_{20}, \alpha_{31}, \alpha_{42}, \alpha_{40}, \alpha_{53}, \alpha_{51}$:

$$\sum_{j=1}^N X_j^{2m} = \overline{X^{2m}} \cdot N, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (17)$$

Ниже приводится подробный расчет коэффициентов $\alpha_{20}, \alpha_{31}, \alpha_{42}, \alpha_{40}, \alpha_{53}, \alpha_{51}$.

$$1. \sum_{j=1}^N q_{1j} \cdot q_{0j} = \sum_{j=1}^N X_j \cdot 1 \equiv 0, \quad (18)$$

факторы (q_1, q_0) для РСП всегда ортогональны.

$$2. \begin{cases} \sum_{j=1}^N q_{2j} q_{0j} = \sum_{j=1}^N (X_j^2 - \alpha_{20}) \cdot 1 = (\overline{X^2} - \alpha_{20}) \cdot N = 0 \rightarrow \alpha_{20} = \overline{X^2} \\ \sum_{j=1}^N q_{2j} \cdot q_{1j} = \sum_{j=1}^N (X_j^2 - \alpha_{20}) \cdot X_j \equiv 0 \end{cases}, \quad (19)$$

факторы $(q_2, q_0), (q_2, q_1)$ для РСП ортогональны при $\alpha_{20} = \overline{X^2}$.

$$3. \begin{cases} \sum_{j=1}^N q_{3j} q_{0j} = \sum_{j=1}^N (X_j^3 - X_j) \cdot 1 \equiv 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{3j} q_{1j} = \sum_{j=1}^N (X_j^3 - \alpha_{31} X_j) \cdot X_j = \sum_{j=1}^N X_j^4 - \alpha_{31} \sum_{j=1}^N X_j^2 = (\overline{X^4} - \alpha_{31} \overline{X^2}) \cdot N = 0 \rightarrow \alpha_{31} = \overline{X^4} / \overline{X^2}, \\ \sum_{j=1}^N q_{3j} q_{2j} = \sum_{j=1}^N (X_j^3 - \alpha_{31} X_j) \cdot (X_j^2 - \alpha_{20}) \equiv 0 \end{cases} \quad (20)$$

факторы $(q_3, q_0), (q_3, q_1), (q_3, q_2)$ для РСП ортогональны при $\alpha_{31} = \frac{\overline{X^4}}{\overline{X^2}}$.

$$4. \begin{cases} \sum_{j=1}^N q_{4j} q_{0j} = \sum_{j=1}^N (X_j^4 - \alpha_{42} X_j^2 - \alpha_{40}) \cdot 1 = (\overline{X^4} - \alpha_{42} \overline{X^2} - \alpha_{40}) \cdot N = 0 \rightarrow \overline{X^4} - \alpha_{42} \overline{X^2} - \alpha_{40} = 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{4j} q_{1j} = \sum_{j=1}^N (X_j^4 - \alpha_{42} X_j^2 - \alpha_{40}) \cdot X_j \equiv 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{4j} q_{2j} = \sum_{j=1}^N (X_j^4 - \alpha_{42} X_j^2 - \alpha_{40}) \cdot (X_j^2 - \overline{X^2}) = \left[(\overline{X^6} - \overline{X^4} \cdot \overline{X^2}) - \alpha_{42} \left(\overline{X^4} - (\overline{X^2})^2 \right) \right] \cdot N = 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{4j} q_{3j} = \sum_{j=1}^N (X_j^4 - \alpha_{42} X_j^2 - \alpha_{40}) \cdot (X_j^3 - \alpha_{31} X_j) \equiv 0 \end{cases} \quad (21)$$

Для расчета констант α_{42}, α_{40} воспользуемся 1-м и 3-м уравнениями системы (21):

$$\begin{cases} \alpha_{42} \overline{X^2} + \alpha_{40} = \overline{X^4} \\ \alpha_{42} \left(\overline{X^4} - (\overline{X^2})^2 \right) = \overline{X^6} - \overline{X^4} \cdot \overline{X^2}. \end{cases} \quad (22)$$

Из уравнений (22) следует, что факторы $(q_4, q_0), (q_4, q_1), (q_4, q_2), (q_4, q_3)$ ортогональны при

$$\alpha_{42} = \frac{\overline{X^6} - \overline{X^4} \cdot \overline{X^2}}{\overline{X^4} - (\overline{X^2})^2} \quad \text{и} \quad \alpha_{40} = \overline{X^4} - \alpha_{42} \overline{X^2} = \frac{(\overline{X^4})^2 - \overline{X^6} \cdot \overline{X^2}}{\overline{X^4} - (\overline{X^2})^2}. \quad (23)$$

$$5. \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^N q_{5j} q_{0j} = \sum_{j=1}^N (X_j^5 - \alpha_{53} X_j^3 - \alpha_{51} X_j) \cdot 1 \equiv 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{5j} q_{1j} = \sum_{j=1}^N (X_j^5 - \alpha_{53} X_j^3 - \alpha_{51} X_j) \cdot X_j = (\overline{X^6} - \alpha_{53} \overline{X^4} - \alpha_{51} \overline{X^2}) \cdot N = 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{5j} q_{2j} = \sum_{j=1}^N (X_j^5 - \alpha_{53} X_j^3 - \alpha_{51} X_j) \cdot (X_j^2 - \overline{X^2}) \equiv 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{5j} q_{3j} = \sum_{j=1}^N (X_j^5 - \alpha_{53} X_j^3 - \alpha_{51} X_j) \cdot \left(X_j^3 - \frac{\overline{X^4}}{X^2} X_j \right) = \left[\left(\overline{X^8} - \frac{\overline{X^4}}{X^2} \cdot \overline{X^6} \right) - \alpha_{53} \left(\overline{X^6} - \frac{\overline{X^4}}{X^2} \cdot \overline{X^4} \right) \right] \cdot N = 0 \\ \sum_{j=1}^N q_{5j} q_{4j} = \sum_{j=1}^N (X_j^5 - \alpha_{53} X_j^3 - \alpha_{51} X_j) \cdot (X_j^4 - \alpha_{42} X_j^2 - \alpha_{40}) \equiv 0 \end{array} \right. \quad (24)$$

Для расчета констант α_{53} , α_{51} воспользуемся 2-м и 4-м уравнениями системы (24)

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{53} \overline{X^4} + \alpha_{51} \overline{X^2} = \overline{X^6} \\ \alpha_{53} \left(\overline{X^6} - \frac{\overline{X^4}}{X^2} \cdot \overline{X^4} \right) = \left(\overline{X^8} - \frac{\overline{X^4}}{X^2} \cdot \overline{X^6} \right), \end{array} \right. \quad (25)$$

из системы (25) следует, что факторы (q_5, q_0) , (q_5, q_1) , (q_5, q_2) , (q_5, q_3) , (q_5, q_4) для РСП ортогональны при

$$\alpha_{53} = \frac{\overline{X^8} \cdot \overline{X^2} - \overline{X^6} \cdot \overline{X^4}}{\overline{X^6} \cdot \overline{X^2} - (\overline{X^4})^2} \quad \text{и} \quad \alpha_{51} = \frac{\overline{X^6} - \alpha_{53} \overline{X^4}}{X^2} = \frac{(\overline{X^6})^2 - \overline{X^8} \cdot \overline{X^4}}{\overline{X^6} \cdot \overline{X^2} - (\overline{X^4})^2}. \quad (26)$$

Таким образом, моделирующая функция $\psi(X)$ может быть представлена уравнением в ортогональных многочленах 5-го порядка (таким же методом можно получить больший порядок)

$$Y(X) = c_0 + c_1 X + c_2 (X^2 - \alpha_{20}) + c_3 (X^3 - \alpha_{31} X) + c_4 (X^4 - \alpha_{42} X^2 - \alpha_{40}) + c_5 (X^5 - \alpha_{53} X^3 - \alpha_{51} X), \quad (27)$$

или с учетом уравнений (18)–(20), (23), (26)

$$\left\{ \begin{array}{l} Y(X) = c_0 + c_1 X + c_2 \left(X^2 - \overline{X^2} \right) + c_3 \left(X^3 - \frac{\overline{X^4}}{X^2} \cdot X \right) + c_4 \left(X^4 - \frac{\overline{X^6} - \overline{X^4} \cdot \overline{X^2}}{\overline{X^4} - (\overline{X^2})^2} \cdot X^2 - \frac{(\overline{X^4})^2 - \overline{X^6} \cdot \overline{X^2}}{\overline{X^4} - (\overline{X^2})^2} \right) + \\ + c_5 \left(X^5 - \frac{\overline{X^8} \cdot \overline{X^2} - \overline{X^6} \cdot \overline{X^4}}{\overline{X^6} \cdot \overline{X^2} - (\overline{X^4})^2} X^3 - \frac{(\overline{X^6})^2 - \overline{X^8} \cdot \overline{X^4}}{\overline{X^6} \cdot \overline{X^2} - (\overline{X^4})^2} X \right) \end{array} \right. , \quad (28)$$

в котором коэффициенты $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ рассчитываются по системе уравнений (10).

В таблице 1 приведены результаты расчетов коэффициентов $\alpha_{20}, \alpha_{31}, \alpha_{42}, \alpha_{40}, \alpha_{53}, \alpha_{51}$, которые являются функциями только 4-х параметров: $\overline{X^2}, \overline{X^4}, \overline{X^6}, \overline{X^8}$. Для расчета коэффициентов α , например, в компьютерной программе MS Excel, в зависимости от числа опытов N сначала с учетом уравнения (13) формируют столбцы X^2, X^4, X^6, X^8 , затем рассчитывают их средние значения, а потом по уравнениям (19), (20), (23), (26) рассчитывают $\alpha_{20}, \alpha_{31}, \alpha_{42}, \alpha_{40}, \alpha_{53}, \alpha_{51}$.

Таблица 1. Коэффициенты α ортогональных многочленов для различных N

N	α_{20}	α_{31}	α_{42}	α_{40}	α_{53}	α_{51}
21	0,3667	0,6580	0,9357	-0,1018	1,2056	-0,2794
20	0,3684	0,6609	0,9395	-0,1026	1,2096	-0,2812
19	0,3704	0,6642	0,9436	-0,1035	1,2140	-0,2831
18	0,3725	0,6678	0,9481	-0,1044	1,2188	-0,2852
17	0,3750	0,6719	0,9531	-0,1055	1,2240	-0,2874
16	0,3778	0,6764	0,9587	-0,1066	1,2296	-0,2899
15	0,3810	0,6816	0,9650	-0,1080	1,2358	-0,2926
14	0,3846	0,6876	0,9721	-0,1094	1,2426	-0,2954
13	0,3889	0,6944	0,9802	-0,1111	1,2500	-0,2985
12	0,3939	0,7025	0,9894	-0,1130	1,2580	-0,3017
11	0,4000	0,7120	1,0000	-0,1152	1,2667	-0,3051
10	0,4074	0,7235	1,0123	-0,1177	1,2757	-0,3082
9	0,4167	0,7375	1,0268	-0,1205	1,2847	-0,3108
8	0,4286	0,7551	1,0437	-0,1237	1,2925	-0,3116

Как и предполагалось, значения ортогональных многочленов при стохастическом моделировании зависят от числа опытов N . Проиллюстрируем применение разработанного алгоритма стохастического моделирования в ортогональных полиномах для моделирования недобора урожая озимой пшеницы при отклонении срока посева от оптимального значения. Исходные данные, а также предварительная обработка экспериментальных данных приведены в таблицах 2–3 [11, 12].

Таблица 2. Исходные данные по озимой пшенице и рассчитанные ортогональные многочлены

N	n	t_{\min} , дн	t_{\max} , дн	x_0 , дн	Dx , дн	a_{20}	a_{31}	a_{42}	a_{40}	a_{53}	a_{51}
11	3	-25	25	0	25	0,40	0,7120	1,00	-0,1152	1,2667	-0,3051

В таблице 3 приведены результаты предварительной обработки экспериментальных данных [3].

Таблица 3. Матрица планирования. Предварительная обработка экспериментальных данных

j	t , дн.	Y_{1r} , %	Y_{2r} , %	Y_{3r} , %	\bar{Y}_j , %	S_j^2	
1	-25	30,1	32,3	33,6	32,0	3,130	
2	-20	24,0	25,5	22,5	24,0	2,250	
3	-15	18,1	19,2	16,7	18,0	1,570	
4	-10	10,5	10,4	12,1	11,0	0,910	
5	-5	6,2	5,2	6,6	6,0	0,520	
6	0	4,3	4,4	3,3	4,0	0,370	
7	5	4,7	5,8	4,5	5,0	0,490	
8	10	8,1	9,0	9,9	9,0	0,810	
9	15	14,0	13,2	11,8	13,0	1,240	
10	20	17,1	18,3	15,6	17,0	1,830	
11	25	21,9	20,5	23,6	22,0	2,410	
$G_3 = 0,202 < G_{2; 11; 0,95} = 0,417$				Сумма	161,0	15,53	31
$S_{\text{воспр}}^2 = \sum_{j=1}^N S_j^2 / N = 1,412; f_{\text{воспр}} = N(n-1) = 22; \Delta \bar{Y}_j = \frac{t_{n-1; 0,95} \cdot S_j}{\sqrt{n}}$							

В таблицах 4–6 приведены значения ортогональных многочленов при $N = 11$ моделирующей функции Ψ_j^p , абсолютной погрешности $\Delta \psi_j^p$, коэффициентов c_k , а также результаты проверки коэффициентов c_k на значимость по критерию Стьюдента, моделирующей функции $\psi(X)$ на адекватность по критерию Фишера [3].

Таблица 4. Матрица моделирования. Рассчитанные параметры ψ_j^p и их абсолютная погрешность $\Delta\psi_j^p$

j	$\bar{Y}_j, \%$	q_{0j}	q_{1j}	q_{2j}	q_{3j}	q_{4j}	q_{5j}	$\psi_j^p, \%$	$(\psi_j^p - \bar{Y}_j)^2$	$\Delta\psi_j^p, \%$	$\Delta\bar{Y}_j, \%$	$\Delta\bar{Y}_j/\Delta\psi_j^p$
1	32,0	1	-1,00	0,60	-0,288	0,115	-0,038	31,22	0,603	1,2	4,4	3,7
2	24,0	1	-0,80	0,24	0,058	-0,115	0,077	24,82	0,665	0,9	3,7	4,1
3	18,0	1	-0,60	-0,04	0,211	-0,115	0,013	17,68	0,106	0,8	3,1	3,9
4	11,0	1	-0,40	-0,24	0,221	-0,019	-0,051	11,27	0,074	0,6	2,4	4,0
5	6,0	1	-0,20	-0,36	0,134	0,077	-0,051	6,65	0,427	0,7	1,8	2,6
6	4,0	1	0,00	-0,40	0,000	0,115	0,000	4,45	0,202	0,8	1,5	1,9
7	5,0	1	0,20	-0,36	-0,134	0,077	0,051	4,87	0,017	0,7	1,7	2,4
8	9,0	1	0,40	-0,24	-0,221	-0,019	0,051	7,71	1,670	0,6	2,2	3,7
9	13,0	1	0,60	-0,04	-0,211	-0,115	-0,013	12,33	0,449	0,8	2,8	3,5
10	17,0	1	0,80	0,24	-0,058	-0,115	-0,077	17,69	0,473	0,9	3,4	3,8
11	22,0	1	1,00	0,60	0,288	0,115	0,038	22,31	0,099	1,2	3,9	3,3
									$\varphi = 4,784$	0,8	2,8	3,5

Таблица 5. Коэффициенты уравнения моделирующей функции c_k и их значимость

Показатели	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	B
	14,64	-4,5	22,3	-2,1	-10,9	3	
$S^2(c_k) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^n q_{kj}^2}$	0,04278	0,1070	0,3428	1,190	4,464	18,41	
$S(c_k) = \sqrt{S^2(c_k)}$	0,2068	0,3270	0,5855	1,091	2,113	4,291	
$t_{N(n-1); 0,95}$	2,074	2,074	2,074	2,074	2,074	2,074	
$\Delta c_k = t_{N(n-1); 0,95} \cdot S(c_k)$	0,43	0,7	1,2	2,3	4,4	9	
Значимость $\Delta c_k < c_k $	1	1	1	0	1	0	4

Таблица 6. Результаты проверки уравнения моделируемой функции на адекватность

Уравнения	$S_{\text{воспр}}^2$ ($f_{\text{воспр}}$)	$S_{\text{ад}}^2$ ($f_{\text{ад}}$)	$F_{\text{э}}$	$F_{\text{табл}}$	Адекват.
$\psi_0(X) = 14,64$	1,412 (22)	236,6 (10)	167,6	2,297	Нет
$\psi_1(X) = 14,64 - 4,5X$	1,412 (22)	233,7 (9)	165,6	2,342	Нет
$\psi_2(X) = 14,64 - 4,5X + 22,3 \cdot (X^2 - 0,400)$	1,412 (22)	6,514 (8)	4,613	2,397	Нет
$\psi_3(X)^* = \psi_2(X) = 14,64 - 4,5X + 22,3 \cdot (X^2 - 0,400)$	1,412 (22)	6,514 (8)	4,613	2,397	Нет
$Y_4 = 14,64 - 4,5X + 22,3 \cdot (X^2 - 0,400) - 10,9 \cdot (X^4 - X^2 + 0,115)$	1,412 (22)	2,050 (7)	1,452	2,464	Да

* Уравнение $\psi_3(X) = \psi_2(X)$, так как коэффициент c_3 – незначим.

Адекватность моделирующей функции проверяется по критерию Фишера:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{n \sum_{j=1}^N (\psi_j^p - \bar{Y}_j)^2}{N - B}, \quad f_{\text{ад}} = N - B, \quad F_{\text{э}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}.$$

$$F_{\text{T}} = F_{N-B, N(n-1); 0,95}, \text{ так как } S_{\text{ад}}^2 > S_{\text{воспр}}^2.$$

Если $F_{\text{э}} < F_{\text{T}}$, то уравнение регрессии адекватно, в противном случае – неадекватно [3].

Так как коэффициенты c_3 и c_5 незначимы (табл. 5), то

$$\psi(X) = 14,64 - 4,5 \cdot X + 22,3 \cdot (X^2 - 0,400) - 10,9 \cdot (X^4 - X^2 + 0,115).$$

Полученное уравнение адекватно, так как $F_3 = 1,452 < 2,464 = F_{7,22; 0,95}$ (табл. 6).

Ортогональность многочленов позволяет рассчитать не только величину недобора урожая озимой пшеницы при отклонении оптимального срока посева от оптимального значения, но и ее абсолютную погрешность (уравнение (24))

$$\Delta Y(X) = t_{N(n-1); 0,95} \cdot \sqrt{S^2(c_0) + q_1^2 S^2(c_1) + q_2^2 S^2(c_2) + q_3^2 S^2(b_3) + q_4^2 S^2(c_4) + q_5^2 S^2(c_5)}. \quad (24)$$

$$\Delta Y(X) = 2,074 \cdot \sqrt{0,04278 + 0,1070 \cdot X^2 + 0,3428 \cdot (X^2 - 0,400)^2 + 4,464 \cdot (X^4 - X^2 + 0,115)^2} \quad (25)$$

Следует обратить внимание на то, что уравнения моделирующей функции 0-го, 1-го, 2-го, 3-го порядков не являются адекватными (таблица 6). В случае ортогональности многочленов последовательное повышение порядка уравнения $\psi(X)$ не изменяет значения предыдущих коэффициентов c_k , что подтверждает независимость ортогональных многочленов. Так как уравнение 4-го порядка адекватно, коэффициент c_5 должен быть незначимым, что и подтверждается данными таблицы 6.

Следует обратить внимание еще на один результат расчета. Из данных таблицы 4 следует, что среднее значение абсолютной погрешности моделирующей функции $\Delta\psi(X)$ в 3,4 раза меньше, чем среднее значение абсолютной погрешности экспериментальных данных $\Delta\bar{Y}_j$. Объяснение этого явления достаточно простое и предсказуемое: среднее экспериментальное значение моделируемой функции \bar{Y}_j рассчитывается по 3 дублям ($n = 3$), а значения моделирующей функции $\psi(X)$ – по 33 экспериментальным точкам ($Nn = 33$). Поэтому точность определения последнего параметра в \sqrt{N} раз выше ($\sqrt{11} \approx 3,3$), чем первого. Вывод: математическая модель объекта позволяет делать прогноз точнее, чем породивший ее эксперимент!

На рис. 1 приведены графики, наглядно показывающие влияние отклонения срока посева озимой пшеницы от оптимального значения на недобор урожая.

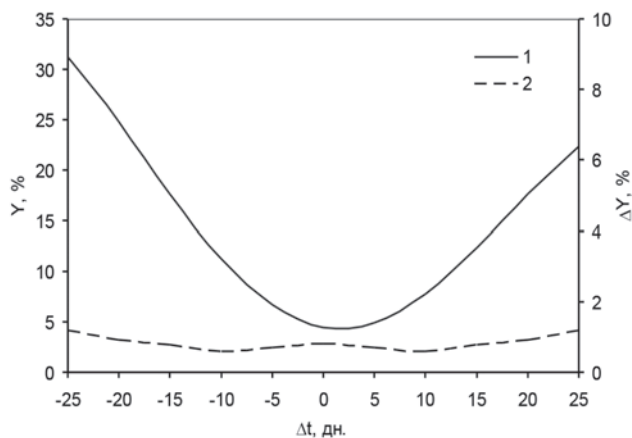


Рис. 1. График зависимости недобора урожая озимой пшеницы $Y(\Delta t)$ (1) и абсолютной погрешности недобора урожая $\Delta Y(\Delta t)$ (2) при отклонении срока посева от оптимального значения Δt

Заключение

1. Разработан алгоритм стохастического моделирования технологических процессов растениеводства с помощью ортогональных многочленов. Ортогональная форма уравнений регрессии позволяет корректно определить минимальный порядок алгебраического полинома моделирующей функции, оценить вклад каждого фактора, а также, благодаря отсутствия корреляции между ортогональными многочленами, рассчитать абсолютную ошибку при прогнозировании изучаемых объектов. Отличительная особенность стохастического моделирования в ортогональных много-

членах от детерминированного моделирования заключается в том, что минимальный порядок ортогонализирующих многочленов зависит от выбранного плана эксперимента, количества опытов и количества дублей в каждом опыте.

2. Разработанная стохастическая модель может быть использована в качестве уравнения функциональной связи при объединении подсистем в единую систему методом системного анализа.

Список использованных источников

1. Тарасенко, В. П. Прикладной системный анализ / В. П. Тарасенко. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.
2. Вержбицкий, В. М. Численные методы. Математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения / В. М. Вержбицкий. – М.: Высшая школа, 2001. – 104 с.
3. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
4. Forsythe, G. E. Generation and use of orthogonal polynomial for data fitting with a digital computer / G. E. Forsythe // J. Soc. Indust. Appl. Math. – 1957. – Vol. 5. – P. 74–88.
5. Суетин, П. К. Классические ортогональные многочлены / П. К. Суетин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2005 – 480 с.
6. Сухопаров, С. Ю. Вывод рекуррентного соотношения ортогональных многочленов из процесса ортогонализации Грамма-Шмидта, а также схема применения полученного рекуррентного соотношения / С. Ю. Сухопаров // arXiv:submit/1109657 [cs.NA]. – 8 Nov 2014.
7. Леонов, А. Н. Моделирование зависимости фактической урожайности зерновых от сроков посева и уборки / А. Н. Леонов, Цинчжэнь Ли // Агропанорама. – 2018. – № 4. – С. 21–30.
8. Жушма, Е. Ю. Математическое моделирование объектов АПК с помощью ортогональных полиномов / Е. Ю. Жушма ; науч. рук. А. Н. Леонов, Ли Цинчжэнь // Перспективная техника и технологии в АПК : материалы Международной научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 13–14 апреля 2023 г. – С. 140–143.
9. Кадыров, М. А. О земледелии, селекции и рациональном хозяйствовании / М. А. Кадыров. – Минск: Несси, 2001. – 163 с.
10. Шило, И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И. Н. Шило, В. Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 184 с. (С. 75–76).

З. А. Годжаев¹, А. В. Лавров¹, А. Р. Горгодзе²

¹Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»
Москва, Россия

²Союз промышленников «Прогресс»
Москва, Россия

СИСТЕМА МАШИН КАК ГЛАВНЫЙ АСПЕКТ СЕЛЬХОЗМАШИНОСТРОЕНИЯ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Аннотация. В статье рассмотрены основные направления формирования системы машин и технологий (СМТ) для комплексной механизации сельскохозяйственного производства до 2035 г. СМТ должна служить ориентиром дальнейшего развития сельскохозяйственного машиностроения и агропромышленного производства.

Ключевые слова: система машин и технологий, структура СМТ, инновационная техника, программа разработки машин.

Z. A. Godzhaev¹, A. V. Lavrov¹, A. R. Gorgodze²

¹Federal Scientific Agroengineering Center "VIM"
Moscow, Russia

²Union of Industrialists "Progress"
Moscow, Russia

MACHINE SYSTEM AS THE MAIN ASPECT OF AGRICULTURAL MACHINERY ENGINEERING OF THE UNION STATE

Abstract. The article examines the main directions for the formation of a system of machines and technologies (SMT) for the comprehensive mechanization of agricultural production until 2035. SMT should serve as a guide for the further development of agricultural engineering and agro-industrial production.

Keywords: system of machines and technologies, SMT structure, innovative technology, machine development program.

Введение

В СССР система машин разрабатывалась для всех республик и являлась одним из главных документов, определявших техническую политику и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Постепенно она утрачивала значение по мере возникающих рыночных отношений.

Система 1995 года, несмотря на привязку технических средств к технологическим системам, также строилась на принципах директивности. В условиях формирования рыночных отношений она не была востребована ни сельскохозяйственной практикой, ни сельхозмашиностроением и практически себя изжила. Следует отметить, что эта система машин вобрала в себя не только технику для сельского хозяйства, но и оборудование для перерабатывающей промышленности, технического сервиса, частично энергетики. Но и это не подняло престиж такого важного нормативного документа.

К примеру, последняя **СМТ в Российской Федерации, 2012 года**, была востребована Минпромторгом и получила признание в широких кругах научной общественности. При этом надо отметить, что в Беларуси в настоящее время утверждена Система машин для реализации перспективных технологий производства основных видов сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь на 2021–2026 годы и на период 2030 года.

Основная часть

В условиях, когда рыночные отношения в экономике стали определяющими, когда законодательно разграничены функции государства и производства, основанного на частной собственности, новая система машин должна быть построена на сочетании требований государства по технической и экологической безопасности и информированности товаропроизводителей. Она может быть востребована только при наличии к ней интереса со стороны как государства, так и разнообразных ее потребителей. Это должно служить базой построения СМТ. Она должна служить ориентиром дальнейшего развития сельскохозяйственного машиностроения и агропромышленного производства.

Необходимость документа обусловлена тем, что для научно обоснованного принятия решений по государственной поддержке тех или иных машин требуется наличие технико-технологических требований, которым должны соответствовать показатели назначения этих машин, орудий и агрегатов. Тогда как на сегодняшний день, например, нормы, предусмотренные Постановлением Правительства РФ № 740, опираются на требования стандартов сорокалетней давности и не учитывают требования к таким машинам, как тракторы выше пятого тягового класса.

Функционально СМТ должна стать нормативно-информационным документом, оптимизирующим типаж техники на рынках Беларуси и России и регулирующим программу разработки машин.

Новая СМТ, представляющая важный блок инженерно-технологической сферы, должна быть главным инструментом стратегии ее развития. В СМТ включатся перспективные типы технических средств, которые будут разрабатываться в долгосрочном плане; приоритетные машины, рекомендуемые к государственной поддержке с учетом обязательных и информационных требований по исполнению технологических операций и возможности конкурировать на рынке машин.

Группы требований к технике, включаемой в СМТ, можно подразделить на:

- нормативные, обязательные к исполнению всеми участниками ее разработки (наукой, КБ), производителями машин и их потребителями, посредниками и надзорными органами;
- информационные, рекомендуемые к исполнению.

Обязательными условиями СМТ являются государственные требования по безопасности машин (защита здоровья человека, животных, защита растений, экологические ограничения и т. д.) с гармонизацией параметров безопасности с мировыми требованиями. Исполнение этих условий осуществляется технологическими и техническими факторами.

Основной интерес к этой группе обязательных ограничений, принятых в СМТ, видится со стороны государства. Можно надеяться, что государство выступит в качестве заказчика СМТ, рассматривая ее как основной инструмент реализации нормативных актов. В этом плане обязательные ограничения выступают в качестве нормативных регуляторов оптимизации парка машин в сельском хозяйстве.

Как предложение решения выбора формата нового документа, следует рассмотреть введение стандарта, аналогичного техническим регламентам, как, например, стандарт одобрения типа машин в автомобильной промышленности.

Информационная функция СМТ позволит обоснованно прогнозировать следующее:

складывающуюся в перспективе конъюнктуру на рынке машин, какие параметры техники и для каких технологий будут в будущем востребованы;

определение параметров машин для реализации достижений научно-технического прогресса, освоение разной группы интенсивности в характеристиках машин с учетом запроса потребителей;

«отраслевые» требования по взаимосвязке параметров машин при их агрегатировании. Известно, что транснациональные компании в этом плане «саморегулируются», производя полный комплекс машин. В странах Союзного государства при раздробленности производства техники, отсутствии интегрированности предприятий СМТ должна быть своеобразным «сборочным цехом» для оптимального агрегатирования машин при выполнении агротехнологий.

Таким образом, СМТ должна формироваться на принципах исполнения:

– государственных требований безопасности производства, продукции и ландшафтов, а также ценовых ограничений по этапам развития сельского хозяйства для выравнивания индекса цен на продукцию сельского хозяйства и промышленности;

– требований технологий производства сельскохозяйственной продукции;

– потребностей рынка техники с учетом его прогнозных изменений;

– научно-технического прогресса и его гармонизации с мировыми достижениями;

– главное – интересов государства в безопасности аграрной системы, а также интересов сельскохозяйственных потребителей, производителей техники и сферы инженерных услуг в получении прибыли.

С учетом изложенной концепции построения машинно-технологической системы представляется целесообразной следующая структура (форма) СМТ.

1. Наименование машин по разделам (начинать изложение с мобильных энергетических средств с номера по порядку или шифру), технологические операции, технологический адаптер.

2. Типоразмер (мощность двигателя, класс тяги).

3. Требование технического регламента по безопасности – для собственного рынка и с учетом гармонизации с мировыми стандартами.

4. Технический уровень и соответствие мировым показателям (например, соотнесение с принятым поколением техники).

5. Техническая надежность, проектная.

6. Агрозона применения и тип технологии по интенсивности.

7. Новый или модернизированный образец, расчетная потребность.

8. Техника, которая включена в СМТ, имеющая важное значение и рекомендованная к государственной поддержке, должна иметь условную марку.

В СМТ следует выделить специальный раздел цифровизации, в котором будут отражены все разработки в области инновационных перспектив автоматизации и роботизации сельскохозяйственного производства.

Организационно представляется важным обсудить следующие предложения.

Во-первых, было бы целесообразным разрабатывать СМТ на период до 20 лет с возможностью корректировки по пятилеткам.

Во-вторых, она должна быть гармонизирована с типажом машин, производимых транснациональными компаниями сельхозмашиностроения и рекомендованных на рынок стран Союзного государства.

В-третьих, СМТ целесообразно трансформировать в машинно-технологическую систему, имея в виду примат технологий в построении системы техники.

В-четвертых, машинно-технологическая система должна соответствовать ландшафтным и экономическим параметрам агрозон, необходимо районирование комплекса машин с учетом почвенно-климатических условий. Кроме этого, должна быть привязка каждого типа машины к технологическим операциям и агрегатирование с определенным тяговым классом трактора. Типажи машин, соответствующие техническим требованиям для каждой агрозоны.

В-пятых, СМТ должна быть отцифрована с таким расчетом, чтобы за один-два клика выводилась вся необходимая информация по отдельным типажам технических средств, включая экономическую и технологическую обоснованность данной позиции.

В-шестых, необходимо разработать нормативно-правовую базу и комплекс мер государственной поддержки для сельхозмашиностроительных предприятий, выпускающих технику, включенную в СМТ.

Есть группа вопросов, в решении которых заинтересованы все участники формирования парка машин и их пользователи и которые целесообразно отразить в СМТ. К ней, например, относятся:

– научно-технологический прогресс. Государство берет на себя формирование новых знаний и их публикацию в открытой печати (Систему технологий в Беларуси и России, требования безопасности, аграрную политику, достижения инженерной науки и т. д.). Сельхозмашиностроители могут использовать эту информацию, формируя свою программу действий через развитие соб-

ственной исследовательской и проектной базы, обеспечивая конкурентоспособность своей продукции, как это делается за рубежом;

– пользование услугами посредников – сети проектных, консалтинговых структур, технологического и технического аудита и т. д.

Выводы

СМТ должна стать информационно-нормативным документом, представляющим интересы потребителей и сельхозмашиностроителей в Союзном государстве. Заказчиком этой работы, по нашему мнению, может выступать Постоянный Комитет Союзного государства.

СМТ станет постоянным источником научно обоснованных требований, предъявляемых государствами к показателям назначения машин, и научной основой для принятия стандарта, аналогичного техническим регламентам, как, например, стандарт одобрения типа машин в автомобильной промышленности.

Новая прогрессивная техника, которая будет попадать на рынок, составит достойную конкуренцию зарубежным машинам. От этого выиграют государства, в том числе товаропроизводители Беларуси и России.

Н. Н. Назаров, И. В. Некрасова

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН)
г. Краснообск, Россия
E-mail: sibime-nazarov@yandex.ru*

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕСЕНИЯ В ПОЧВУ БАКТЕРИАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрены вопросы технического обеспечения процесса внесения в почву бактериальных удобрений на основе использования устройства для распределения потока рабочей жидкости бактериальных препаратов по количеству посевных рабочих органов. Установлено, что предложенная конструкция устройства обеспечивает неравномерность распределения жидких форм бактериальных препаратов по количеству посевных рабочих органов на уровне, не превышающем 10 %, оцениваемую коэффициентом вариации. Высокое качество достигается при давлении рабочей жидкости в системе до 0,3 МПа, диаметре канала форсунки 3–5 мм, и угле наклона устройства от вертикали до 6 град.

Ключевые слова: жидкие минеральные удобрения, посевные рабочие органы, неравномерность, техническое обеспечение.

N. N. Nazarov, I. V. Nekrasova

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS)
Krasnoobsk, Russia
E-mail: sibime-nazarov@yandex.ru*

TECHNICAL SUPPORT FOR THE PROCESS OF APPLYING BACTERIAL FERTILIZERS INTO THE SOIL

Abstract. The issues of technical support for the process of introducing bacterial fertilizers into the soil are considered based on the use of a device for distributing the flow of working fluid of bacterial preparations according to the number of sowing working bodies. It has been established that the proposed design of the device ensures uneven distribution of liquid forms of bacterial preparations among the number of seeding working bodies at a level not exceeding 10%, estimated by the coefficient of variation. High quality is achieved when the pressure of the working fluid in the system is up to 0.3 MPa, the diameter of the nozzle channel is 3–5 mm, and the angle of inclination of the device from the vertical is up to 6 degrees.

Keywords: liquid mineral fertilizers, sowing working bodies, unevenness, technical support.

Введение

Для удовлетворения потребностей населения в продуктах питания и устойчивого обеспечения животноводства кормами необходимо значительное увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе зерновых. При этом главным является создание в корнеобитаемом слое почвы высоких доз легкодоступных соединений азота, служащих основным источником питания высокоурожайных сортов растений. Решение проблемы азотного питания за счет использования традиционных методов (применения минеральных удобрений, в первую очередь азотных, внесения органических удобрений и возделывания бобовых культур в севооборотах) при ограниченных экономических возможностях сельскохозяйственных предприятий, возрастающих энергетических и экологических проблемах позволяет лишь на 10–15 % удовлетворить потребности земледелия в этом факторе. Достаточно сказать, что в настоящее время в России на 1 га пашни вносится около 50 кг д.в. этих удобрений, практически обеспечивая только стартовую дозу для вегетирующих растений, а в Сибирском федеральном округе их количество не превышает 25 [1]. Поэтому величина урожая зависит в основном от складывающихся погодных условий и естественного плодородия почв.

Основная часть

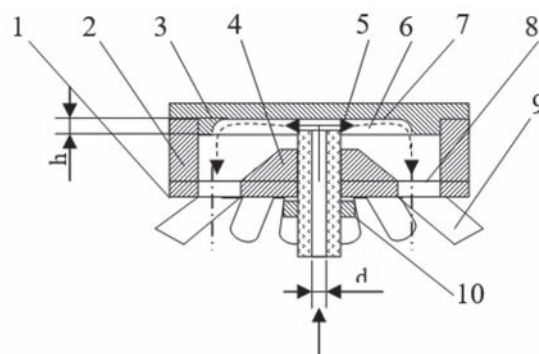
В связи с изложенным весьма актуальной становится проблема изыскания новых ресурсов азотных удобрений с минимальными затратами на их применение. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является метод непосредственного использования атмосферного азота для питания сельскохозяйственных культур, при котором азотфиксирующие бактерии, размножаясь в ризосфере, фиксируют атмосферный азот и обеспечивают по различным литературным данным в зонах умеренного климата не менее 20 % потребности зерновых в азоте.

Другой аспект рассматриваемой проблемы – техническое и технологическое обеспечение процесса внесения в почву препаратов азотфиксирующих бактерий. Предварительными исследованиями установлено, что с точки зрения эффективности целесообразно вносить эти препараты в жидком виде одновременно с посевом. В настоящее время производство машин для внесения в почву ЖМУ в значительной степени сокращено, а малые объемы внесения жидких удобрений не стимулируют вопросы создания подобных технических средств в России. Поэтому разработка технических средств для реализации рассматриваемого технологического процесса также является весьма актуальной.

Разрабатываемый технологический процесс внесения в почву жидких форм бактериальных удобрений должен обеспечить устойчивость его функционирования при наличии внешних воздействий за счет совершенствования способов их дозирования и распределения на подстилающей поверхности (или в полосе посева семян). К внешним воздействиям следует отнести быстрый износ подающих рабочую жидкость магистралей вследствие их соприкосновения с почвой, дозирование малых объемов жидких форм препаратов, приводящих к нарушению технологического регламента нормы внесения этого вида удобрений и забивание отверстий (наконечников) землей. Для избежания подобного рода явлений принято решение дозирование и распределение рабочей жидкости по количеству посевных рабочих органов производить в специальном устройстве, обеспечивающем исключение контакта с почвой [2] (рис. 1).



a



б

Рис. 1. Устройство для распределения потока рабочей жидкости бактериальных препаратов по количеству посевных рабочих органов: *a* – общий вид; *б* – структурная схема устройства:

1 – основание; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – усеченный конус; 5 – жидкостная форсунка; 6 – распределительная камера; 7 – дефлектор; 8 – выходные отверстия для стока жидкости; 9 – патрубки для отвода жидкости к рабочим органам; 10 – гайка крепления жидкостной форсунки; h – расстояние между торцом жидкостной форсунки и дефлектором; d – диаметр отверстия жидкостной форсунки

При работе представленного устройства поступающая из бака рабочая жидкость бактериальных препаратов, проходя через калиброванное отверстие жидкостной форсунки 5, подается под давлением в зазор между ее торцом и дефлектором 7. При встрече струи жидкости с дефлектором происходит ее упругое деформирование, и дальнейшее движение жидкого потока осуществляется по поверхности дефлектора в виде пленки, которая, равномерно растекаясь, перемещается к выходным отверстиям для стока жидкости 8 и поступает в патрубки для отвода жидкости к рабочим органам 9. Важно при этом отметить, что равномерность распределения жидкости по количеству

посевных рабочих органов незначительно зависит от вертикальной установки дозатора-распределителя, так как распределяющие силы преобладают над гравитационными.

В целом характер движения рабочей жидкости в предлагаемом устройстве определяется величиной h – расстоянием между торцом жидкостной форсунки и дефлектором. Эта величина определена из полученного гидравлического уравнения

$$\rho \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot v_1^2 = P_0 + mg,$$

где ρ – плотность жидкости; v – скорость потока; P_0 – сила, с которой струя жидкости воздействует на дефлектор.

При этом были приняты следующие основные условия:

1. Струя жидкости, вытекающая из канала форсунки, должна растекаться по отражательной поверхности без распада в точке контакта.

2. Поток должен равномерно распределяться по отражательной поверхности распределительного устройства.

3. Давление в системе должно обеспечить движение пленки по отражательной поверхности без отрыва от нее.

Исходя из этого, должно соблюдаться равенство расходов: потока Q_1 , определяемого диаметром d сопла форсунки и потока, определяемого величиной h – расстоянием между торцом жиклера (форсунки) и отражателем и условием неразрывности течения:

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2,$$

где ω_1, ω_2 – живые сечения потока в исследуемых точках, v_1, v_2 – средние скорости в соответствующих живых сечениях потока. После определения ω_1, ω_2 через их составляющие установлено, что h определяется следующей зависимостью: $h = d / 4$.

Таким образом, для реализации определен цилиндрический канал с установкой его торца на расстоянии $h = d / 4$ от дефлектора распределительного устройства.

Для подтверждения отмеченных утверждений и теоретических положений проведены исследования на специально созданной экспериментальной установке (рис. 2) с использованием устройства для распределения потока рабочей жидкости бактериальных препаратов.

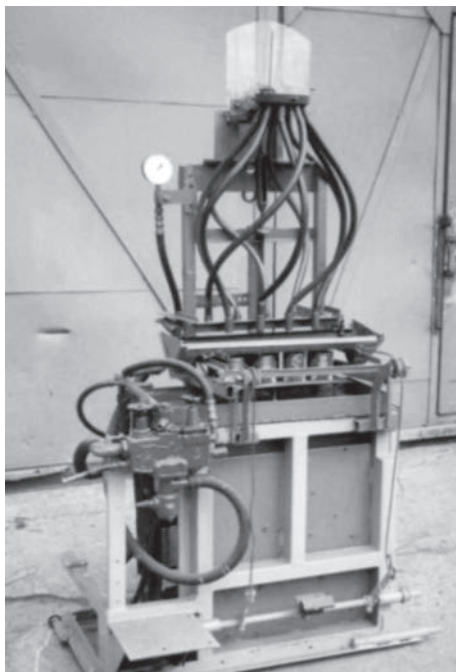


Рис. 2. Экспериментальная установка для оценки качества распределения рабочей жидкости бактериальных препаратов по рабочим органам

Равномерность распределения рабочей жидкости бактериальных препаратов по рабочим органам, принимаемая в качестве выходного параметра и оцениваемая коэффициентом вариации \sqrt{v} , %, зависит от следующих факторов: давления рабочей жидкости в системе – P , МПа; диаметра отверстия форсунки d , мм; зазора между торцом форсунки и дефлектором h , мм; угла отклонения оси устройства для распределения потока рабочей жидкости бактериальных препаратов от вертикали α , град. Вследствие того, что величина h определена достаточно достоверно в ходе теоретических исследований, в проведении факторного эксперимента участвуют три варьируемых фактора – P , d и α . Угол отклонения оси устройства α принят в качестве варьируемого фактора вследствие возможного угла уклона поверхности обрабатываемой площади поля. К реализации принят композиционный трехуровневый симметричный план № 34 [3]. Пределы изменения исследуемых факторов приведены в таблице.

Таблица 1. Пределы изменения исследуемых факторов

Факторы	Уровни варьирования факторов			Выходной показатель Неравномерность (коэф. вариации) \sqrt{v} , %
		-1	0	
Давление рабочей жидкости, P , МПа	X_1	0,1	0,2	0,3
Диаметр канала форсунки, d , мм	X_2	3	4	5
Угол отклонения от вертикали, α , град	X_3	0	3	6

Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований осуществлялись в соответствии с рекомендациями [3–5].

Организационно каждый опыт построен следующим образом. Рабочая жидкость насосом подается в распределительное устройство под требуемым давлением, регулируемым посредством регулятора давления и отображаемым манометром. По истечении определенного времени, требуемого для стабилизации процесса истечения жидкости из патрубков для отвода жидкости к рабочим органам, производилась одновременная подача этой жидкости в мерные стаканы. Время опыта зависело от емкости стаканов и расхода жидкости, но в целом определялось величиной 30–60 с. По истечении указанного времени производилась отсечка поступающей в стаканы жидкости, которая в дальнейшем взвешивается на весах ВК–600 с точностью до 0,1 г.

После реализации соответствующего плана экспериментов и получения результатов произведен расчет коэффициентов регрессии и получено уравнение регрессии процесса распределения рабочей жидкости бактериальных препаратов по рабочим органам:

$$Y = 5,36 - 0,53 X_2^2 + 1,97 X_3^2 + 0,71 X_1 + 2,37 X_3 - 0,55 X_1 X_2 + 0,55 X_2 X_3.$$

Как показывает анализ регрессионного уравнения, графическая интерпретация которого представлена на рис. 3, влияние каждого фактора на качество распределения рабочей жидкости бактериальных препаратов по количеству посевных рабочих органов неоднозначно.

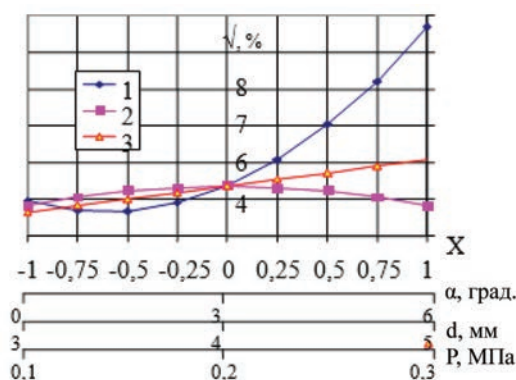


Рис. 3. Графическая интерпретация регрессионного уравнения: 1 – $\sqrt{v} = f(\alpha)$; 2 – $\sqrt{v} = f(d)$; 3 – $\sqrt{v} = f(P)$

Качество распределения в большей степени зависит от фактора X_3 – угла наклона распределителя и в меньшей степени от давления в системе и диаметра канала форсунки.

Поскольку b_i имеет положительное значение, то увеличение X_i вызывает увеличение неравномерности распределения жидкой среды по рабочим органам, максимальный эффект достигается при α_{\min} .

Влияние смешанного произведения факторов оценивается значимостью и знаком коэффициента b_{ij} . Так как при X_1X_2 перед b_{ij} стоит знак минус, то качество распределения будет возрастать, если X_1 и X_2 находятся на противоположных верхнем и нижнем уровнях. Учитывая, что при X_2X_3 b_{ij} имеет положительное значение, качество распределения будет возрастать, если X_2 и X_3 будут также находиться на противоположных уровнях.

При минимальных значениях факторов наблюдается практически равное их влияние на качество распределения, и эта тенденция сохраняется до приобретения ими средних значений в пределах варьирования в опыте. При дальнейшем возрастании значений максимальное влияние на качество распределения оказывает угол наклона распределителя.

Заключение

Таким образом, для качественного распределения рабочей жидкости бактериальных препаратов и его устойчивого протекания целесообразно использовать распределитель-дозатор с центральным подводом рабочей жидкости и радиальным ее распределением к рабочим органам. Высокое качество распределения (менее 10 %, оцениваемое коэффициентом вариации) достигается при давлении рабочей жидкости в системе до 0,3 МПа, диаметре канала форсунки 3–5 мм, и угле наклона распределителя до 6 град.

Список использованных источников

1. Манжина, С. А. Анализ обеспечения АПК России удобрениями / С. А. Манжина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3 (27). – С. 199–221.
2. Назаров, Н. Н. Многопоточный распределитель жидкости : полез. модель RU 88899 / Н. Н. Назаров. – Оpubл. 27.11.2009.
3. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание). – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
4. Мостеллер, Ф. Анализ данных и регрессия / Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки. – М.: Финансы и статистика, 1982. – Вып. 1. – 319 с. – Вып. 2. – 239 с.
5. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешин, П. М. Рощин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

Б. Б. Хакимов¹, З. Ш. Шарипов¹, П. Т. Бердимуратов¹, С. Аликулов¹, Н. Ф. Капустин²

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан
E-mail: khakimovbakhodir16@gmail.com

²РУП «НПП НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ

Аннотация. В статье дается анализ способов диспергирования одиночной крупной капли топливной смеси в камерах сгорания двигателей, указания пути увеличения дисперсности растекания за счет нагрева и намагничивания перекачиваемой многокомпонентной топливной смеси.

Ключевые слова: процесс, диспергирование, плотность, вязкость, многокомпонентное топливо, высокодисперсные капли, условия устойчивости капли, тепловое и магнитное воздействия, полнота сгорания, гомогенная смесь, сетчатый турбулизатор, энергия распыливания топлива.

B. B. Hakimov¹, Z. Sh. Sharipov¹, P. T. Berdimuratov¹, S. Alikulov¹, N. F. Kapustin²

¹NRU “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”
Tashkent, Uzbekistan
E-mail: khakimovbakhodir16@gmail.com

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus

WAYS TO INCREASE ATOMIZATION DISPERSION OF MULTI-COMPONENT FUEL MIXTURE IN DIESEL COMBUSTION CHAMBERS

Abstract. The article gives an analysis of the ways of dispersing a single large droplet of fuel mixture in the combustion chambers of engines, indicating the way to increase the dispersity of the spreading due to the magnetization of the pumped multicomponent fuel mixture.

Keywords: process, dispersion, density, viscosity, multicomponent fuel, highly dispersed droplets, droplet stability conditions, thermal and magnetic effects, combustion completeness, homogeneous mixture, mesh turbulator, fuel atomization energy.

Введение

Анализ исследования процессов диспергирования различных жидкостей показывает, что процесс их диспергирования в камерах сгорания двигателей зависит не только от воздействия аэродинамической силы и от их плотности, вязкости и электростатического поля. При наличии относительной скорости движения многокомпонентного топлива аэродинамические силы воздуха, пропорциональные квадрату скорости, стремятся дробить исходные крупные капли до высокодисперсных, силы же поверхностного натяжения препятствуют этому (рис. 1) [1]. Соотношение этих двух сил определяет оптимальный размер капель и режимы сгорания топлива в камерах сгорания двигателя. Таким образом, состояние одиночной капли в камерах сгорания зависит от соотношения высокотемпературного аэродинамического потока и ее «прочности», определяемой поверхностным натяжением и вязкостью подаваемой гомогенной топливной смеси.

Приближенно считая форму исходной капли сферической, определяем условия ее устойчивости: – условная устойчивого состояния

$$\frac{\gamma_{bw_{om}}}{2g} = \frac{4\sigma}{d_k}; \quad (1)$$

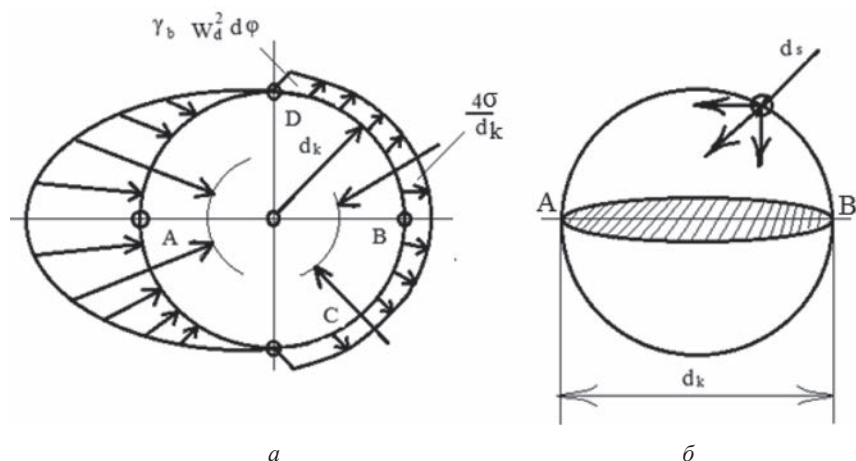


Рис. 1. Схема сил, действующих на исходную каплю самовоспламеняемой топливной смеси (а); миделевое сечение исходной капли (б)

– весьма неустойчивого состояния

$$Y_b \frac{W^2}{2g} > \frac{4\sigma}{d_k}. \quad (2)$$

Для рассматриваемого (рис. 1, б) сечения сила f , с которой одна половина капли притягивается к другой, будет равна:

$$f = \pi d_k \sigma \quad (3)$$

или

$$f \int_{(s/2)}^s P \cos \varphi * d * s = \int_{(\frac{\pi}{2} d_k)}^s \cos \varphi * d * s = \frac{\pi}{4} d_k^2 P$$

или

$$P = \frac{4\sigma}{d_k} = \frac{2\sigma}{rk}. \quad (4)$$

Анализ этих условий дробления топливных смесей показывает, что при постоянстве левой части условия (1) и (2) дробления капли могут быть осуществимы при уменьшении величины поверхностного натяжения и соответственно величины внутреннего давления [2].

В работе [3] показана эффективность регулирования правого члена уравнения (4) путем воздействия на капли электростатического поля. Согласно М. С. Вольнскому критерием дробления капель жидкости является:

$$D = \frac{Y_b W_{om}^2 d_k}{g \sigma}; \quad (5)$$

при $D \geq 10,7$ наступает раздвоение, а при $D \geq 14$ – дробление капель.

Предельная скорость, с которой капля способна двигаться в воздухе не раздуваясь, равна (м/с):

$$W_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{2\tau D}{Y_b d_k}} = \sqrt{\frac{g \sigma D}{2Y_b}},$$

здесь σ – в кг/м; Y_b кг/м³; b, d_k – м; g – 9,8 м/с².

Из этого следует, что радиус исходных наиболее крупных капель будет равен (м):

$$r = \frac{g\sigma D}{2Y_b W_{OT}^2}. \quad (6)$$

В работе [4] также показано, что за счет воздействия магнитного поля и температуры молока можно повысить разделяемость жировых шариков:

$$E = \frac{\sigma^1 - \sigma}{\eta} \cdot r^2, \quad (7)$$

где σ^1 и σ – поверхностное натяжение молока и жирового шарика, г/см³; r – радиус жирового шарика, см; η – вязкость молока, г/см·сек.

Отсюда следует, что искусственное тепловое и магнитное воздействие на плотность и вязкость дизельно-биоэтаноловой смеси привело бы к увеличению дисперсности формируемых капель и, как следствие, созданию условия для полного сгорания топливной смеси без образования вредных выбросов (антропогенных частиц) в окружающую среду.

Из изложенного также следует, что конструктор может совершенствовать систему подачи многокомпонентной топливной смеси, благоприятствующей к увеличению полноты ее сгорания. В предлагаемом нами устройстве (рис. 2) перед пуском топливной смеси в камеру сгорания двигателя она проходит через систему предварительного нагревания до температуры T_1 и электронамагничивания, где происходит снижение плотности и вязкости подводимой многокомпонентной топливной смеси.

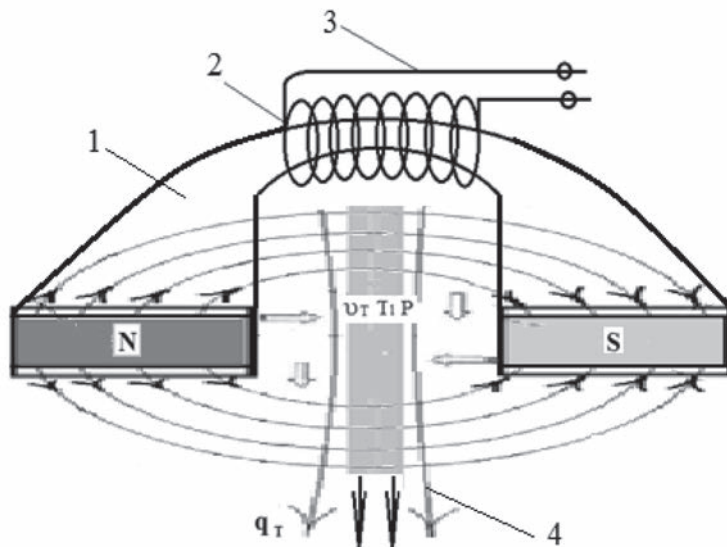


Рис. 2. Схема обтекания предварительно нагретой топливной смеси через электромагнитное поле:
1 – постоянный магнит; 2 – обмотка; 3 – цепь электрическая; 4 – магнитное поле;
 q_T – расход нагретой топливной смеси.

Для принятой конструкции напряженность магнитного поля равна:

$$B = k * n * I, \quad (8)$$

где k – коэффициент пропорциональности; n – число витков катушки; I – сила тока в магнитной катушке, А.

Расход топливной смеси через поле постоянного магнита (м³/сек):

$$q_T = Y_T * b * V_T * z, \quad (9)$$

где Y_T – удельной вес топлива, кг/м³; b, h – ширина и толщина истекающей струи топлива, м; V_T – скорость истечения топлива, м/с; z – число каналов с постоянными магнитами.

Величина z для данной системы равна 1,0. Таким образом, чтобы увеличить расход истекающего топлива, можно:

- увеличить в ширину струю топлива;
- увеличить h – толщину струи подаваемого топлива;
- увеличить V – скорость подаваемой топливной смеси, которая зависит от производительности плунжерного насоса.
- увеличить z – число магнитных каналов.

В двигателях применяются широко открытые, закрытые и штифтовые распылители, представленные на рис. 3.

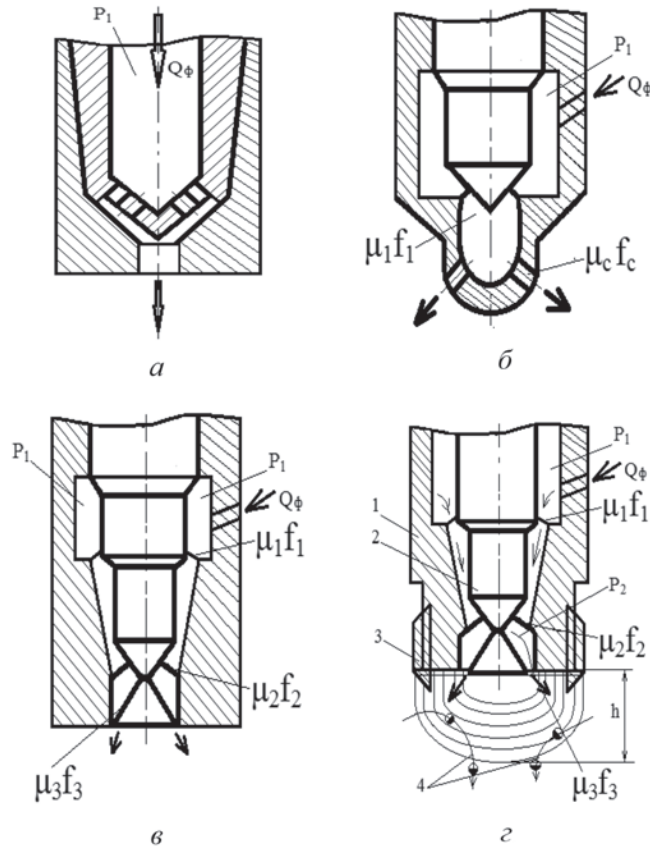


Рис. 3. Основные параметры форсунок в дизелях:

a – открытой; $б$ – закрытой (обычной); $в$ – штифтовой; $г$ – штифтовая форсунка с сетчатым турбулизатором;
 Q_{ϕ} – секундный объемный расход топлива; P_1 – давление в цилиндре; P_2 – давление в корпусе распылителя

Основным недостатком этих конструкций является невозможность получения однородных (однородных) топливных смесей. С целью решения этой проблемы нами рекомендуется дополнительно оснастить их сменными турбулизаторами. Предлагаемая конструкция показана на рис 3, $в$.

Величина кинетической энергии распыливания топлива для откатных форсунок подсчитывается по формуле (Дж/кг):

$$E_T = \frac{\omega_T^2}{2} = \frac{\varphi_c^2 \Delta P}{\rho_T} \quad (10)$$

или

$$E_T = \frac{\varphi_c^2 \Delta P}{\rho} * 10^4,$$

где ω_T – скорость истечения топлива через сопловое сечение, м/с; φ_c – коэффициент скорости

($\varphi_c = 0,7$); ΔP – перепад давления в сопловых отверстиях, н/м². Формулу поля кинетической энергии образования смеси можно записать в следующем виде:

$$E_{см} = E_T + E_B,$$

где E_B – удельная энергия воздушного потока в вихрекамере.

Использование сетчатого турбулизатора позволяет повысить турбулизацию вихревого потока и тем самым улучшить процесс самовоспламенения топлива в дизелях. Выбором конструктивных параметров сетчатого турбулизатора можно достичь совершенствования процесса самосгорания топливных смесей в дизелях.

Выводы

1. Из-за снижения полноты сгорания традиционного топлива в камерах сгорания двигателей наблюдаются вредные газовые выбросы, загрязняющие окружающую среду.

2. Аналитические зависимости позволили раскрыть физическую сущность процесса сгорания топлива в двигателях и усовершенствовать систему подачи многокомпонентных топливных смесей путем их предварительного нагрева и электромагнитивания.

Список использованных источников

1. Салимов, А. У. Вопросы теории электростатического распыления / А. У. Салимов, М. Т. Балабеков, А. М. Багдасаров. – Ташкент: Фан, 1968. – С. 6.
2. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания / В. А. Марков [и др.]. – М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016. – 292 с.
3. Хакимов, Б. Б. Дизел ва биоэтанол ёнилгиларидан сифатли аралашма ҳосил қилиш қурилмаси мавзусидаги /техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) автореф. дисс. 05.20.03. – Тошкент, 2019.
4. Хакимов, Б. Б. Пути повышения дисперсности распыливания многокомпонентной топливной смеси в камерах сгорания двигателя / Б. Б. Хакимов, О. У. Салимов // Agroilm. – 2018. – С. 112–113.
5. Кадиров, С. М. Двигатель внутреннего сгорания / С. М. Кадиров. – Ташкент: Янги аср авлоди, 2006. – 443 с.

Б. П. Шаймарданов¹, А. И. Филиппов², П. Т. Бердимуратов¹, Д. Рузиев¹, В. В. Голдыбан³

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: b_parakhat@mail.ru, shaymardanovvb@mail.ru

²УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республика Беларусь

E-mail: kafmehan@mail.ru

³РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЯ ДЛЯ УКЛАДКИ ШЛАНГА КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ И ПОСЕВА СЕМЯН

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования по формированию и обоснованию параметров гребня для укладки шланга капельного орошения и посева семян. Изучены особенности агрометеорологических условий Узбекистана в период весеннего сева. С учетом изменчивости погоды – осадков, температуры атмосферного воздуха и почвы – обоснованы параметры размеров гребня. Предложена конструкция машины для предпосевного полосового фрезерования почвы, формирования гребня, укладки шланга капельного орошения, уплотнения почвы, обеспечивающей физико-механический состав почвы гребня и возможности посева семян. Разработана конструкция фрезерной машины для полосовой обработки с формированием гребня заданной формы, состава и параметров, уплотнителя гребня по требуемой плотности почвы. Обоснованы основные параметры формирователя гребня.

Ключевые слова: почва, осадки, температура, гребень, фрезерная машина, укладка, капельный шланг, посев.

B. P. Shaimardanov¹, A. I. Filippov², P. T. Berdimuratov¹, D. Ruziev¹, V. V. Goldyban³

¹NRU “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”
Tashkent, Uzbekistan

E-mail: b_parakhat@mail.ru, shaymardanovvb@mail.ru,

²EI “Grodno State Agrarian University”

Grodno, Republic of Belarus

E-mail: kafmehan@mail.ru

³RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

FORMATION AND JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE COMB FOR LAYING THE DRIP IRRIGATION HOSE AND SOWING SEEDS

Abstract. The article presents the results of a study on the formation and justification of the parameters of a comb for laying a drip irrigation hose and sowing seeds. The features of the agrometeorological conditions of Uzbekistan during spring sowing are studied. Based on the variability of weather – precipitation, atmospheric air temperature and soil, the parameters of the ridge size are justified. A machine design has been proposed for pre-sowing strip milling of the soil, formation of a ridge, laying of a drip irrigation hose, compaction of the soil, ensuring the physical and mechanical composition of the soil of the ridge and the possibility of sowing seeds. The design of a milling machine for strip processing with the formation of a ridge of a given shape, composition and parameters, a ridge sealer according to the required soil density has been developed. The main parameters of the comb shaper are substantiated.

Keywords: soil, sediment, temperature, ridge, milling machine, laying, drip hose, sowing.

Особенности агрометеорологических условий Узбекистана в период весеннего сева. Были собраны материалы Узгидрометцентра с 25 марта по 25 апреля за последние годы по температуре воздуха, почвы и выпадению осадков в Ташкентской и Андижанской областях.

Очень важным фактором здесь является количество атмосферных осадков и их интенсивность в период посева, так как от этого зависит появление над семенным ложем почвенной корки, что приводит к пересеву.

Из материалов Узгидрометцентра видно (рис. 1), что наибольшее количество осадков (91,1–153,7 мм) и их интенсивность (13–21 мм/день) приходились на период 2010–2012 гг. Известно, что в результате высокой интенсивности и большого количества осадков семенное ложе затапливается дождевыми потоками, что способствует образованию почвенной корки и соответственно ухудшению развития всходов.

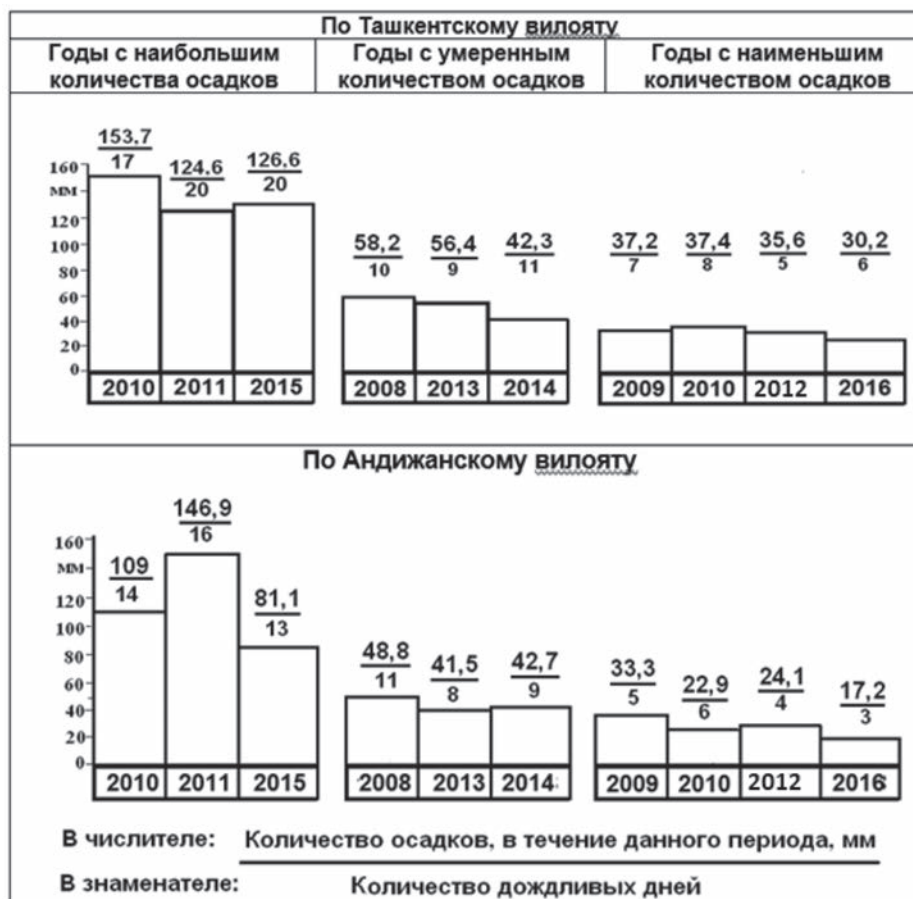


Рис.1. Атмосферные осадки и их интенсивность в период посева хлопчатника за 10 лет (с 25 марта по 25 апреля) по данным Узгидромета

Из рис. 2 видно, что из-за образования почвенной корки 4 на поле 2 над семенным ложем 3 после осадков происходит гибель семян.

Для защиты посевов от дождевых потоков, исключения пересевов, соответственно, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур в последние годы в Республике Узбекистан начали применять посева на гребнях, нарезанных осенью. Однако для проведения посева по этой технологии необходимо осенью на поле нарезать гребни, а перед севом подготовить вершину гребня к проведению данной операции, на что требуется не менее двух отдельных агрегатов, что увеличивает эксплуатационные и трудовые затраты в 3–3,5 раза. Помимо этого, в рассмотренный отрезок времени имелись годы с небольшим количеством атмосферных осадков (17,2–37,4 мм) и их интенсивностью (4–8 дней). Такого количества осадков недостаточно для нормального развития всходов. Для устранения этого обстоятельства необходимо провести подпитывающие поливы небольшой нормой с помощью капельного орошения.

Отсюда следует, что для устранения излишка влаги или ее недостаточности лучше всего проводить посева хлопчатника на гребнях, сформированных одновременно с укладкой шланга ка-

пельного орошения (рис. 3), что позволит с меньшими затратами и в сжатые сроки устранить влияние атмосферных осадков на всходы ростков и защитить их от дождевых потоков, а при необходимости провести подпитывающие поливы.

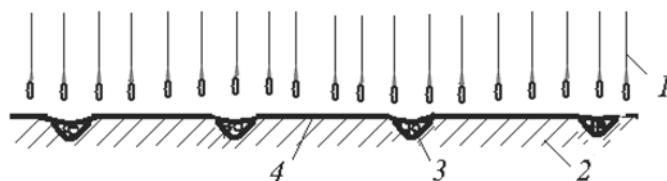


Рис. 2. Посев по гладкому полю (традиционный способ посева)

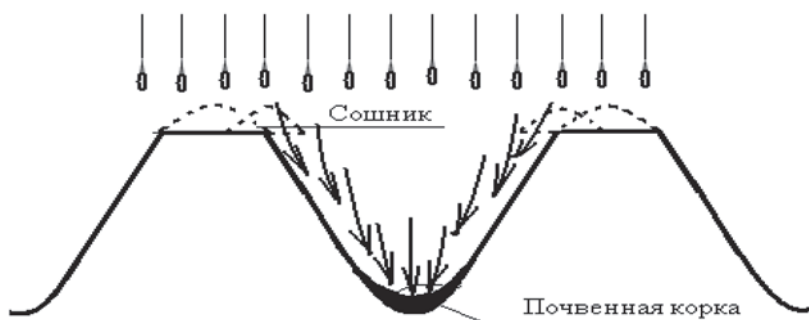


Рис. 3. Схема образования почвенной корки на боках гребней при посеве хлопчатника по гребням

Вторым важным для появления всходов фактором является температура почвы и воздуха. Так при температуре почвы 10–12 °С начинается пробуждение жизнедеятельности семян хлопчатника, при 13–14 °С зародыш трогается в рост, при 14–16 °С начинается прорастание семян, а при 17–18 °С обеспечивается появление всходов на поверхности почвы. При этом разница между дневной и ночной температурой колеблется от 9 до 16 °С, в ночные часы перепад температуры между смежными календарными днями составляет всего 2–4 °С, в то время как в дневные часы она колеблется от 3 до 6 °С.

В благоприятном для хлопководства 2005 г. минимальная температура воздуха в ночное время составляла от 7 до 14 °С, а в тот же период в неблагоприятном 2003 г. колебалась от 1 до 9 °С, то есть была ниже на 5–6 °С, а в дневные часы в 2005 г. она колебалась от 15 до 19 °С, то есть была выше температуры 2003 г. на 3–6 °С (рис.4).

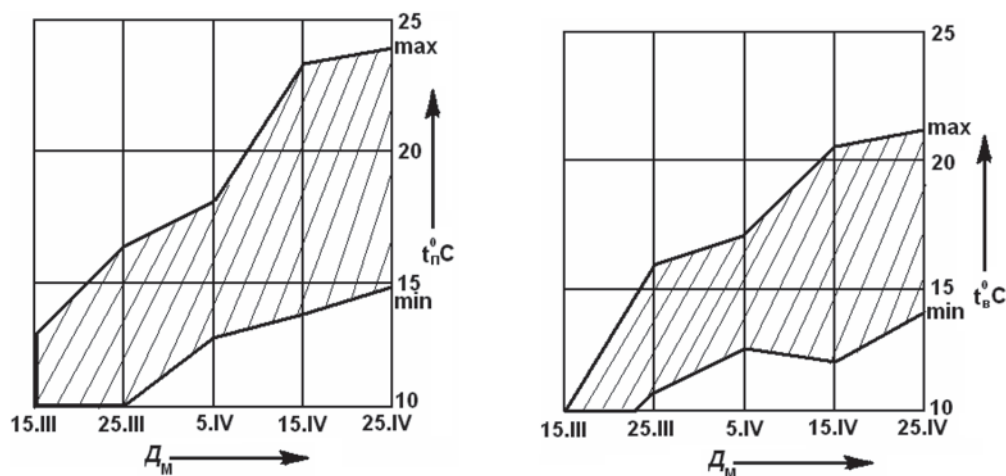


Рис. 4. Среднесуточные показатели температуры воздуха (t_b) и поверхности почвы (t_n) с 15 марта по 25 апреля (D_M) за 10 последних лет

Из этого следует, что повышение температуры воздуха и соответственно температуры почвы позволяет провести посев в ранние сроки, что способствует получению здоровых всходов растений. Результаты экспериментальных исследований показывают, что при гребневом посеве на почвенных слоях корневой системы растений температура увеличивается. Это объясняется различием теплоёмкости различных тел, например, теплоёмкость воздуха равна 1,0, а для воды она равна 4,19. Движущей силой считается теплота тела, определяемая по формуле:

$$Q = M \cdot c \cdot t, \text{ кДж}$$

где Q – количества тепла в корневой системе, кДж; M – масса тела, кг; c – теплоёмкость тела, кДж/кг °С; для воздуха $c_{\text{возд}} = 1$ кДж/кг °С; для воды $c_{\text{вода}} = 4,19$ кДж/кг °С; t – температура почвы, °С.

Для ликвидации вредного влияния рискованных погодных условий на посевы хлопчатника в первую очередь необходимо устранить попадание дождевого потока в семенное ложе. При этой технологии семена хлопчатника будут заделываться в более влажную и прогретую почву, чем при посеве на выровненной поверхности. Это даст возможность улучшить качество всходов и развитие растений и тем самым увеличить общий урожай сельскохозяйственных культур и сдвинуть сроки посева на 3–4 дня.

Поставленная задача – разработка фрезерной машины для полосовой обработки с формированием гребня заданной формы, состава почвы и параметров, уплотнителя гребней по заданной плотности почвы.

Разработана комбинированная машина для предпосевного полосного фрезерования почвы с одновременной укладкой шлангов капельного полива и возможностью посева семян (рис. 5). Машина состоит из двух частей: фрезы – формирователя гребня и сеялки.

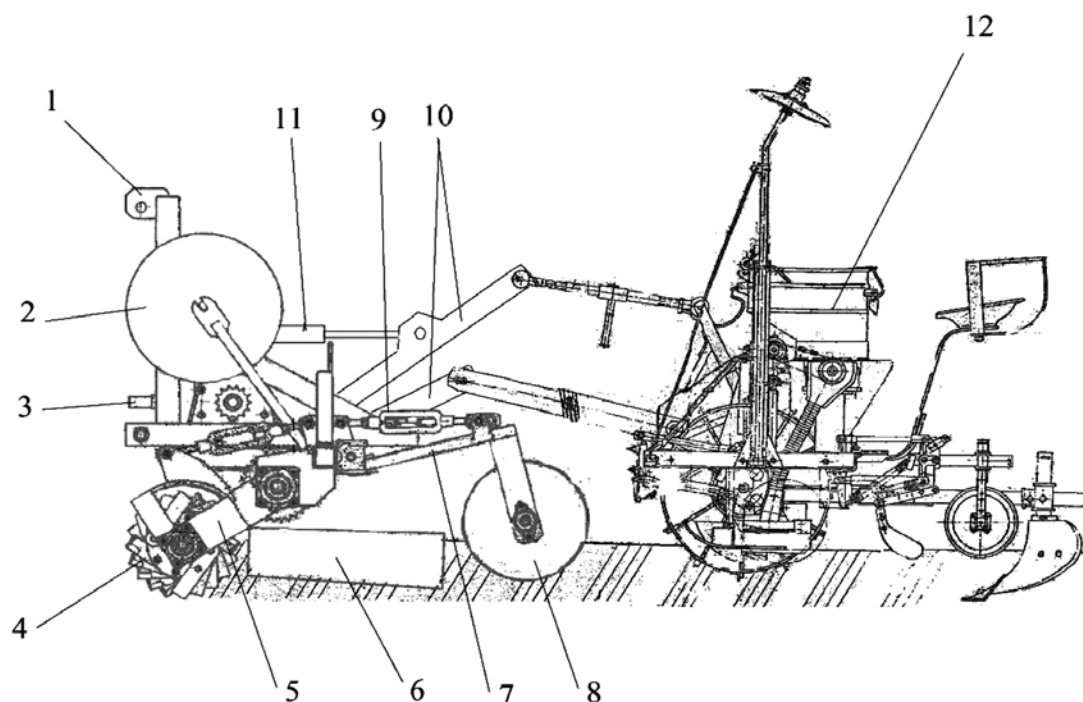


Рис. 5. Комбинированная машина для предпосевного полосного фрезерования с одновременной укладкой шлангов капельного полива и возможностью посева: 1 – рама фрезы; 2 – бобина для шлангов капельного орошения; 3 – вал редуктора привода фрезы; 4 – ножевой барабан фрезы; 5 – кронштейн ножевого барабана; 6 – фартук гребнеобразователя; 7 – кронштейн гребне-уплотнительного катка; 8 – гребне-уплотнительный каток; 9 – талреп регулировки уплотнительного катка; 10 – навесное устройство для сеялки; 11 – гидроцилиндр навесного устройства для сеялки; 12 – сеялка

Машина работает следующим образом. В период подготовки к посеву семян вместо боронования и выравнивания почвы проводится фрезерование почвы с одновременным формированием

гребня заданной формы и укладкой шлангов капельного орошения. Затем почва уплотняется до требуемой плотности.

При фрезеровании деформируются корки почвы и смешиваются её влажные и сухие составляющие, тем самым обеспечивается однородность механического состава и влажность. В годы недостаточности влаги в почве сразу после посева проводится впитывающий полив с помощью капельного орошения.

Обоснование формы профиля и параметров гребня. Во многих районах республики одним из основных требований к параметрам гребня является возможность защитить семенное ложе от его затопления дождевыми потоками и, следовательно, от коркообразования. При работе фрезы образуются гребни, стенки которых осыпаются под углом естественного откоса β . При этом угол естественного откоса сероземных почв, подготовленных к проведению сева, при насыпании с увеличением влажности почвы от 7 до 18 % увеличивается от 32 до 41°. Следовательно, при отсыпке почвы на поле образуются гребни, по форме напоминающие равнобедренный треугольник. Однако для работы рабочих органов сеялок на вершине такого гребня необходимо иметь площадку шириной 160–170 мм. Для этого проводится уплотнение вершины гребня уплотнителем до формы трапеции по продольному сечению, следовательно, в результате такой гребень перед посевом превращается в равнобедренную трапецию (рис. 6). Такую форму принимаем за основу для проведения последующих расчетов.

Для определения минимально допустимых параметров сформированных во время посева гребней исходим из того, чтобы их не заливали дождевые потоки. Такие параметры гребня будут приемлемы для сероземных почв в зоне старого орошения нашей республики, где поля имеют достаточный уклон и плодородный слой почвы.

К основным параметрам гребня относятся ширина нижнего основания $b_{от}$, ширина вершины b_2 , угол наклона ее стенки к горизонту β и высота гребня H .

Из рис.6 видно, что для обеспечения защиты семенного ложа площадь поперечного сечения бороздки междурядья S_{CDKM} должна быть больше площади поперечного сечения осадков в междурядья за сутки ($Q_c B_M$). По данным Узгидрометцентра за десять последних лет в апреле по Ташкентской области максимально за сутки выпадало до 34 мм осадков.

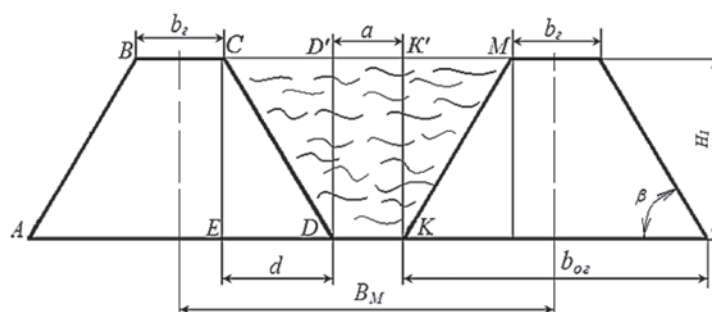


Рис. 6. Схема к определению параметров гребня

Для определения параметров гребня примем, что выпавшие осадки должны помещаться в бороздку междурядья, т.е. в пространство между соседними гребнями. Отсюда

$$B_M \cdot Q_c = S_{CDKM} \quad (1)$$

где Q_c – количество осадков, выпавших за сутки, мм.

Из рис. 6 имеем:

$$S_{CDKM} = S_{CDD'} + S_{D'K'KD} + S_{K'MK}, \quad (2)$$

где $S_{CDD'}$, $S_{D'K'KD}$ и $S_{K'MK}$ – соответственно площади треугольников CDD' , $K'MK$ и прямоугольника $D'K'KD$.

Из рис. 6 имеем

$$S_{CDD'} = S_{K'MK} = \frac{1}{2}dH_1 = \frac{H_1^2}{2}ctg\beta; \quad (3)$$

$$S_{D'K'KD} = aH_1, \quad (4)$$

где H_1 – минимально допустимая высота гребня; β – угол естественного откоса почвы; a – ширина дна бороздки.

Ширина дна бороздки a равна

$$a = B_M - b_2 - 2H_1ctg\beta, \quad (5)$$

где b_2 – ширина вершины гребня.

Подставив значение a в (4) имеем

$$S_{D'K'KD} = (B_M - b_2 - 2H_1ctg\beta)H_1. \quad (6)$$

Подставив значения (3) и (6) сначала в (2), а затем полученный результат в формулу (1), получим

$$B_M Q_c = H_1(B_M - b_2) - H_1^2ctg\beta. \quad (7)$$

Сделав преобразование этой формулы, получим следующее уравнение:

$$H^2 - (B_M - b_2)H_1tg\beta + B_M Q_c tg\beta = 0. \quad (8)$$

Решив уравнение (8), получим следующую зависимость для определения минимально допустимой высоты гребня

$$H_1 = 0,5 \left[(B_M - b_2)tg\beta - \sqrt{[(B_M - b_2)tg\beta]^2 - 4Q_c B_M tg\beta} \right]. \quad (9)$$

При нарезке гребня его боковые стенки осыпаются под углом естественного откоса β . При этом влажность почвы, подготовленной к нарезке гребня, обычно колеблется от 12 до 14 %, а в зависимости от этого угол естественного откоса β меняется от 32 до 41°. Исходя из этого минимальная расчетная высота гребня H , как видно из формулы (9), практически очень мало зависит от величины угла естественного откоса β , а также от величины размера вершины гребня b_2 и в основном определяется количеством осадков, выпавших за сутки Q_c .

Приняв $Q_c = 34$ мм, $b_2 = 160$ мм, $h = 36$ мм и $\beta = 36^\circ$ и по формулам (9) получим, что при $B_M = 900$ мм высота гребня $H_1 = 45,1$ мм, а при $B_M = 600$ мм высота гребня $H_1 = 56,2$ мм.

Как известно, под воздействием осадков гребень оседает. При этом, как показали исследования, коэффициент, учитывающий усадку почвы, в зависимости от высоты гребня составляет $K_y = 0,85-0,90$. Фактическая минимальная допустимая высота гребня также зависит от величины высоты неровностей поверхности поля h , которая в среднем равна 30–40 мм. С учетом этого фактическая минимальная высота гребня H_1 с целью защиты её вершины от дождевого потока должна быть равна:

$$H_1 = \frac{1}{2K_y} \left[(B_M - b_2)tg\beta - \sqrt{[(B_M - b_2)tg\beta]^2 - 4Q_c B_M tg\beta} \right] + h. \quad (10)$$

С учетом этой формулы и вышеприведенных данных, при $B_M = 900$ мм

$$H_1 = \frac{45,1}{0,9} + 36 = 86,1 \text{ мм,}$$

при $B_M = 600$ мм

$$H_1 = \frac{53,3}{0,9} + 36 = 98,6 \text{ мм.}$$

Из этих данных следует: чтобы дождевая вода не заливала вершину гребня, его высота должна быть практически не менее 100 мм. При этом ширина нижнего основания гребня составит

$$b_{oz} = 2H_1 \operatorname{ctg} \beta + b_2. \quad (11)$$

Площадь поперечного сечения такой бороздки

$$S_z = (B_M - b_{oz})H_1 + H_1^2 \operatorname{ctg} \beta. \quad (12)$$

Подставив в эти выражения вышеприведенные полученные значения H_1 , β , b_2 , B_M , получим $b_{oz} = 435,28$ мм и $S_z = 306$ см² при $B_M = 900$ мм и 204 см² при $B_M = 600$ мм.

Таким образом проведенные расчеты показывают, что для устранения попадания дождевого потока в семенное ложе необходимо: минимально допустимая высота гребня H_1 должна быть не менее 100 мм; минимально допустимая ширина вершины гребня b_2 с точки зрения устойчивой работы высевающих устройств должна быть не менее 160 мм; допустимая ширина нижнего основания гребня b_{oz} должна быть не менее 435 мм; допустимая площадь поперечного сечения бороздки S_z должна быть не менее 306 см² при $B_M = 900$ мм и 204 см² при $B_M = 600$ мм.

Обоснование основных параметров формирователя гребня. Основными параметрами формировщика являются ширина входной и выходной кромки полоза формировщика, угол установки боковых отвалов к направлению движения α и к горизонтальной плоскости β_y , длина полоза L , длина бокового отвала L_{60} .

При работе боковые отвалы формировщика, воздействуя на почву, производят деформацию почвы (рис. 7). При этом частицы почвы перемещаются по боковому направлению вверх.

Оптимальный угол установки α (рис. 7) боковых отвалов АВ и CD к направлению движения определим из условия обеспечения свободного скольжения почвы по отвалам, т. е.

$$\alpha \leq \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}, \quad (13)$$

где φ – максимальный угол трения почвы по отвалу.

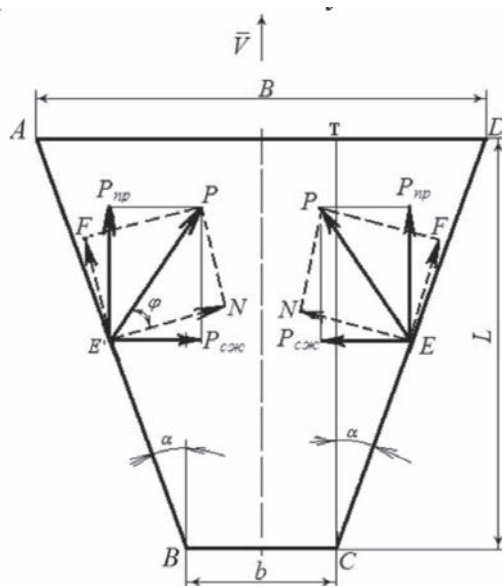


Рис. 7. Схема к определению угла установки боковых отвалов к направлению движения

Подставляя в (12) известное значение $\varphi = 30^\circ$, получим $\alpha \leq 30^\circ$. На основе исследований по выбору параметров уплотнителей принимаем $\alpha = 14-16^\circ$. При $\alpha = 14-16^\circ$ происходит скольжение почвы по боковым отвалам формировщика и уплотнение почвы, достаточное для образования устойчивого гребня.

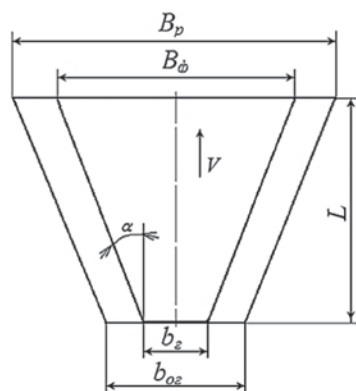


Рис. 8. Схема к определению длины формовщика (L)

Из рис. 8 имеем

$$L = \frac{1}{2}(B_p - b_{oz}) \operatorname{ctg} \alpha \quad (14)$$

и

$$B = 2L \operatorname{tg} \alpha + b_2. \quad (15)$$

Подставив в (14) и (15) значения B_p , b_{oz} и α , получим, что длина формовщика должна быть в пределах $L = 183\text{--}238,9$ мм, а ширина входного фартука формовщика $B = 292\text{--}334$ мм.

Угол наклона боковой грани гребня (β_y) (рис. 9) зависит от его уплотнения. Если угол естественного откоса почвы на боковой грани в зависимости от влажности колеблется от 32° до 41° , с его уплотнением угол β_y может быть увеличен до $42\text{--}45^\circ$.

В результате изучения способа формирования площадки для работы рабочих органов посевных машин было выявлено, что необходимо произвести уплотнение боковой грани гребня с целью устранения его осыпания. Для этого необходимо было выполнить следующее условие, чтобы угол откоса β_y к плоскости поля был не более

$$\beta_y \leq \beta + \varphi, \quad (16)$$

где φ – угол внутреннего трения почвы; β – угол естественного откоса почвы.

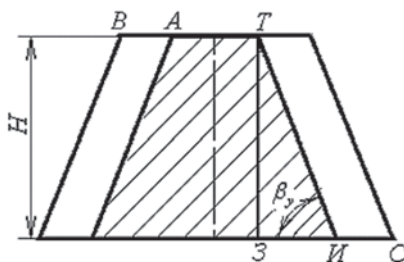


Рис. 9. Схема к обоснованию угла установки боковых отвалов к горизонту

Исходя из этого, с целью устранения осыпания боковых граней гребня необходимо располагать боковые отвалы формовщика под углом $\beta_y = 42\text{--}45^\circ$ к горизонтальной плоскости поля.

При работе козырек фартука формовщика воздействия на почву производит деформацию почвы. Угол установки α_1 козырька фартука определим из условия обеспечения скольжения почвы по нему, т. е.

$$\alpha \leq \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}. \quad (17)$$

Подставляя в это выражение известное значение $\varphi = 25\text{--}30^\circ$, получим $\alpha_1 = 30\text{--}34^\circ$.

Высоту отвала h принимаем равной минимально допустимой высоте гребня H_1 , т.е. $h = 100$ мм.

При этих параметрах боковых отвалов формовщика на поле осуществляется формирование гребня высотой не менее 100 мм и плотностью $1,0\text{--}1,2$ г/см³.

Расположение поливного шланга на гребне. Поливной шланг укладывается на гребень водовыпусками над поверхностью почвы и прикрывается слоем почвы, угол отклонения от оси водовыпуска к поверхности почвы не должен превышать 15° . Расположение поливного шланга показано на рисунке 10, где схематически представлено сечение грядки 1, поливной шланг 2, водовыпуск 3, след 5 от уплотнительного катка сеялки, слой почвы 6 для прикрытия шланга от солнечной радиации, контур 7 зоны увлажнения, корневая система 8 растения, угол α отклонения оси водовыпуска к поверхности почвы.

Поливной шланг раскладывают в поле вдоль рядков растений на гребень по следу заделывающей трубы, установленной за формователем гребня.

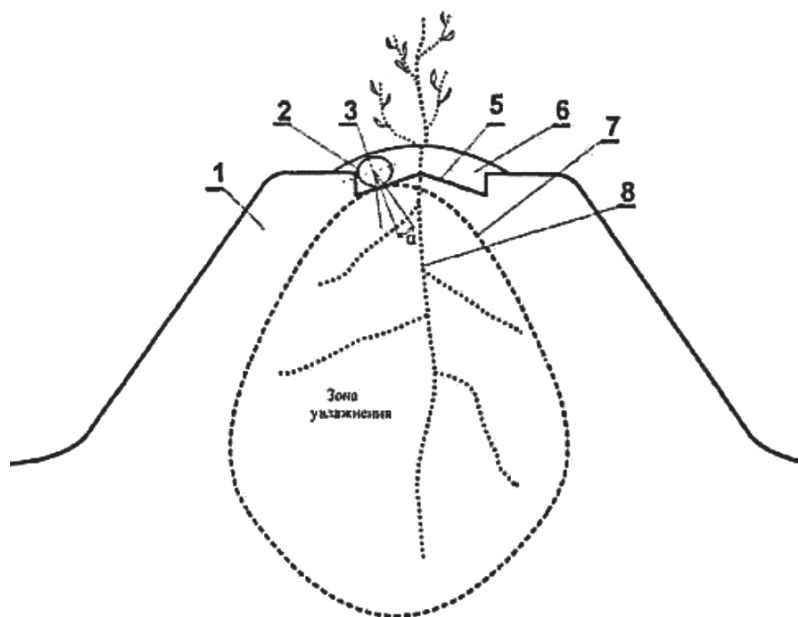


Рис. 10. Схема укладки поливного шланга на гребне

Выводы

1. На основе анализа погодных условий в период подготовки и посева семян установили, что минимально допустимая высота гребня H_1 должна быть не менее 100 мм; минимально допустимая ширина вершины гребня b_r с точки зрения устойчивой работы высевающих устройств должна быть не менее 160 мм; допустимая ширина нижнего основания гребня $b_{ог}$ должна быть не менее 435 мм.

2. На основе графического анализа определены параметры формователя: длина формовщика должна быть в пределах $L = 183\text{--}238,9$ мм, а ширина входного фартука формовщика $B = 292\text{--}334$ мм, угол установки боковых отвалов $\beta_y = 42\text{--}45^\circ$, высота отвала h равна минимально допустимой высоте гребня H_1 , т.е. $h = 100$ мм. Плотность почвы в гребне составляет $1,0\text{--}1,2$ г/см³.

3. При таком способе капельного орошения теплосодержание почвы в зоне корневой системы будет почти постоянным в течение суток.

Список использованных источников

1. Материалы Узгидрометцентра о суточном количестве осадков с 25 марта по 25 апреля с 2008–2017 гг. – Письмо № 25-01/532 от 15.09.2017.

2. Traction resistances of the cotton seeder moulder / F. Mamatov [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 868 (2021) 012052. – Publishing doi:10.1088/1755-1315/868/1/012052.
3. Бердимуратов, П. Т. Разработка и обоснование параметров формовщика гребней для хлопковой сеялки : дисс. ... докт. фил. тех. наук. (PhD) / П. Т. Бердимуратов. –Ташкент, 2019.
4. Ахметов, А. А. Тенденция совершенствования конструкции хлопководческих предпосевных почвообрабатывающих машин-орудий / А. А. Ахметов // Ташкент: Ilmiy texnika axboroti – Press nashrioti. – 2017. – С. 139–193.
5. Поливной шланг для капельного орошения и способ его укладки : пат. UZ IAP 06314 / Б. П. Шаймарданов, Х. Б. Шаймарданов, Р. Д. Матчанов. – 2020.
6. Шаймарданов, Б. П. Разработка технологии гребневого выращивания хлопчатника с адресным и равномерным увлажнением корневой системы растения / Б. П. Шаймарданов, К. О. Шавазов, Б. Усмналиев // Irrigftsiya va Melioratsiya.– 2020. – Махсус сон. – С. 27–32.
7. Курдюмов, В. И. Экспериментальное исследование гребневой сеялки, оснащенной комбинированными сошниками / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. А. Шаронов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2012. – № 11. – С. 55–60.

Э. Т. Фармонов¹, А. К. Игамбердиев¹, Н. Д. Лепёшкин²

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: Erkinfarmonov2009@mail.ru, asqar1959@mail.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ПОДГОТОВКА К ПОСЕВУ УЧАСТКОВ ТВЕРДЫХ ПОЧВ В ПУСТЫННЫХ И ПОЛУПУСТЫННЫХ РАЙОНАХ УЗБЕКИСТАНА

Аннотация. В статье показана недостаточная продуктивность пустынных пастбищ для развития животноводства. Для повышения продуктивности пастбищ путем подсева семян пустынных кормовых растений предложена универсальная сеялка, обеспечивающая посев семян с одновременной полосовой обработкой почвы шириной и глубиной 10–12 см. Обоснованы параметры клиновидного рыхлителя.

Ключевые слова: пустыня, пастбища, пустынные растения, семена, животноводство, сеялка, полосовой посев, урожайность.

E. T. Farmonov¹, A. K. Igamberdiyev¹, N. D. Lepeshkin²

¹NRU “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”
Tashkent, Uzbekistan

E-mail: Erkinfarmonov2009@mail.ru, asqar1959@mail.ru

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus

PREPARATION FOR SOWING AREAS OF SOLID SOILS IN THE DESERT AND SEMI-DESERT AREAS OF UZBEKISTAN

Abstract. The article shows the insufficient productivity of desert pastures for the development of livestock farming. To increase the productivity of pastures by sowing seeds of desert forage plants, a universal seeder is proposed that provides seed sowing with simultaneous strip tillage of the soil 10–12 cm wide and deep. The parameters of the wedge-shaped ripper are justified.

Keywords: include desert, pastures, desert plants, seeds, livestock, seeder, strip seeding, yield.

Введение

Подготовка почвы к посеву является чрезвычайно важной задачей, так как пустынные и полупустынные зоны Узбекистана имеют плотные, твердые и каменистые почвы. Повышение продуктивности этих территорий предполагает посев семян пустынных кормовых растений и улучшение эколого-мелиоративных условий. Для посева на пустынных и полупустынных территориях семян пустынных кормовых растений, таких как саксаул и черкез, созданы инновационные технологии (рис. 1) [1].

Основная часть

Способ обработки и посев в твердые или плотные почвы состоит из следующих операций, выполняемых за один технологический прием: очистка поверхности почвы от растений лемехом; постепенное выравнивание семенного ряда режущими ножами и одновременно создание мягкого слоя, формирование нижнего крупнозернистого размягченного слоя и мелкозернистого верхнего слоя на глубине, равной глубине обработки; уплотнение почвы катком, продельвание неглубокой борозды в верхнем слое почвы на глубину, равную глубине посева семян; смешивание семян с почвой для хорошего контакта с почвой и уплотнение их после посева.

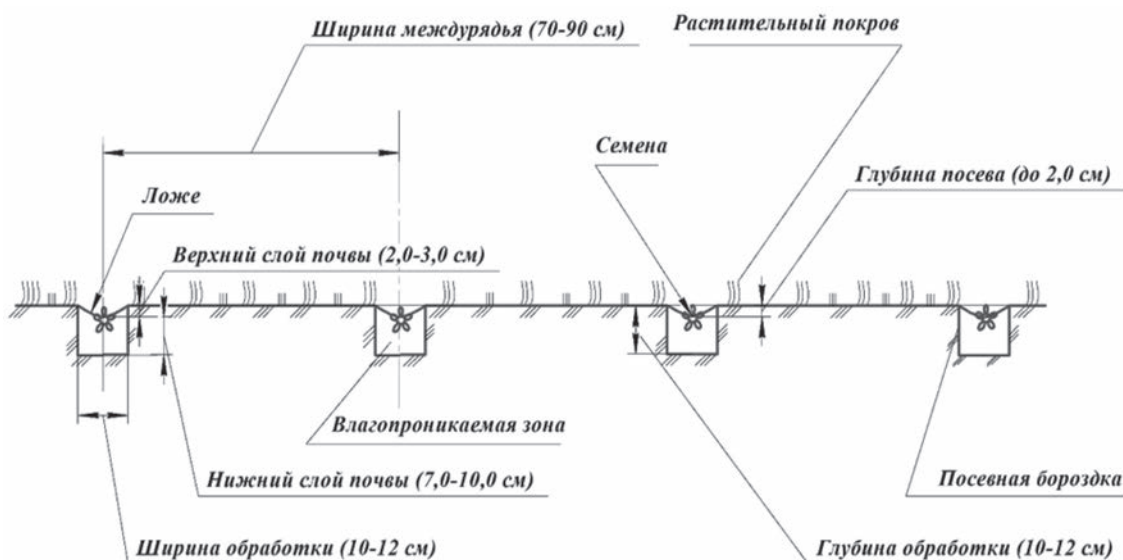


Рис. 1. Способ обработки и посев семян в плотную и твердую почву пустынной зоны

Устройство, осуществляющее обработку почвы и посев семян, работает следующим образом (рис. 2).

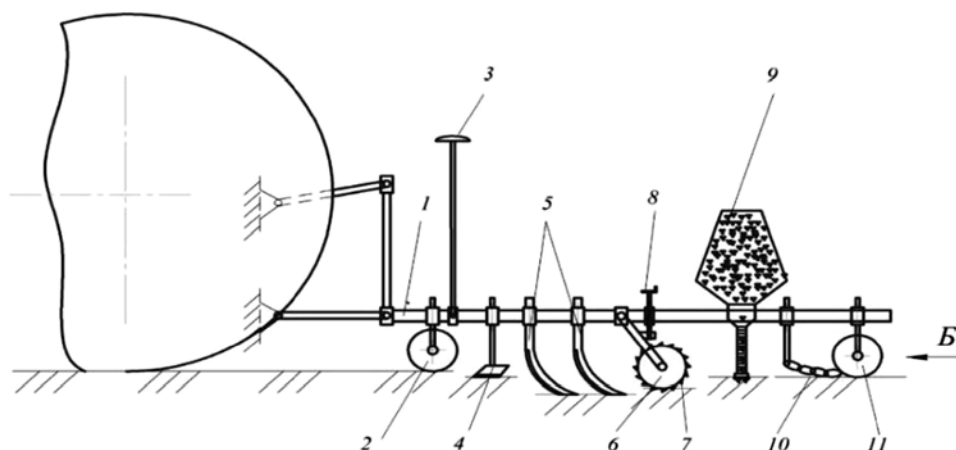


Рис. 2. Схема устройства для осуществления посева семян в плотные и твердые почвы пустынного пастбища

Движением лезвий лемеха 4 растительные остатки срезают с поверхности почвы полосами шириной до 10–12 см и глубиной 1 см и перемещают их на необработанный участок пастбища. Для обработки почвы на расчищенных дорожках устраивают три ряда режущих ножей 5, почву измельчают на глубину 10–12 см, а затем прикатывают верхний слой почвы бороздообразующими катками 6. Гибкая установка режущих ножей 5 в направлении наклонного движения в сторону обрабатываемой почвы обеспечивает значительное снижение тягового сопротивления в технологическом процессе обработки твердых, плотных пастбищных почв [1, 2].

По агротехническим требованиям семена пустынных кормовых растений высевают в пустынные почвы в зимние месяцы с начала декабря до конца января, а иногда и до ранней весны в зависимости от количества осадков.

При использовании рекомендуемого метода размягчение почвы на 10–12 см обеспечивает проникновение влаги осадков в осенне-зимний период. В результате в условиях пустыни обеспечивается хорошая всхожесть рассады во влажной почве в семенном ряду, а значит, улучшается качество посева. Кроме того, молодые саженцы обеспечиваются влагой в жаркий летне-осенний период пустыни.

За счет того, что треугольные зубья 7 прикреплены к поверхности мелкобороздчатых катков 6 в шахматном порядке, верхний внутренний слой почвы измельчается и образуется мелкозернистый слой почвы глубиной 2–3 см, равной глубине заделки семян. Эта глубина регулируется с помощью механизма регулировки 8. Формирование неглубоких борозд – важная агротехническая операция, обеспечивающая накопление влаги, равномерное прорастание и рост семян. Сеялка навесная обеспечивает посев в подготовленные неглубокие бороздки семян, которые заделывают в почву с помощью цепной или легкой зубчатой бороны 10, и верхний слой почвы уплотняется уплотнителем 11.

В рекомендуемом технологическом процессе предусматривается посев семян пустынных пастбищных растений в хорошо подготовленную почву. Результатом научных исследований по технологии рыхления почвы на определенном расстоянии и параметрам рабочих органов, выполняющих его при посеве семян пустынных пастбищных кормовых растений, явилось создание нового дугообразного ножа-рыхлителя. Создана новая конструкция рабочего органа, приспособленная к подготовке почвы с ростом посторонних растений и их остатков для качественного посева на уровне агротехнических требований [2, 3]. Предполагается, что конструкция рабочего органа вырезана из сектора, равного $\frac{1}{4}$ плоского диска, или имеет форму логарифмической спирали (рис. 3).

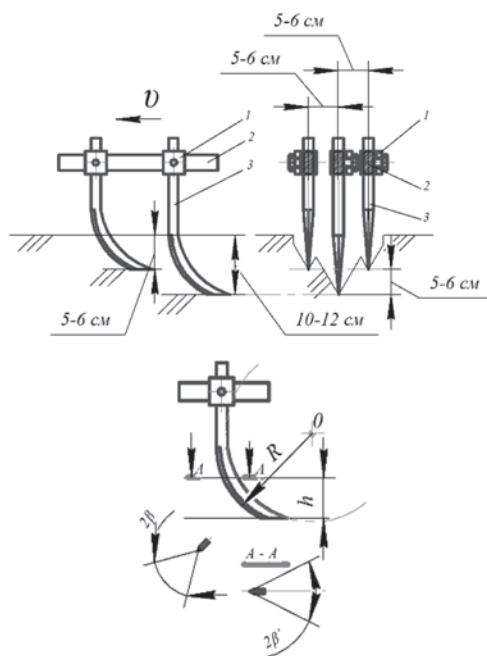


Рис. 3. Схема нового рабочего органа, размягчающего почву, в форме дугообразного ножа:
1 – замок; 2 – грядил; 3 – дугообразный нож

Рекомендуемая технология и рабочие органы в форме дугообразного ножа обеспечивают качественное размягчение почвы с растениями и их остатками шириной до 10–12 см и глубиной 10–12 см.

Крепление рабочих органов к грядиле с помощью замка позволяет регулировать их работу с почвой на заданную глубину и ширину обработки. Дугообразное лезвие своим заточенным лезвием легко скользит по почве и в процессе обработки превращает ее в качественно измельченную (рис. 3).

Согласно требованиям агротехники, на поперечном сечении травяного поля рабочие органы располагаются в ряд на расстоянии 5–6 см с обеих сторон (рис. 3). Рабочие органы по посеву семян кормовых пустынных растений для подготовки устанавливаются в 2 ряда по глубине и ширине обработки. Удобство конструктивной формы рабочих органов обеспечивает их быструю работу и позволяет разместить на сетке два ряда.

Лезвие должно быть достаточно прочным, чтобы избежать поломки, но при этом обеспечивать эффективное срезание растений и их остатков. Если не удастся срезать почвенный слой, то не

удастся срезать растения и их остатки. Чтобы не создавать препятствий, растения и остатки должны иметь возможность скользить по лезвию.

Следовательно, условие скольжения должно быть:

$$\gamma < 90^\circ - \max(\varphi_c, \varphi_n), \quad (1)$$

где φ_c – угол внешнего трения травянистой почвы, град; φ_n – угол внешнего трения растений, град.

Учитывая, что рабочий орган в форме изогнутого ножа скользит, разрезает или измельчает травянистую твердую почву, за приемлемый критерий можно принять количество сорняков, проходящих через его лезвие. Для этого примем, что часть ножа, равная глубине размягчения, имеет вид заточенного ножа, движущегося под углом γ .

Будем считать, что лезвие ножа AB движется со скоростью v (рис. 4). Первоначально инородное тело растения движется из точки A на лезвии в направлении силы R и скользит вдоль лезвия до выхода в точке B_1 (если оно не защемлено).

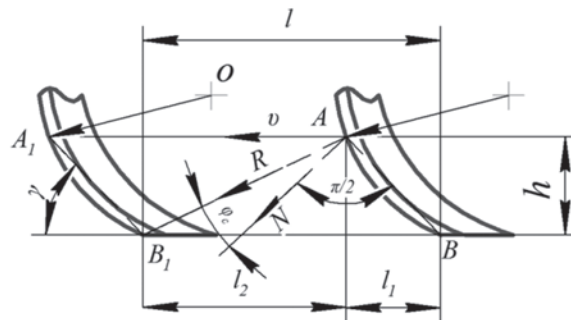


Рис. 4. Схема определения оптимального угла погружения отвала в почву

Пусть лезвие преодолет за этот период расстояние l . В этом случае:

$$l = l_1 + l_2; \quad l_1 = h_{\text{рых}} \operatorname{ctg} \gamma; \quad l_2 = h_{\text{рых}} \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_c).$$

Если $\cos(\gamma + \varphi_c) = \sin \gamma$, учитывая, что $\cos(\gamma + \varphi_c) = \cos(90 - \varphi_c)$, или $\gamma + \varphi_c = \pi/2 - \gamma$, тогда

$$\gamma = \left[\frac{\frac{\pi}{2} - \max(\varphi_c; \varphi_n)}{2} \right]. \quad (2)$$

С учетом (2), максимальных значений углов внешнего трения φ_c и φ_n соответственно ($\varphi_c \approx 29-33^\circ$), ($\varphi_n \approx 20-36^\circ$) [3, 4, 5], средний угол погружения лопасти в почву $\gamma = 29-31^\circ$ находится в диапазоне величин. Радиус кривизны сектора ножа определяем исходя из угла погружения в грунт по схеме (рис. 5):

$$R = \frac{h_{\text{рых}}}{\operatorname{tg} \gamma \cdot \sin(\pi - \gamma - \varphi_{\text{общ}})}, \quad (3)$$

где $h_{\text{рых}}$ – глубина погружения ножа в почву, см; $\varphi_{\text{общ}}$ – обобщенная величина внешних углов трения почвы и растения.

Выражение (3) означает зависимость радиуса кривизны сектора ножа от глубины и угла погружения в грунт. Из графического анализа можно определить, что глубина погружения ножа в почву оказывает существенное влияние на радиус кривизны, а угол трения влияет мало (рис. 5).

При значениях глубины погружения рабочего органа в почву $h_{\text{рых}} = 8$ см, среднего угла внешнего трения $\varphi_{\text{общ}} = 30^\circ$ и среднего угла погружения в почву $\gamma = 30^\circ$ радиус кривизны сектора оказывается равным $R = 158$ мм.

Угол заточки лезвия дугообразного ножа с оптимальным углом вхождения в почву при продолжении движения по направлению v на участке $A-A$ равен β' (рис. 3).

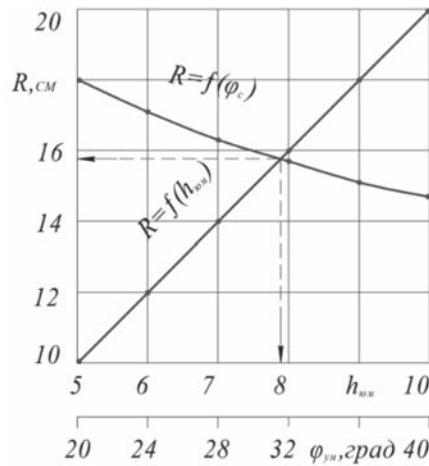


Рис. 5. График зависимости радиуса кривизны сектора ножа от глубины погружения в грунт и угла трения

При скользящем резании лезвием ножа условия $\xi > \varphi_c$ или $N_m > F_{\max}$ характеризуют то, что сила трения достигла максимального значения, но не может уравновесить составляющую нормального давления N_m . Поэтому скольжение частицы грунта в точке m по лезвию ножа происходит под действием сил $N_m - F_{\max}$. В связи с этим на частицу почвы в точке m одновременно действуют силы N_v и $N_m - F_{\max}$ или N и F_{\max} .

Частица грунта продолжает растрескиваться под действием силы R до тех пор, пока не достигнет предела прочности. Следует отметить, что чем больше значение угла ξ , тем выше степень проскользывания частицы почвы. Если с лезвия ножа срезать почву или ствол чужеродного растения, то шейка ножа будет иметь состояния $\xi < \varphi_c$ или $\xi = \varphi_c$ [6]. Так, при резке лезвием основную роль при разрезании почвы или тела растения играет острота лезвия, а его шейка играет вспомогательную роль (рис. 6).

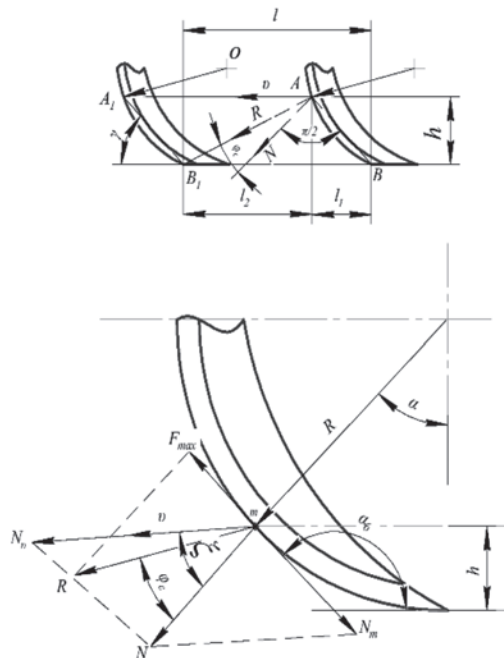


Рис. 6. Схема определения оптимального угла погружения дугообразного лезвия в почву

Эксперименты показывают, что качество резания материала лучше при скользящей резке режущими ножами (почва меньше деформируется и имеет чистую режущую поверхность) [7]. При-

чин этому несколько: во-первых, при скользящем резании ограниченная поверхность травянистой почвы контактирует с лезвием ножа и происходит распиливание; во-вторых, при скользящем резании лезвие погружается в срез под углом, равным эффективному (преобразованному) углу заточки $2\beta\beta'$, меньшему фактического угла $2\beta\beta$ (рис. 6); в-третьих, при скользящем резании сопротивление резанию низкое из-за уменьшения эффективной длины лезвия. В процессе скользящего резания угол заточки меняет свое значение относительно направления резания, то есть наклон лезвия или угол скольжения относительно уменьшаются. Преобразованный эффективный угол заточки $2\beta\beta'$ тесно связан с углом заточки лезвия $2\beta\beta$ и углом резания α [5, 7].

На основании приведенной ранее информации, если предположить, что длина l заточенной шейки лезвия ножа находится в пределах 6–8 мм, а толщина в среднем 6 мм, то

$$\sin\beta = \frac{\delta}{l}; \beta = \arcsin\frac{\delta}{l}. \quad (4)$$

При значении $l = 6\text{--}8$ мм, $\beta = 22\text{--}30^\circ$

$$\text{tg}\beta = \text{tg}\beta \cdot \sin\gamma. \quad (5)$$

С учетом выражения (4) при значениях $\beta = 22\text{--}30^\circ$ $\beta' = 10\text{--}14^\circ$.

Видно, что конструктивный угол заточки клинка в среднем составляет $2\beta = 52^\circ$, а значение толщины $S_{\text{п}} = 6$ мм является приемлемым.

Заключение

1. Угол погружения ножа рыхлителя в почву обеспечивает малую силу трения и сопротивление сжатию почвы и растений при среднем значении $\gamma = 29\text{--}31^\circ$.

2. Обеспечивается низкое удельное давление лезвия ножа по длине, как следствие, обеспечивается низкое сопротивление резанию.

3. Считается, что конструктивный угол заточки клинка в среднем $2\beta = 52^\circ$, толщина $S_{\text{п}} = 6$ мм приемлемы.

4. При угле погружения ножа рыхлителя в почву $h_{\text{рых}} = 8$ см, при значении угла внешнего трения $\varphi_{\text{общ}} = 30^\circ$ и среднего угла погружения в почву $\gamma = 30^\circ$ приемлемый радиус кривизны сектора равен $R = 158$ мм.

Список использованных источников

1. Патент республики Узбекистан № FAP 01678 Способ обработки почвы и посева семян в аридных пастбищах и устройство для его осуществления / Э. Т. Фармонов, А. К. Игамбердиев, Ф. Э. Фармонова // Официальный бюллетень. – 2021. – № 9.
2. Инновационная технология улучшения гипсовых, подгорных и передгорных пастбищ / Э. Т. Фармонов [и др.] // Вестник аграрной науки Узбекистана. – 2019. – № 3. – С.174–178.
3. Игамбердиев, А. К. Обоснование параметров рабочего органа для рыхления почвы при посеве семян пастбищных и пустынных растений / А. К. Игамбердиев, Э. Т. Фармонов // Ирригация и мелиорация. – 2019. – Спецвыпуск. – С. 100–106.
4. Игамбердиев, А. К. Обоснование конструктивных параметров влагосберегающего и адаптированного к междурядьям хлопчатника сошника / А. К. Игамбердиев, С. Солижонов // Ирригация и мелиорация. – 2015. – № 2. – С. 49–53.
5. Пильненко, А. К. Кинематическая трансформация угла заточки лезвия дискового ножа / А. К. Пильненко // Межвузовский сборник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2012. – Вып. 39. – С. 159–162.
6. Игамбердиев, А. К. Научно-техническое решение механизированного посева озимой пшеницы в междурядья хлопчатника: автореф. дисс. ... докт. техн. наук / А. К. Игамбердиев ; ТИҚХММИ. – Ташкент, 2018. – 60 с.
7. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – Москва: Машиностроение, 1975. – 311 с.

К. А. Шавазов¹, В. В. Микульский²

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: kadirjon.shavazov@bk.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ОБРАБОТКА ПОЧВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Аннотация. В статье рассмотрены и приведены результаты теоретических исследований в области обработки полей. Рекомендованы основные параметры рабочего органа, разработанного двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя, обладающего оптимальной конструкцией для глубокого рыхления, возможностью адаптации его к внешним условиям и видам выполняемых работ. Предложен один из путей снижения тягового сопротивления в процессе работы глубокорыхлителя.

Ключевые слова: рыхлитель, долота, обработка почвы.

K. A. Shavazov¹, V. V. Mikulski²

¹NRU "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"
Tashkent, Uzbekistan

E-mail: kadirjon.shavazov@bk.ru

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus

SOIL TREATMENT IN CENTRAL ASIA TO INCREASE THE YIELD OF AGRICULTURAL CROPS

Abstract. The article discusses and presents the results of theoretical research in the field of field processing. The main parameters of the working body, a developed two-stage, two-row subsoiler, which has an optimal design for deep loosening and the ability to adapt it to external conditions and types of work performed, are recommended. One of the ways to reduce traction resistance during the operation of a subsoiler has been proposed.

Keywords: ripper, chisels, tillage.

Введение

Сельскохозяйственный глубокорыхлитель – это рабочий орган для разрушения переуплотненных тяжелых почв (глина, суглинок). Он предназначен для достижения однородности комков плодородного слоя, улучшения физико-механических свойств почвы.

Основной целью использования глубокорыхлителя является разуплотнение плодородного слоя и разрушение плужной подошвы без оборота пласта и повреждения стерни. Применение рыхлителей для глубокого рыхления переуплотненного слоя почвы с пониженной фильтрацией позволяет достичь улучшения водно-воздушного режима корневого слоя и предотвращения развития эрозии почвы. Для разрыхления и улучшения плодородного слоя сельскохозяйственных почв применяются различные конструкции рабочего оборудования: чизельные, плоскорезные орудия, бороны дисковые, плуги и глубокорыхлители. [2].

Основная часть

Почвы Узбекистана характеризуются большим разнообразием по составу и, как следствие, по способам обработки. Даже внутри административных районов выделяются участки земли с уро-

жайностью, близкой к максимально возможной. Установлено, что в процессе использования почвы наблюдается снижение ее продуктивности в результате образования различного рода уплотнений почвенного профиля, нарушений его водно-воздушного и теплового режимов и засоление почвы (рис 1).

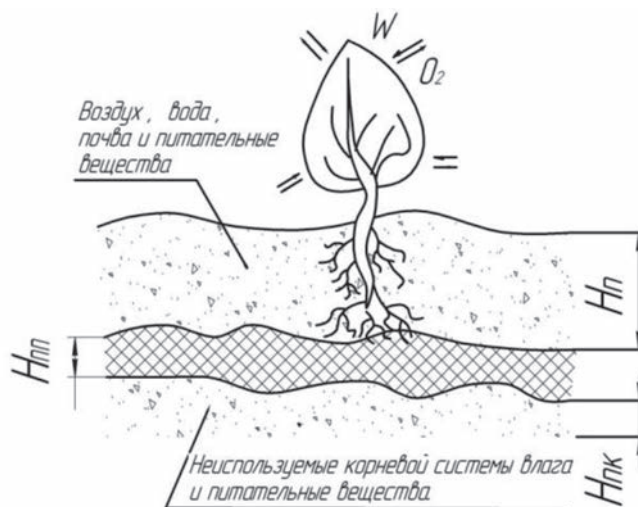


Рис. 1. Схема влияния уплотненного слоя на водно-воздушный режим: H_p – глубина почвы которая обрабатывается плугами (0,25–0,35 м), $H_{уп}$ – высота переуплотненного слоя почвы (0,10–0,15 м), $H_{нк}$ – нижний слой почвы

Если структурированные почвы в пахотном горизонте имеют структуру, оптимальную для развития растений, то почвы, ранее не обрабатываемые (подлежащие восстановлению), имеют высокую засоренность: до 3–4 кустарников на 1 м^2 с глубиной проникновения корней свыше 1 м. При культивации, дисковании, лущении, отвальной и плоскорезной обработке и других операциях происходит дополнительное уплотнение почвы (рис. 2) движителями агрегатов [2].

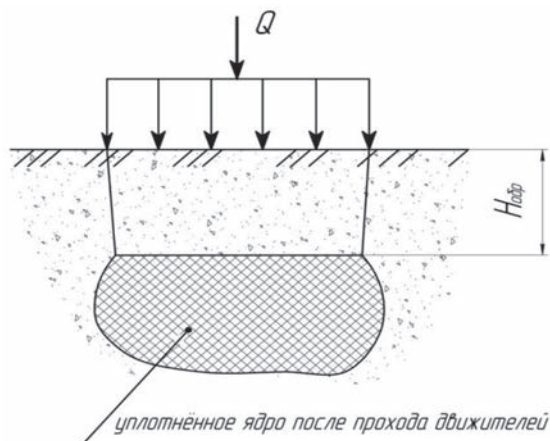


Рис. 2. Образование уплотнения почвы после прохода машины: Q – давление на почвы сельскохозяйственных движителей, $H_{обр}$ – глубина обрабатываемого слоя почвы сельскохозяйственными орудиями

Корневая система культурного растения, «натолкнувшись» на уплотнение подпахотного горизонта, не сможет воспользоваться влагой [2].

При сельскохозяйственном использовании земель, особенно тяжелых почв, при обработке хлопковых полей сельхозмашинами имеет место довольно интенсивное уплотнение земель, поэтому необходимо каждые 3–4 года обрабатывать почву глубокорыхлителями. Наличие большого количества микрочастиц грунта приводит к заилению и общему уплотнению. При использовании орудий для глубокого рыхления улучшается водно-воздушный режим корневого слоя почвы,

предотвращается развитие эрозии почвы, происходит накопление влаги и в итоге повышение урожайности сельскохозяйственных культур (хлопка, кукурузы, свеклы и др.).

Предлагаемый объемный двухступенчатый двухрядный глубокорыхлитель предназначен для разработки почвы на глубину 0,30–0,50 м, что позволяет разрушить подпахотный переуплотненный слой (плужную подошву).

Предлагается применять объемный двухступенчатый двухрядный глубокорыхлитель с долотами (рис. 3) с периодичностью обработки один раз в 3–4 года [3]. Объемный двухступенчатый двухрядный глубокорыхлитель включает в себя наклонные относительно друг друга симметричные стойки с долотами переднего ряда. Долота передних стоек устанавливаются таким образом, чтобы высота образующихся гребней не превышала половины суммы ширины междурядия и долота. Толщина стоек второго ряда рабочего органа, отогнутых в противоположную сторону, меньше толщины стоек первого ряда. Такой способ дает возможность уже в первый год после обработки получать дополнительный урожай [4]. «Плужная подошва» образуется при длительной сельхозобработке разными движителями на глубине 0,25–0,30 м от поверхности, что вызывает уплотнение слоя на глубине 0,25–0,45 м, которое не дает корневым частям растения углубиться и не пропускает лишней влаги, т. е. не допускает отвод в дренажные системы, поэтому необходимо глубокое рыхление до 0,30–0,50 м. Таким требованиям вполне удовлетворяет рабочий орган (рис. 3).

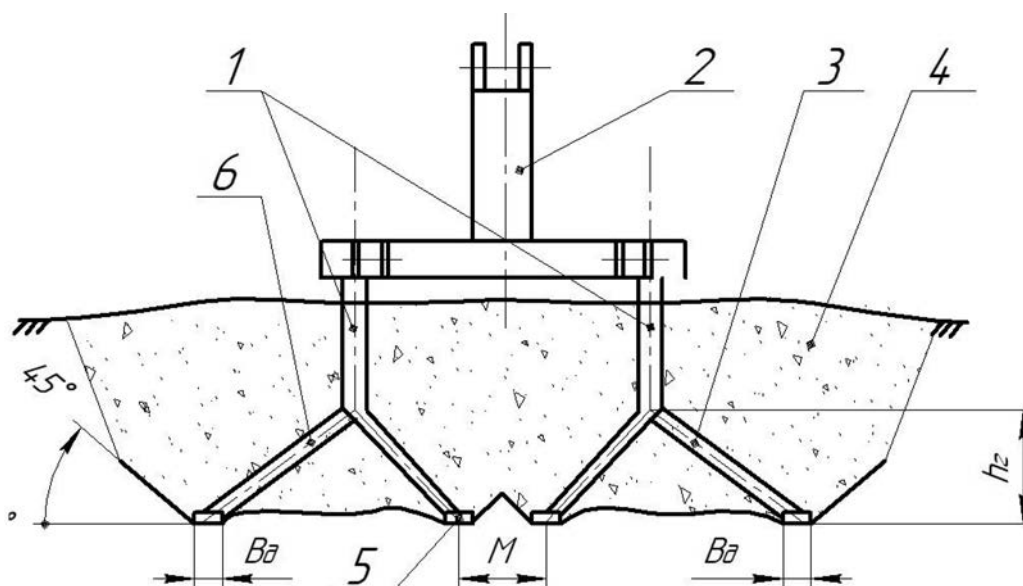


Рис. 3. Схема расположения двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя (вид спереди):
 B_d – ширина долота; M – расстояние между режущими стойками; h_r – высота согнутой части;
 1 – передние стойки; 2 – трехточечное навесное устройства; 3, 6 – задние стойки; 4 – почва; 5 – долота

Выбор времени для глубокой обработки уплотнённых почв определяется ротацией культур. Вместе с тем для аккумуляции влаги лучше, чтобы глубокая обработка проводилась осенью после уборки урожая и до наступления сезона дождей.

Были изготовлены три модели глубокорыхлителя в масштабе 1:2,5.

При этом приняты δ – углы резания наклонных стоек относительно оси продольного движения – для нижней ступени: 1) $\delta_1 = 10^\circ$; 2) $\delta_1 = 25^\circ$; и 3) $\delta_1 = 20^\circ$. Соответственно для верхней ступени: 1) $\delta_2 = 10^\circ$; 2) $\delta_2 = 20^\circ$ и 3) $\delta_2 = 15^\circ$. δ_3 – углы резания второго ряда, для всех моделей $\delta_3 = 10^\circ$. Углы резания нижней ступени лемеха: 1) $b_1 = 30^\circ$; 2) $b_1 = 40^\circ$; 3) $b_1 = 45^\circ$. Углы резания верхней ступени лемехов: 1) $b_2 = 25^\circ$; 2) $b_2 = 30^\circ$; 3) $b_2 = 35^\circ$. b_3 – углы резания второго ряда, $b_3 = 30^\circ$ на всех моделях. Изменялись и другие параметры кроме ширины долота.

Исследования были проведены по схеме полного многофакторного эксперимента. В качестве переменных факторов были приняты глубина рыхления, плотность и влажность почвы, углы установки рабочего органа.

Для оценки указанных выше параметров были проведены экспериментальные исследования этих моделей рыхлителей в лаборатории кафедры мелиоративных и строительных машин. В качестве параметров оптимизации были приняты два показателя: тяговое сопротивление движению рабочего органа рыхлителя F_c и качество рыхления $K_{рых}$, которое оценивалось на первом этапе величиной вспученности пласта разрыхляемого грунта по центральной продольной оси. [5].

Используя теорию планирования эксперимента, были построены математические модели, связывающие исследуемый параметр со всеми влияющими на него факторами. Определяли полное сопротивление движения рабочего органа при рыхлении, используя рабочую методику приближенного физического моделирования процессов рыхления грунта без изменения его свойств (по В. И. Баловневу) для рабочего органа (рыхлителя) в натуральную величину.

По результатам, полученным в ходе экспериментальных исследований, были рекомендованы основные параметры рабочего органа двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя (табл. 1).

Таблица 1. Рекомендуемые основные параметры рабочего органа двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

Наименование параметра	Значение параметров	
	для нижней ступени	для верхней ступени
Угол резания лемеха, °	$b_1 = 30$	$b_2 = 25$
Углы резания вертикальных стоек относительно оси продольного движения, °	$\delta_1 = 10$	$\delta_2 = 10$
Углы разворота вертикальных стоек относительно оси продольного движения, °	$\beta_1 = 5$	$\beta_2 = 3$
Ширина лемеха, м	$b_1 = 0,2$	$b_1 = 0,10$

Испытания показали следующие результаты:

По основным технико-эксплуатационным параметрам глубокорыхлители удовлетворительно агрегируются с основными отечественными пахотными тракторами:

- одномодульный рыхлитель (типа ГР-0,5.1) – с тракторами тягового класса 1,4;
- двухмодульный рыхлитель (типа ГР-0,5.2) – с тракторами тяговых классов 3–5;
- трехмодульный рыхлитель (типа ГР-05.3) – с трактором тяговых классов 7–10.

Однообразие качественных и энергетических показателей фронтальных рыхлителей обеспечивается на различных типах почв в условиях умеренного и недостаточного увлажнения.

Двухступенчатый двухрядный рыхлитель рекомендуется использовать для рыхления (разрушения) в основном «плужной подошвы» при агрегатировании с тракторами классов 3–10. В зависимости от класса трактора навесное рабочее оборудование может включать один или три рабочих органа (модуля), расположенных в шахматном порядке (два спереди, один сзади). Сам рабочий орган обладает новизной [8].

Выводы

Обработка почв двухступенчатым двухрядным рыхлителем до глубины 0,5 м обеспечивает оптимальную однородность комков и вспученность до 20 % согласно агротехническим требованиям. Физико-химический состав грунта улучшается, влага и воздух в почве перераспределяются. После обработки глубокорыхлителем урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается на 20 %. Благодаря изменению почвенной структуры при дальнейших обработках сельхозмашинами снижаются тяговые сопротивления при проведении технологических операций, что ведет к экономии ГСМ, снижению нагрузок и износа рабочих орудий.

Агрономическая выгода: восстановление структуры плотных грунтов; разрушение обработанных слоев; получение рыхлых и вентилируемых структур без переворачивания слоев; улучшение характеристик почвы; контролирование роста сорняков со снижением использования гербицидов; хорошая аэрация и инфильтрация дождевых и талых вод [8]. Экономические преимущества: экономия энергии благодаря меньшему тяговому сопротивлению на рабочее оборудование при обработке почвы, особенностям конструкции безотвальной и безоборотной обработки почвы. Способность безоборотной обработки почвы улучшает формирование органических веществ в почве.

Список использованных источников

1. Влияние мелиоративной обработки на биологическую активность почв солонцового комплекса Западной Сибири / Л. В. Березин [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 11. – С. 1349–1355.
2. Теловов, Н. К. Глубокорыхлитель – это орудие для разрыхления переуплотненных почв / Н. К. Теловов, С. К. Тойгамбаев // Материалы международной научно-практической конференции «Научное и кадровое обеспечение продовольственной безопасности России». – М., 2014. – С. 57–61.
3. Глубокорыхлитель: патент RU 2150183 / Н. К. Теловов, Ю. Г. Ревин, В. С. Казаков. – Оpubл. 10.06.2000.
4. Черненко, В. Я. Глубокое рыхление осушаемых тяжелых почв / В. Я. Черненко, Ш. И. Брусиловский. – М.: Колос, 1983 – 63 с.
5. Теловов, Н. К. Внедрение и совершенствование глубокорыхлителя в технологии возделывания сельскохозяйственных культур с выполнением мелиоративных мероприятий / Н. К. Теловов, С. К. Тойгамбаев // Актуальные проблемы современной науки. – 2014. – № 3. – С. 22–26.
6. Насыров, Н. К. Руководство по рекультивации почвенного профиля при комплексной реконструкции оросительных систем (на примере Яванской долины) МИИСП им. В. П. Горячкина / Н. В. Насыров, В. С. Казаков. – Тверь, 1990. – 68 с.
7. Практикум по мелиоративным машинам / Ю. Г. Ревин [и др.]. – М.: Колос, 1995. – 204 с.
8. Теловов, Н. К. Экспериментальные исследования физической модели рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя / Н. К. Теловов, Х. А. Абдулмажидов // Вестник МГАУ им. В. П. Горячкина. – 2019. – № 3 (91). – С. 22–27.

Дж. Алижанов¹, К. Шавазов¹, Е. Л. Жилич²

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан
E-mail: kadirjon.shavazov@bk.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДОПУСКОВ СОПРЯЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ ПРИ РЕМОНТЕ

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм оптимизации эффективного распределения ресурсов, определяющих стоимость выполнения сборочных работ при соблюдении ограничений, обеспечивающих высокое качество сборки животноводческих машин и оборудования.

Ключевые слова: допуск, посадка, деталь, механизм, метод, решения, ресурс, эксперимент.

J. Alizhanov¹, K. Shavazov¹, E. L. Zhilich²

¹NRU “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”
Tashkent, Uzbekistan
E-mail: kadirjon.shavazov@bk.ru

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus

REGULATION OF TOLERANCES OF MATING PARTS OF MECHANISMS OF ANIMAL FARMS DURING REPAIR

Abstract. The paper discusses an algorithm for optimizing the effective distribution of resources that determine the cost of performing assembly work while observing restrictions that ensure high quality assembly of livestock machines and equipment.

Keywords: tolerance, fit, part, mechanism, method, solutions, resource, experiment.

Введение

Одним из важнейших направлений повышения эффективности и качества выполнения общего комплекса работ по ремонту машин и механизмов животноводческих ферм является совершенствование сборочных технологических процессов как узловой, так и общей сборки [1]. В современных технологических процессах ремонта машин объемы сборочных работ достаточно велики и могут составлять до 35–40 % от общего их объема в мелкосерийном производстве [2, 3]. Выполнение ремонтных работ в условиях дефицита ресурсов требует развития и применения оптимизационных процедур, современных ресурсосберегающих технологий и вычислительных сред при минимальных затратах на их реализацию. Оптимизация технологических операций сборки машин и механизмов животноводческих ферм на основе научно обоснованных положений, методов и моделей с применением эффективных технических решений позволяет кардинально решать проблему ресурсосбережения с использованием операционных технологий. Исследования показали, что в процессе сборки механизмов целесообразно использовать алгоритмы и модели параметрической оптимизации, эффективного распределения ресурсов, определяющих стоимость выполнения сборочных работ при соблюдении ограничений, обеспечивающих высокое качество сборки.

Основная часть

Ремонт деталей, узлов и сборка механизмов должны производиться с соблюдением технических норм, допусков и технологий обработки поверхностей, предусмотренных соответствующими

технологическими документами. Если в процессе изготовления деталей допущены значительные отклонения от требований чертежа, то при сборке не будет обеспечена необходимая собираемость сборочных единиц. Дополнительная обработка деталей или их выбраковка приводят к повышению себестоимости продукции. В случае ужесточения требований к предельным отклонениям производственные расходы увеличиваются, поскольку с повышением точности обработки значительно возрастают стоимость и время изготовления деталей. Если же отсутствует оборудование, обеспечивающее высокую точность изготовления, то на сборке неизбежны сортировка деталей и переход к селективной сборке.

Применение статистического контроля совокупности деталей при нормальном законе распределения основано на том, что поле допуска задается параметром 6σ («статистический допуск»), где σ – среднее квадратичное отклонение нормального распределения. В этом случае число бракованных изделий из партии деталей не будет превышать 0,27 %.

При сопряжении деталей предельные отклонения их размеров рассчитываются при условии выполнения требований, предъявляемых к допуску сборочной единицы. Можно полагать, что общий допуск собранного узла равен сумме допусков отдельных деталей, входящих в узел.

Существуют различные методы расчета составляющих допусков сопряженных деталей. Методы, основанные на статистической оценке допусков и нахождении их среднеквадратических отклонений, позволяют уменьшить степень риска при расширении пределов допуска на сопряженные детали и сократить потери при сборке. Правильное назначение допусков позволяет достигнуть значительной экономии материальных средств и снизить расходы на производство. Наиболее эффективными могут быть решения, полученные путем реализации оптимизационных процедур, обеспечивающих минимизацию критерия качества в условиях ограничений, определяемых составляющими технологического процесса сборки узла.

Модели распределения ресурсов играют важную роль в решении задач создания операционных технологий для совершенствования технологических процессов в животноводстве. Эти модели позволяют в условиях ограничений объемов ресурсов в каждой конкретной ситуации использовать их с наименьшими потерями, что достигается за счет алгоритмизации и использования оптимизационных методов и эффективных вычислительных процедур.

Следует отметить, что для определенного класса моделей задача оптимальной сборки узла по заданному суммарному допуску может быть решена аналитически. Предположим, что требуется собрать узел, состоящий из n различных деталей. Поскольку допуск узла не должен превышать заданного значения T единиц, и он равен сумме допусков n деталей, то условие сопряжения можно записать:

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n = \sum_{i=1}^n t_i = \Phi(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n), \quad (1)$$

где t_i – допуск i -й детали ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

Предположим, что стоимость изготовленной i -й детали g_i состоит из двух составляющих: постоянной g_{pi} , представляющей собой стоимость заготовки, и переменной c_i , зависящей от сложности и качества обработки. В общем случае переменная составляющая должна быть нелинейной функцией t_i :

$$g_i = g_{pi} + c_i(t_i). \quad (2)$$

Будем полагать, что переменная составляющая $c_i(t_i)$ обратно пропорциональна допуску t_i в m -й степени и может быть представлена зависимостью

$$c_i(t_i) = \frac{K_i}{t_i^m}, \quad (3)$$

где K_i – постоянный коэффициент, зависящий от формы, размеров и свойств материала i -й детали; m – целое число. Тогда стоимость всех деталей, входящих в узел, равна

$$G = \sum_{i=1}^n g_i = \frac{K_1}{t_1^m} + \frac{K_2}{t_2^m} + \dots + \frac{K_n}{t_n^m} + g_{p1} + g_{p2} + \dots + g_{pn} = f(t_1, t_2, \dots, t_n). \quad (4)$$

Задача состоит в минимизации стоимости всех деталей G , входящих в узел, при выполнении ограничения (1), если известны (2) и (3). Поиск минимума G осуществляется путем вариации допусков t_i . Из всех возможных значений t_i , входящих в (1), следует выбирать такие величины допусков деталей узла

$$t_1^* + t_2^* + \dots + t_n^* = T, \quad (5)$$

чтобы функция стоимости (4) принимала минимальное значение.

Для определения требуемых значений допусков деталей можно воспользоваться известными методами параметрической оптимизации. В частности, рассмотрим решение задачи с помощью метода множителей Лагранжа. Согласно этому методу, для поиска экстремума требуется решить систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f \Phi}{\partial t_1} + \lambda \frac{\partial}{\partial t_1} &= 0, \\ \frac{\partial f \Phi}{\partial t_2} + \lambda \frac{\partial}{\partial t_2} &= 0, \\ \frac{\partial f \Phi}{\partial t_n} + \lambda \frac{\partial}{\partial t_n} &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Простые вычисления частных производных функций (4) и (1) по переменным t_i позволяют записать

$$\begin{aligned} -mK_1 t_1^{-(m+1)} + \lambda &= 0, \\ -mK_2 t_2^{-(m+1)} + \lambda &= 0, \\ -mK_n t_n^{-(m+1)} + \lambda &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Пусть $\alpha = \frac{1}{m+1}$. Тогда из первого и второго уравнений системы (7) получим оптимальный допуск второй детали t_2 как функцию оптимального допуска t_1 первой (базовой) детали:

$$t_2^* = \left(\frac{K_2}{K_1} \right)^\alpha \cdot t_1^*. \quad (8)$$

Аналогично запишем t_3^* в терминах t_1^* :

$$t_3^* = \left(\frac{K_3}{K_1} \right)^\alpha \cdot t_1^*. \quad (9)$$

Для выбранной модели (1)–(4), если $1 < i < (n-1)$, по индукции получаем

$$t_i^* = \left(\frac{K_i}{K_1} \right)^\alpha \cdot t_1^*. \quad (10)$$

Оптимальный допуск n -й детали:

$$t_n^* = \left(\frac{K_n}{K_1} \right)^\alpha \cdot t_1^*. \quad (11)$$

После подстановки (9)–(11) в уравнение (1) будем иметь:

$$T = S \cdot t_1^*, \quad (12)$$

где

$$S = K_1^{-\alpha} \cdot \left(\sum_{i=1}^n K_i^\alpha \right). \quad (13)$$

Оптимальный допуск базовой детали t_1^* определим с помощью простой зависимости

$$t_1^* = \frac{T}{S}. \quad (14)$$

Допуски других деталей узла рассчитаем по формулам (8)–(11).

Рассмотрим пример.

Выберем сборочный узел, состоящий из пяти деталей. Допуск узла $T=0.022$ (мм). Стоимость деталей оценим по формуле (2) при следующих значениях коэффициентов:

$$K_1 = 0.0035; K_2 = 0.0018; K_3 = 0.00028; K_4 = 0.0070; K_5 = 0.0012;$$

$$g_{p1} = 120; g_{p2} = 180; g_{p3} = 47.5; g_{p4} = 150; g_{p5} = 250 \text{ (y.e.)}$$

Показатели степени в формуле (3) для всех деталей одинаковы и равны $m = 2$.

В результате вычислений по формулам (8)–(14) получены оптимальные допуски деталей узла, представленные вектором:

$$t^* = [t_1^* \dots t_2^* \dots t_3^* \dots t_4^* \dots t_5^*] = [0.0051 \dots 0.0042 \dots 0.0023 \dots 0.0066 \dots 0.0037].$$

Минимальная стоимость деталей составила $P_m = 1280.2$ y.e.

Для сравнения был выполнен расчет стоимости деталей при равных допусках $t_i = \frac{T}{n}$. В этом случае $P = 1459.3$ y.e. Таким образом, оптимальное распределение допусков деталей узла позволяет уменьшить расходы на 179.1 y.e.

Решенная задача может быть отнесена к классу простых задач оптимального распределения ресурсов. Аналитическое решение получено благодаря выбору $m = 2$. Кроме того, в модели отсутствуют ограничения на элементы вектора состояния и др. Ресурсом является параметр T , который наиболее эффективным способом распределяется по n процессам.

Для функциональных зависимостей $\Phi(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$, $f(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$ и $g_i(t_i)$ сложной формы трудоемкость вычислений значительно возрастает. Например, для функций (3) с различными показателями степени $m1-m5$ при наличии линейных и нелинейных ограничений, а также ограничений на переменные состояния решения в аналитическом виде получить практически невозможно, и приходится использовать численные методы и алгоритмы оптимизации. Построение таких алгоритмов целесообразно выполнять с использованием инструментов различных вычислительных сред. Для решения класса задач с унимодальными функциями стоимости (3), а также семейства нелинейных задач, отвечающих условиям Куна-Таккера, в работе применен сплайн-метод оптимизации, предложен алгоритм и разработана программа, базирующаяся на применении функции *fmincon* среды MatLAB [4; 5]. Фрагмент программы представлен файл-функцией *s1.m* и блоками скрипт-файла:

```
% s1.m
% Файл-функция.
% Оптимальное распределение допуска узла как ресурса по процессам.
function L=s1(x)
global h1 h2 h3 h4 h5
L=[ppval(h1,x(1))+ppval(h2,x(2))+ppval(h3,x(3))+ppval(h4,x(4))+ppval(h5,x(5))];
```

```

Первый блок скрипт-файла.
% Сборка механизма по сплайн-методу.
% Исходные данные:
global h1 h2 h3 h4 h5
% Исходные данные для расчетов:
T=0.022; k1=0.0035; k2=0.0018; k3=0.00028; k4=0.0070; k5=0.0012; m=2;
gp1=120; gp2=180; gp3=47.5; gp4=150; gp5=250; N=5;
m1=1.9;m2=1.72;m3=1.85; m4=2.05;m5=1.73;
Tmin=0.001; Tmax=0.008;
% Оценка функций стоимости в (D+1) интерполяционных узлах:
D=8;
t=Tmin:(Tmax-Tmin)/D:Tmax;
f1=k1./(t.^m1);f2=k2./(t.^m2);f3=k3./(t.^m3);f4=k4./(t.^m4);f5=k5./(t.^m5);
% Формирование матриц исходных данных:
g1=[t;f1];g2=[t;f2];g3=[t;f3];g4=[t;f4];g5=[t;f5];
% Построение сплайнов:
h1=spline(g1(1,:),g1(2,:));h2=spline(g2(1,:),g2(2,:));
h3=spline(g3(1,:),g3(2,:));h4=spline(g4(1,:),g4(2,:));
h5=spline(g5(1,:),g5(2,:));

```

По полученным расчетным данным построены графики функций стоимости для пяти деталей, представленные на рис. 1. Интерполяционные узлы представлены на каждой характеристике в виде точек.

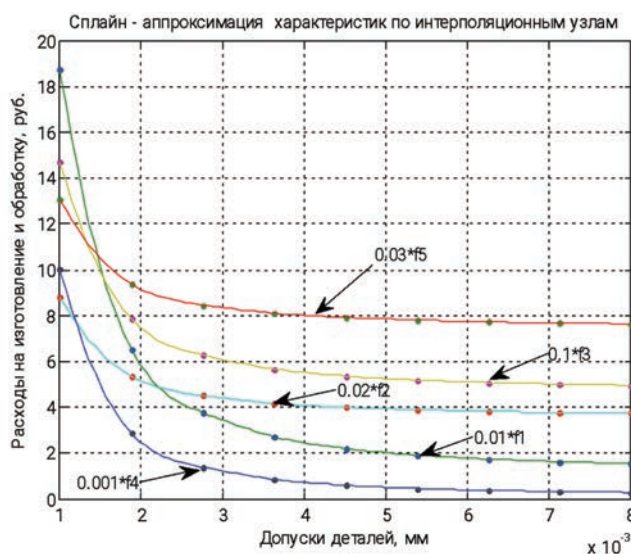


Рис. 1. Функции расходов на изготовление и обработку деталей узла

Оптимальные значения допусков деталей при вариации допуска узла от 0.015 до 0.030 мм, а также минимальные расходы на сборку получены с помощью второго блока скрипт-файла:

```

% Реализация алгоритма оптимального распределения ресурса T по n процессам.
% Ограничения на переменные состояния:
lb=ones(5,1)*Tmin;
ub=ones(5,1)*Tmax;
% Процедура численной оптимизации:
Aeq=[1 1 1 1 1]; beq=T;
options=optimset('Display','Iter');

```

```
[x,J1]=fmincon('s1',lb*4,[],[],Aeq,beq,lb,ub,[],options)
% Результаты расчетов
G=k1./(x(1).^m1)+k2./(x(2).^m2)+k3./(x(3).^m3)+k4./(x(4).^m4)+k5./(x(5).^m5)+... sum([gp1 gp2
gp3 gp4 gp5])
```

По завершении расчетов получены оптимальные параметры сборки узла для различных значений допуска T . Результаты представлены в графической форме (рис. 2).

Расчеты выполнены при введении ограничений на переменные состояния $x1$ – $x5$. Видно, что допуск детали $x4$ для значений $T \geq 0.020$ мм принимает максимально допустимое значение, определенное границей ub (см. фрагмент файла) и равное 0.008 мм. Допуск детали $x1$ достигает правой границы, если $T \geq 0.027$ мм. Минимальная стоимость сборки $G(T) = G(0.015) = 1335.8$ у.е. С увеличением T стоимость сборки узла уменьшается, и при $T = 0.030$ мм она составляет $G(T) = G(0.030) = 955.5$ у.е. Если допуск узла равен $T = 0.040$ мм, то согласно правой границе, все допуски деталей должны быть равны 0.008 мм, и вариация переменных состояния не производится.

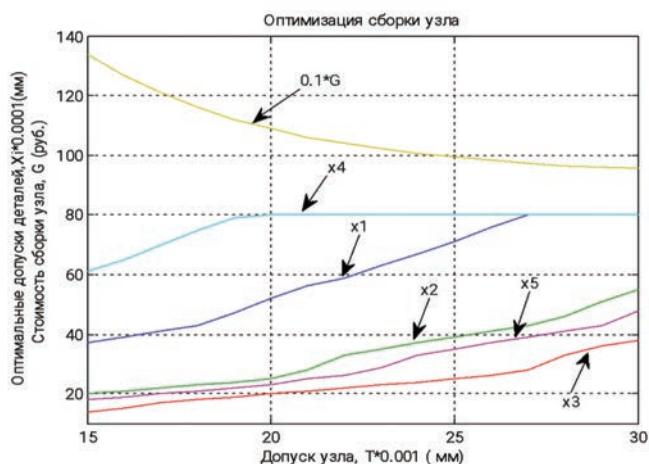


Рис. 2. Оптимизация технологического процесса сборки механизма

Выводы

Ввод исходных данных связан с получением структуры и оценкой параметров моделей (2), (3) и (4). Подготовка исходных данных является наиболее трудоемкой и ответственной частью решения и обычно базируется на эксперименте. Преимущества сплайн-метода состоят в том, что данные эксперимента могут быть введены в виде векторов измерений невысокой размерности, без определения структуры и параметров входных сигналов. Не вводятся ограничения и на выбор шага дискретности изменений. Операции по аналитическому представлению исходных характеристик по эксперименту реализованы в терминах сплайн-аппроксимаций, с использованием экспериментальных точек в качестве интерполяционных узлов, что на практике обеспечивает высокую точность и простоту выполнения вычислений.

Список использованных источников

1. Техника и технологии в животноводстве : учебник / В. И. Трухачев [и др.]. – Ставрополь : СтГАУ, 2020. – 536 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
2. Алижанов, Д. Чорвадорлар учун дон майдаловчи ихчам курилма / Д. Алижанов, Ш. Х. Абдурахмонов // Ўзбекистон қишлоқ хўжалиги. – 2018. – № 4. – С. 19.
3. Алижанов, Д. Винтсимон озуқа майдалагичнинг параметр ва режимларини мақбуллаштириш / Д. Алижанов, Я. К. Жуматов, Ш. Бекназаров // Аграр фани хабарномаси. – 2021. – № 2. – С. 92–95.
4. Дьяконов, В. П. Справочник по PC MatLAB / В. П. Дьяконов. – Москва: Наука, 1993. – 213 с.
5. Сахаров, В. В. Модели и алгоритмы оптимизации технологических процессов на объектах водного транспорта в среде MatLAB: монография / В. В. Сахаров. – Изд-во ГУМ РФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. – 476 с.

Б. Б. Хакимов¹, С. Аликулов¹, Ф. Равшанов¹, Н. Ф. Капустин²

¹НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Узбекистан
E-mail: khakimovbakhodir16@gmail.com

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

УСТРОЙСТВО С РОТАЦИОННЫМИ АППАРАТАМИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Аннотация. В статье представлена теория массообмена в устройстве, предназначенном для получения высококачественной смеси дизельного и биоэтанольного топлива, которое нагревает топливо до определенной температуры и создает качественную смесь. Устройства для процессов массообмена должны быть спроектированы таким образом, чтобы поверхность контакта на них была максимально развита. Соответственно, классификация диффузионного оборудования основана на принципе образования межфазной поверхности.

Ключевые слова: рабочая смесь, ротационный аппарат, устройства, дизельное топливо, ацетон, моторное масло, твердые частицы, металлические примеси, нанос, сорбция, адсорбция, температура.

B. B. Hakimov¹, S. Alikulov¹, F. Ravshanov¹, N. F. Kapustin²

¹NRU “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”
Tashkent, Uzbekistan
E-mail: khakimovbakhodir16@gmail.com

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus

DEVICE WITH ROTARY APPARATUS FOR PRODUCING DIESEL FUEL

Abstract. The article presents the theory of mass transfer in a device designed to produce a high-quality mixture of diesel and bioethanol fuel, which heats the fuel to a certain temperature and creates a high-quality mixture. Devices for mass transfer processes must be designed in such a way that the contact surface on them is maximally developed. Accordingly, the classification of diffusion equipment is based on the principle of interfacial surface formation.

Keywords: working mixture, rotary apparatus, devices, diesel fuel, acetone, motor oil, solid particles, metal impurities, sediment, sorption, adsorption, temperature.

Введение

При неполном насыщении силы, действующие на жидкость со стороны скелета мелких твердых частиц, – силы сорбции и адсорбции имеют тот же порядок, что и сила тяжести, а при малой вязкости и являются преобладающими. Большую роль также начинают играть силы, возникающие под действием температурного градиента, градиента концентрации, растворенных в масле веществ и др. Определяющей характеристикой процессов массопередачи, протекающих в трехфазных потоках, является взаимодействие фаз, от которого зависит величина межфазной поверхности.

Основная часть

Аппараты для проведения процессов массопередачи должны конструироваться так, чтобы в них максимально развивалась поверхность контакта. В соответствии с этим в основу классификации диффузионной аппаратуры положен принцип образования межфазной поверхности [1, 2] (рис.1). Классификация предусматривает как геометрические особенности аппарата, так и создаваемую в нем гидродинамическую обстановку. Так, в аппаратах с фиксированной поверхностью, например,

в пленочных колоннах с орошаемыми стенками, в режимах, близких к захлебыванию, фиксация поверхности стенкой нарушается. Однако основная тенденция при конструировании таких аппаратов – создать тонкую пленку жидкости на поверхности стенок – остается доминирующей.

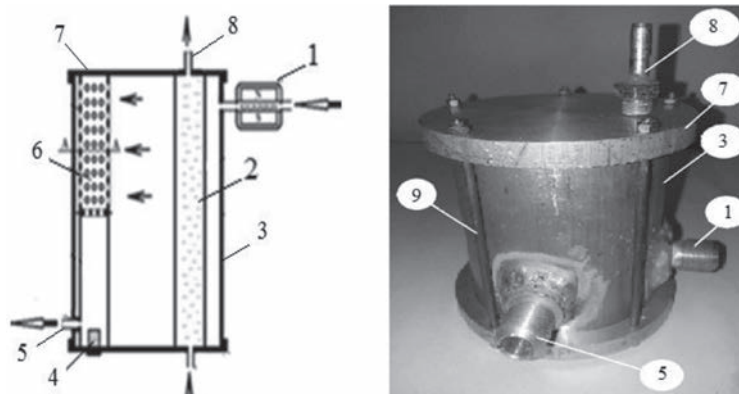


Рис. 1. Диффузионный аппарат с дополнительным магнитным устройством:
1 – магнитное устройство; 2 – тепловая трубка; 3 – корпус; 4 – фильтр; 5 – штуцер; 6 – щелевая трубка;
7 – крышка; 8 – тепловой штуцер

Согласно этой классификации, наиболее распространенными в автомобильной промышленности являются устройства для производства высококачественных смесей с использованием магнитного поля, регулирующего вязкость.

Процесс взаимодействия и протекания двух фаз, т.е. фаз дизельного топлива и фаз биоэтанола через внутреннюю щелевую трубку, показан на рис.1. Перенос вещества через щелевую трубку биоэтанола и дизельного топлива осуществляется в соответствии с диффузионным уравнением. Если в диффузионное устройство подводится дополнительная энергия с мешалками, магнитным устройством или ротационными аппаратами, то в фактор f должна быть введена величина, учитывающая этот дополнительный подвод энергии (рис. 1). Дополнительный подвод энергии \mathcal{E} , выраженный через работу, сообщаемую дизтопливу в единице объема, может быть представлен в виде соотношения дополнительной энергии:

$$\mathcal{E} = \frac{Ln_m^2 d^2}{gHD^2}, \quad (1)$$

где L – количество обрабатываемого дизельного топлива, кг; n_m – число оборотов рабочего органа в 1 сек; d – определяющий размер рабочего органа, м; H – высота зоны контакта, м; D – диаметр аппарата, м; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Фактор гидродинамического состояния двухфазной системы для аппаратов с дополнительным подводом энергии рассчитывается по уравнению

$$f = \frac{\Delta p_{z-ж} + \mathcal{E} - \Delta p_z}{\Delta p_z}. \quad (2)$$

Для максимального протекания смеси дизтоплива и этанола проведем гидравлический расчет щелевой трубки. Мы используем следующее уравнение для расчета количества отверстий для каждой пластины [3, 4]:

$$X = \frac{0,785D^2 F_c}{100l_0 b} = \frac{1}{n} \left(\sqrt{n^2 - 1} + \dots + \sqrt{n^2 - (n^2 - 1)} \right), \quad (3)$$

где D – диаметр колонны, м; F_c – свободное сечение тарелки, м²; b – ширина щели, м; l_0 – длина щели, расположенной по диаметру тарелки, м; n – число щелей. Общую длину l всех щелей определяют из соотношения [4]:

$$l = \frac{\pi D^2 F_c}{4b}. \quad (4)$$

Шаг между щелями вычисляют по формуле:

$$\frac{l_0}{n} = c + b, \quad (5)$$

где c – ширина промежутка между соседними щелями, м. Решение уравнения (1) относительно числа отверстий (рис. 2) приведено в табл. 1.

Таблица 1. Количество отверстий в пластине

n	X	n	X	n	X
1	0,000	11	8,042	21	15,915
2	0,866	12	8,832	22	16,713
3	1,688	13	9,620	23	17,500
4	2,498	14	10,411	24	18,287
5	3,296	15	11,200	25	19,074
6	4,093	16	11,982	26	19,860
7	4,887	17	12,776	27	20,648
8	5,679	18	13,564	28	21,432
9	6,471	19	14,352	29	22,219
10	7,257	20	15,138	30	23,005

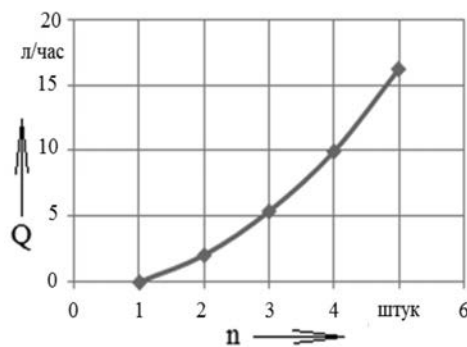


Рис. 2. График зависимости проходимости от количества щелей в пластинке

Применительно к щелевой трубке сопротивление при движении однофазного потока может быть выражено:

$$\Delta P_{\Gamma} = \xi_{Tp} \frac{\delta_{\Gamma}}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\vartheta^2 \gamma}{2g}, \quad (6)$$

где ΔP_{Γ} – сопротивление щелевой трубки, кг/м²; ξ_{Tp} – коэффициент трения, рассчитываемый для щелей или отверстий; δ_{Γ} – толщина стенки трубки, м, $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр щелевой трубки, м; ϑ – скорость потоков в щелях трубки, м/сек; γ – удельный вес потока, кг/м³; g – ускорение силы тяжести, м/сек².

В соответствии с определением фактора гидродинамического состояния двухфазной системы f сопротивление орошаемой провальной трубки определяется по зависимости

$$\Delta P_{\Gamma-\text{жс}} = \Delta P_{\Gamma} (1 + f). \quad (7)$$

Фактор f подсчитывается в соответствии с режимом по одному из уравнений: для барботажного режима

$$f = 90 \left(\frac{\delta_T}{b} \right)^{1,5} \left(\frac{L}{G} \right)^{0,52} \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right)^{0,26}; \quad (8)$$

для режима эмульгирования

$$f = 2,5 \cdot 10^3 \left(\frac{L_{CT}}{L} \right)^{1,7} \left(\frac{L}{G} \right)^2 \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right), \quad L_{CT} = 8060 \frac{\text{кг} \times \text{ч}}{\text{м}^2}; \quad (9)$$

для факельного режима:

$$f = \frac{9}{F_c} \left(\frac{D_{CT}}{D} \right)^{1,5} \left(\frac{L}{G} \right)^{0,82} \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right)^{0,41}, \quad D_{CT} = 100 \text{ мм}; \quad (10)$$

для точки повисания (для трубок диаметром ≤ 114 мм при $\left(\frac{L}{G} \right)^2 \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right) > 10^{-3}$)

$$f = 160 \left(\frac{a_{CT}}{a} \right)^{1,5} \left(\frac{L}{G} \right)^{0,82} \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right)^{0,41}, \quad a_{CT} = \text{мм}; \quad (11)$$

для точки инверсии фаз

$$f = 63 \left(\frac{a_{CT}}{a} \right)^3 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,52} \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right)^{0,26}. \quad (12)$$

Линейная скорость биоэтанола в точке повисания для тарелок диаметром > 120 мм и для тарелок меньшего диаметра при значениях величины

$$\left(\frac{L}{G} \right)^2 \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right) < 10^{-3}$$

рассчитывается по уравнению [5–7]

$$\lg \left(\frac{\vartheta^2}{g F_c^2 b} \cdot \frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \mu_{жс}^{0,16} \right) = 0,70 - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right)^{\frac{1}{8}}.$$

Для других режимов используется уравнение:

$$\lg \left(\frac{\vartheta^2}{g F_c^2 b} \cdot \frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \mu_{жс}^{0,16} \right) = 0,10 - 2,45 \left(\frac{L}{G} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\gamma_\Gamma}{\gamma_{жс}} \right)^{\frac{1}{8}}. \quad (13)$$

Для ориентировочного расчета коэффициента массопередачи можно использовать [4] в трубках малого диаметра (до 57 мм) и при абсорбции хорошо растворимых газов и ректификации уравнение:

$$\frac{K_{oy} m}{3600 \vartheta_0} = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{Re}_\Gamma^{1,2} \left(\frac{b_{cm}}{b} \right) (1 + f), \quad (14)$$

где K_{oy} – общий коэффициент массопередачи, отнесенный к площади трубки, м/ч; ϑ_0 – скорость газа (пара) в щелях, м/сек; $b_{cm} = 3$ мм; $\text{Re}_\Gamma = \frac{\vartheta_0 d_s \gamma_\Gamma}{\mu_\Gamma}$, $d_s = 2b$; m – коэффициент Генри (m выражается при абсорбции в килограммах абсорбируемого вещества на 1 кг абсорбента, а при ректификации – в килограммах высококипящего компонента на 1 кг низкокипящего); f – фактор, который подсчитывается в зависимости от режима работы по уравнениям (6)–(10).

Выводы

Определяющей характеристикой процессов массопередачи, протекающих в трехфазных потоках, является взаимодействие фаз, от которого зависит величина межфазной поверхности.

При использовании подогрева топливной смеси дизельного топлива и биоэтанола в энергетических транспортных средствах можно снизить расход топлива на 6–7%, увеличить мощность двигателя на 6–8%, повысить качество работы и производительность на 2,5%.

Список использованных источников

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 07.02.2017 № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lex.uz/docs/3107036>.
2. Худайкулов, С. И. Математические модели гидравлического удара в гидросооружениях и производственных комплексах / С. И. Худайкулов, Д. С. Яхшибоев. – Ташкент, 2017. – 162 с.
3. Кафаров, В. В. Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1972. – С. 37–42, 373–380.
4. Хамидов, А. А. Теория струй многофазной вязкой жидкости / А. А. Хамидов, С. И. Худойкулов. – Ташкент : Фан, 2005. – 120 с.
5. Зелинский, Ю. Г. Массопередача в химической промышленности / Ю. Г. Зелинский, В. В. Кафаров // Химическая промышленность. – 1961. – № 2. – С. 204–206.
6. Математическая модель установления параметров устройства для получения качественной смеси дизельного топлива и биоэтанола / Б. Б. Хакимов [и др.] // Механика муаммолари. – 2017. – № 4. – С. 81–85.
7. Качество топлива и надежность автотракторных двигателей / Г. В. Крамаренко [и др.]. – Ташкент : ФАН РУз, 1992. – С. 198–199.

Г. С. Горин¹, Д. М. Ганусевич²¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь²Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь**РАЗРАБОТКА ОСНОВ НЕТРАДИЦИОННОЙ ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ТРАКТОРА И НАВЕСНОГО СЕЛЬХОЗОРУДИЯ**

Аннотация. Изложены предпосылки для уточнения теории взаимодействия трактора и навесного сельхозорудия. Получены уравнения кинематики (связи малых взаимных продольно-угловых перемещений трактора и навесного сельхозорудия) и их динамики в результате названных перемещений.

Ключевые слова: трактор, балластирование, эксплуатационные настройки МТА, навесное сельхозорудие.

G. S. Gorin¹, D. M. Ganusevich²¹EI "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus²Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus**DEVELOPMENT OF THE FUNDAMENTALS OF A NON-TRADITIONAL THEORY
OF INTERACTION OF A TRACTOR AND MOUNTED AGRICULTURAL IMPLEMENTS**

Abstract. The prerequisites for clarifying the theory of interaction between a tractor and mounted agricultural implements are outlined. Equations of kinematics (relationships between small mutual longitudinal-angular movements of the tractor and mounted agricultural implements) and their dynamics as a result of these movements are obtained.

Keywords: tractor, ballasting, operational settings of a machine-tractor unit, mounted agricultural implements.

Часть I. Предпосылки для уточнения традиционной теории

Результаты оценки энергетической эффективности одного и того же МТА существенно зависят от эксплуатационных настроек последнего.

Пример 1. Приводим экспериментальные данные по изучению влияния балластирования трактора «Беларус 3022» в агрегате с навесным глубокорыхлителем КГР-40, опыты выполнены Белорусской МИС [1] с 8-кратной повторностью, чтобы исключить случайные факторы, влияющие на результаты. Масса серийных грузов составила 1350 кг. Их навешивали на трактор спереди.

Установлено, что при работе трактора без балластных грузов с распределением веса в статике на передние колеса $G_{12} = 23,5$ кН и на задние $G_{34} = 123,3$ кН названный МТА работал со скоростью $v = 5,5$ км/ч. При этом достигнута производительность $W = 2,2$ га/ч, а расход топлива на гектар составил 16,73 кг/га. При работе с балластными грузами и распределением веса $G_{12} = 48,8$ кН, $G_{34} = 111,50$ кН достигнуты существенно лучшие результаты: $v = 6,4$ км/ч, $W = 2,56$ га/ч, расход топлива на гектар 15,08 кг/га.

Результирующее буксование при балластировании трактора передненавешенными грузами составило $\delta = 9\%$, при работе без балластирования $\delta = 18,8\%$. В то же время при работе с полунавесными орудиями балластирование трактора передненавешенными грузами незначительно снижало буксование его колес.

Пример 2. Эксперименты, выполненные в Литовском университете сельского хозяйства [2], показали, что на буксование трактора МТЗ-82 в агрегате с плугом ПЛН-3-35 большое влияние оказывают угол α_{CD} наклона верхней тяги НУ и перемещения опорного колеса плуга вдоль рамы:

максимальное буксование $\delta_{\max} = 27\%$ трактор имел, если угол наклона верхней тяги мал $\alpha_{CD} = 7^\circ$, а продольное расстояние от оси подвеса B до оси опорного колеса минимальное $l_{nl} = 0,55$ м; промежуточное буксование $\delta_{np} = 23\%$ получено при сочетании $\alpha_{CD} = 16^\circ$ и $l_{nl} = 0,55$ м; минимальное буксование $\delta_{\min} = 9\%$ трактор имел, если угол наклона верхней тяги максимальный $\alpha_{CD} = 16^\circ$, а опорное колесо отодвинуто на максимальное расстояние от оси подвеса $l_{nl} = 2,35$ м.

Пример 3. В работе [3] приводятся результаты агрокинематического анализа взаимных перемещений (дифферентов) гусеничного трактора и сельхозорудия, а также звеньев НУ. Установлено, что поломки опорных катков, раскосов и тяг НУ возникали из-за несовершенства кинематики НУ. Предлагается снизить негативные последствия дифферентов трактора, для чего следует предусмотреть двухсторонний компенсатор-амортизатор, позволяющий изменять длину верхней тяги НУ. Устранение «избыточных» связей между трактором и сельхозорудием способствует повышению тягового КПД и снижению усилий в звеньях НУ. Признаком «избыточных» связей является, например, появление усилий сжатия в верхней тяге НУ. Тем не менее, очевидно, что в последнем эксперименте нормальная нагрузка на опорное колесо орудия минимальная, а взаимные перемещения трактора и сельхозорудия в продольно-вертикальной плоскости возможны (не «стеснены»).

Пример 4. Компания Lemken разработала 8-корпусный гибридный плуг Lemken Vari Tansanit 8 со встроенным в верхнюю тягу гидроцилиндром [4]. В рабочем положении в названном гидроцилиндре создают давление подпора, что позволяет догрузить трактор массой плуга 1,6 т, при этом требуется балластировать трактор спереди грузом 1,5–2,0 т.

Таким образом, из экспериментальных данных, полученных из независимых источников, следует, что путем конструктивного совершенствования эксплуатационных настроек МТА (установкой надлежащего балласта, угла наклона верхней тяги НУ и перемещением опорного колеса плуга вдоль рамы, совершенствованием кинематики НУ, догрузкой колес трактора встроенным в верхнюю тягу гидроцилиндром) можно достичь существенного улучшения тягово-энергетических показателей МТА.

Объяснить столь существенные энергетические эффекты, следующие из приведенных экспериментальных данных, невозможно, исходя из известной традиционной теории [5, 6, 7]. Поэтому потребовалось разработать основы нетрадиционной теории силового взаимодействия трактора и навесного сельхозорудия, которая учитывает их малые взаимные перемещения.

Основные положения нетрадиционной теории взаимодействия трактора и сельхозорудия с учетом малых взаимных перемещений приведены в наших работах [5–12].

На рис. 1 приведены схемы сил, действующих на навесной МТА в продольно-вертикальной плоскости при установившемся движении с дифферентом корпуса трактора назад: a – с растяжением верхней тяги навески, если $\alpha_{CD} = 20^\circ$ и $\psi > 0$; b – со сжатием верхней тяги, если $\alpha_{CD} = 10^\circ$ и $\psi < 0$.

Координатные оси проведены: вертикальная ΣZ через ось подвеса B и направлена вниз, горизонтальная ΣX – через точку контакта опорных колес трактора и направлена вперед. Начало оси координат принято в точке их пересечения.

Малые взаимные перемещения обозначены:

– трактора:

z – вертикальные центров упругости подвески (ЦУП) Названные перемещения ЦУП z вызваны упругими перемещениями подвески и/или шин (ЦУШ);

φ – угол поворота (дифферента) корпуса вокруг ЦУП. Названный угол дифферента корпуса трактора назад вследствие прогибов шин и переезда неровностей макро- и микрорельефа может достигнуть 3° ;

– навесного орудия:

q_{nl} – вертикальные опорного колеса, причем, через q_{nl}^0 обозначена осадка почвы при движении по ровной поверхности, а через Δq_{nl} – дополнительная осадка почвы неровности;

ψ – угол поворота рамы сельхозорудия вокруг оси опорного колеса.

Кроме перечисленных параметров на показатели силового взаимодействия трактора и навесного сельхозорудия существенно влияют расположение центров вращения тяг навески (ЦВТН) – точки пересечения в продольной плоскости осей верхней и нижних тяг, а также центра упругости

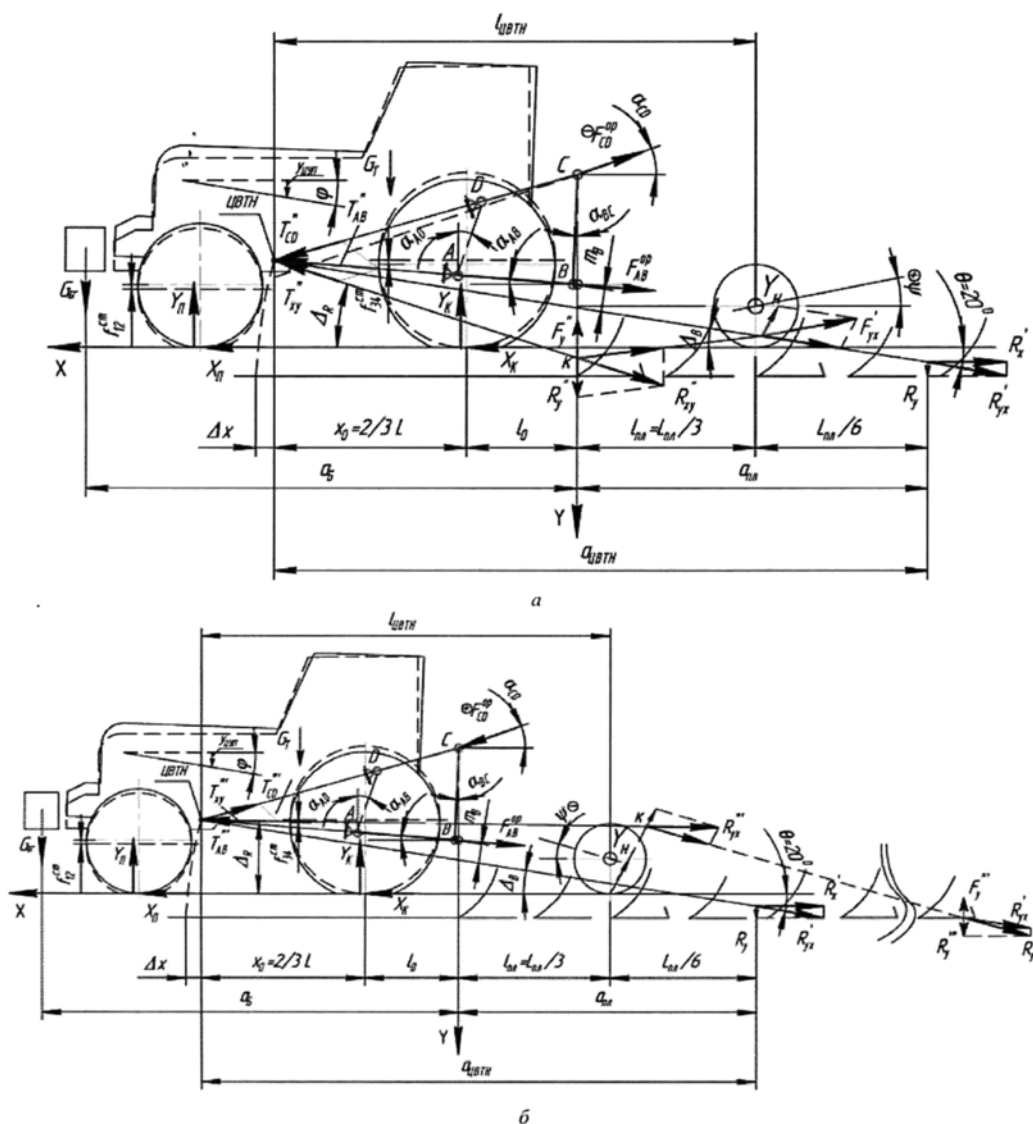


Рис. 1. Схема сил, действующих на навесной МТА в продольно-вертикальной плоскости при установившемся движении с дифференлом корпуса трактора назад:
 а – с растяжением верхней тяги навески, если $\alpha_{CD} = 20^\circ$ и $\psi > 0$; б – со сжатием верхней тяги, если $\alpha_{CD} = 10^\circ$ и $\psi < 0$

подвески (ЦУП) – точка, вокруг которой поворачивается корпус трактора и перемещается по нормали к опорной поверхности. Перемещения ЦУП вызваны упругими перемещениями подвески и шин. Колесные тракторы обычно не имеют подвески. Поэтому более уместно обозначить данную точку как центр упругости шин (ЦУШ).

При прогибах шин колес ЗВМ $f_3 \approx +0,05$ дифференл корпуса трактора назад составит

$$\varphi = \frac{f_{СП} - f_{СТК}}{L} = \frac{0,03\text{ м} - 0,05\text{ м}}{3\text{ м}} \approx -2^\circ,$$

а вертикальное перемещение тягово-сцепного устройства (ТСУ) $f_{ТСУ} = 0,05 \dots 0,06 \text{ м}$.

Часть II. Кинематика взаимных перемещений трактора и навесного сельхозорудия

Вывод и анализ уравнения кинематических связей. В аналитической механике подобные задачи решают, используя метод и коэффициенты Лагранжа. Обозначим длины тяг и стойки НУ r_i и углы их наклона α_i (рис. 2) соответственно: r_{DC} и α_{DC} – верхней тяги; r_{BC} и α_{BC} – стойки; r_{AB} и α_{AB} – нижней тяги.

Обозначим также через r_{AD} длину отрезка, соединяющего шарниры крепления тяг НУ на тракторе, а через α_{AD} – угол его наклона к вертикали. В соответствии с рис. 2 запишем проекции длин отрезков r_{AB} – нижней тяги, r_{DC} – верхней тяги; r_{BC} – стойки, r_{AD} – отрезка, соединяющего шарниры крепления тяг НУ на тракторе, на продольную и вертикальные оси:

$$\left. \begin{aligned} r_{AD} \cos \alpha_{AD} + r_{DC} \sin \alpha_{DC} &= r_{BC} \cos \alpha_{BC} + r_{AB} \sin \alpha_{AB} \\ r_{AD} \sin \alpha_{AD} + r_{DC} \cos \alpha_{DC} &= r_{BC} \sin \alpha_{BC} + r_{AB} \cos \alpha_{AB} \end{aligned} \right\}.$$

Отсюда выразим тангенс угла наклона отрезка AD :

$$\operatorname{tg} \alpha_{AD} = \frac{r_{BC} \sin \alpha_{BC} + r_{AB} \cos \alpha_{AB} - r_{DC} \cos \alpha_{DC}}{r_{BC} \cos \alpha_{BC} + r_{AB} \sin \alpha_{AB} - r_{DC} \sin \alpha_{DC}}. \quad (1)$$

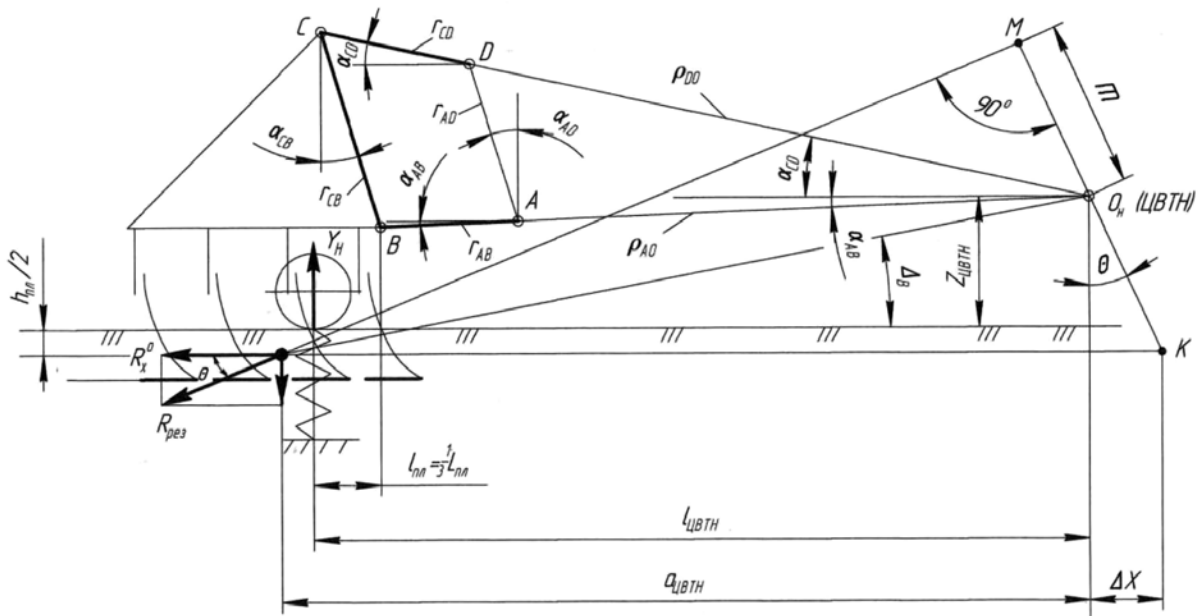


Рис. 2. Схема заднего навесного устройства (ЗНУ) – (направление движения вправо)

Продифференцируем полученные уравнения и полагаем, что приращения углов α_{BC} и α_{AD} равны малым углам ϕ и ψ :

$$d\alpha_{AD} = \phi, \quad d\alpha_{BC} = \psi, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} -r_{AD} \sin \alpha_{AD} d\alpha_{AD} + r_{DC} \cos \alpha_{DC} d\alpha_{DC} &= -r_{BC} \sin \alpha_{BC} d\alpha_{BC} + r_{AB} \cos \alpha_{AB} d\alpha_{AB} \\ r_{AD} \cos \alpha_{AD} d\alpha_{AD} + r_{DC} \sin \alpha_{DC} d\alpha_{DC} &= -r_{BC} \cos \alpha_{BC} d\alpha_{BC} + r_{AB} \sin \alpha_{AB} d\alpha_{AB} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где $d\alpha_{AB}$ – приращение угла наклона нижней тяги НУ.

Введем обозначения

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{r_{BC} \cos(\alpha_{DC} + \alpha_{BC})}{r_{AD} \cos(\alpha_{DC} + \alpha_{AD})}, \\ K_2 &= \frac{r_{AB} \sin(\alpha_{DC} - \alpha_{AB})}{r_{AD} \cos(\alpha_{DC} + \alpha_{AD})}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Тогда, исключая члены системы уравнений, содержащие $d\alpha_{DC}$ запишем

$$\phi = K_1 \psi + K_2 d\alpha_{AB}. \quad (5)$$

Изменяя положение ЦВТН, например, путем перестановки точки D (рис. 2) крепления верхней тяги НУ на тракторе, можно изменять продольную координату $l_{ЦВТН}$ – расстояние до оси опорного колеса навесного орудия. Чем больше $l_{ЦВТН}$, тем меньше влияют на нормальную нагрузку V_H относительные перемещения трактора и сельхозорудия.

Если колесо орудия движется со смятием почвы без отрыва от поверхности поля, то приращение угла $d\alpha_{DC}$

$$d\alpha_{AB} = \frac{(z - \varphi l_{AЦУП}) - (q_{ПЛ} + \psi l_{ПЛ})}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}. \quad (6)$$

Подставив выражение для $d\alpha_{AB}$ в предыдущую формулу (6), получим уравнение связи перемещений трактора и сельхозорудия:

$$f(\varphi, \psi, z, q_{ПЛ}) = \varphi \left[1 + K_2 \times \frac{l_{AЦУП}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] - \psi \left[K_1 - K_2 \frac{l_{ПЛ}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] + (q_{ПЛ} - z) \left[\frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] = 0. \quad (7)$$

Здесь продольные расстояния: $l_{AЦУП}$ – от ЦУП до переднего шарнира нижней тяги (точка А); $l_{ПЛ}$ – от заднего шарнира нижней тяги (точка В) до опорного колеса сельхозорудия.

Из треугольников $O_{цветн}AB$ и $O_{цветн}CD$ (рис. 2) по теореме синусов получим:

$$\frac{r_{AD}}{\sin(\alpha_{DC} + \alpha_{AB})} = \frac{\rho_{АОцветн}}{\sin(90^\circ - \alpha_{DC} - \alpha_{AD})} = \frac{\rho_{АОцветн}}{\cos(\alpha_{DC} + \alpha_{AD})}. \quad (8)$$

Откуда

$$\frac{1}{\rho_{АОцветн}} = \frac{\sin(\alpha_{DC} - \alpha_{AB})}{r_{AD} \cos(\alpha_{DC} + \alpha_{AD})}. \quad (9)$$

Преобразуем выражение (9):

$$\frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = \frac{\sin(\alpha_{DC} - \alpha_{AB})}{r_{AD} \cos(\alpha_{DC} + \alpha_{AD}) \cos \alpha_{AB}} = \frac{1}{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB}}.$$

Расстояние $\rho_{АОцветн}$ – от точки А до ЦВТН.

Тогда уравнение связи приобретает следующий вид:

$$f(\varphi, \psi, z_{ЦУП}, q_{ПЛ}) = \varphi \left(1 + \frac{l_{AЦУП}}{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB}} \right) - \psi \left(K_1 - \frac{l_{ПЛ}}{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB}} \right) + \frac{q_{ПЛ} - z_{ЦУП}}{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB}} = 0. \quad (10)$$

$$K_1 = \frac{\rho_{ОцветнВ}}{\rho_{АОцветн}} = \frac{\rho_{ОцветнА} + r_{AB}}{\rho_{АОцветн}}.$$

Здесь

$$K_1 = \frac{\rho_{ВОцветн} \rho_{ОВ}}{\rho_{АОцветн}} = \frac{\rho_{АОцветн} + r_{AB}}{\rho_{АОцветн}}.$$

Из уравнения связи (10) следует, что воздействие трактора на сельхозорудие наименьшее, если выражение при угле дифферента трактора φ стремится к нулю:

$$1 - \frac{l_{AЦУП}}{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB}} = \frac{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB} - l_{AЦУП}}{\rho_{АОцветн} \cos \alpha_{AB}}.$$

Выражение в числителе равно нулю, если ЦВТН и ЦУП совпадают.

Воздействие орудия на трактор наименьшее, если D в уравнении (10) выражение (11) при ψ стремится к нулю

$$K_1 - \frac{l_{ПЛ}}{\rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB}} = \frac{\rho_{OB}}{\rho_{OA}} = \frac{\rho_{АОцетн} + r_{AB}}{\rho_{АОцетн}} - \frac{l_{ПЛ}}{\rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB}} = \frac{(\rho_{АОцетн} + r_{AB}) \cos \alpha_{AB} - l_{ПЛ}}{\rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB}}. \quad (11)$$

Выражение в числителе равно нулю, если продольное расстояние от оси подвеса (точка В) до оси опорного колеса орудия равно аналогичному расстоянию от В до ЦВТН.

Выделив члены, содержащие $\rho_{АО} \cos \alpha_{AB}$, уравнение связи (10) перепишем в следующем виде

$$(q_{ПЛ} - z) - \phi l_{АЦУП} + \psi L_{нл} = \rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB} (\psi K_1 - \phi). \quad (12)$$

На рис. 2 проведем дополнительные построения. Проведем через ЦВТН перпендикуляр к направлению действия реакции $R_{рез}$ и выразим:

– продольное расстояние:

$$\Delta x = \frac{z_{ЦВТН}}{\operatorname{tg}(\theta \pm \psi)},$$

– плечо действия заглубляющего момента:

$$m = (a_{цетн} + \Delta x) \sin \theta - \frac{z_{ЦВТН}}{\sin(90 - \theta \pm \psi)}.$$

Расчет начальных условий. В статике, если тяговое усилие и скорость движения ($P_{КР} = 0$, $V = 0$), корпус трактора приобретает некоторые начальные отклонения:

– вертикальное перемещение ЦУП $z = z_0 = f_{СТ}$,

– дифферент $\phi = \phi_0$,

– угол регулируют, чтобы $\psi = \psi_0$ – из условия равномерности глубины хода корпусов плуга,

$\Delta q_{ПЛ}$ – дополнительная деформация почвы под воздействием сил веса и тяговой нагрузки при переезде неровности.

Поворот рамы вокруг опорного колеса вызывает неравномерность глубины почвообработки по длине сельхозорудия: $\Delta h_{нл} = L_{нл} \sin \psi$.

Из условия равномерности хода по глубине корпус сельхозорудия обычно устанавливают путем регулировок горизонтально ($\psi^0 = 0$). Тогда в статике

$$q_{нл}^0 = z^0 - \phi^0 (\rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB} - l_{АЦУП}).$$

Из последней формулы следует, что если $\rho_{АО} \cos \alpha_{AB} \approx l_{АЦУП}$, т. е. ЦВТН совпадает с ЦУП, то угловые перемещения корпуса трактора не вызывают поворот корпуса сельхозорудия.

Если $z_0 = 0$, $\phi^0(-)$, $\rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB} - l_{АЦУП} > 0$, то $\Delta q_{ПЛ}^0 < 0$, опорное колесо навесного орудия разгружается.

Если $z_0 = 0$, $\phi^0(+)$, $\rho_{АОцетн} \cos \alpha_{AB} - l_{АЦУП} < 0$, то $\Delta q_{ПЛ}^0 > 0$, опорное колесо навесного орудия догружается.

При $\psi = 0$ уравнение связи запишем в следующем виде:

$$z^0 - \phi^0 \left(\frac{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}{K_2} - l_{АЦУП} \right) - (q_{ПЛ} - \Delta q_{ПЛ}^0) = 0. \quad (13)$$

Для того, чтобы при движении с тяговой нагрузкой, когда $\phi = 0$, корпус орудия $\psi = 0$ выровнялся в статике, корпус сельхозорудия необходимо повернуть вокруг оси опорного колеса на угол ψ^0 :

$$\psi^0 = \frac{\phi^0 \left(1 + \frac{K_2 l_{АЦУП}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right) - \frac{K_2 (z_{cm}^0 - q_{нл}^0)}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}}{K_1 - \frac{K_2 l_{нл}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}}.$$

С учетом начальных условий перепишем уравнение связи в следующем виде:

$$(\varphi - \varphi^0) \left[1 + K_2 \times \frac{L_{АЦМП}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] - (\psi - \psi^0) \left[K_1 - K_2 \frac{L_{пл}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] + (q_{ПЛ} - z) \left[\frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] = 0. \quad (14)$$

В действительности регулировку горизонтальности и высоты пахоты навесного орудия производят при статических дифферентах трактора и $\varphi^0 \neq 0$, $\psi^0 = 0$.

Поэтому при дифференте трактора $\varphi - \varphi^0$, корпус орудия получит дифферент ψ^0 назад.

Список использованных источников

1. Специальные испытания по оценке эффективности использования передних балластных грузов тракторов марки «БЕЛАРУС-2522ДВ» и «БЕЛАРУС-3022ДВ»: отчет № 129Б8/1 / ГУ «Белорусская МИС». – 30.10.2008. – 21 с.
2. Якулявичюс, А. Зависимость буксования ведущих колес трактора от установки опорного колеса плуга / А. Якулявичюс // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 8. – С. 23–25.
3. Огрызков, Е. П. Агрокинематический анализ навесных систем «трактор – плуг» / Е. П. Огрызков, П. В. Огрызков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 12. – С. 15–17.
4. Такой тяжелый и все-таки такой легкий. Испытания плуга Lemken Vari Tansanit 8 // Современная с.-х. техника и оборудование. – 2007. – № 3. – С. 34–35.
5. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д. А. Чудаков. – М.: Агропромиздат, 1972. – 382 с.
6. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1967. – 577 с.
7. Тракторы: Теория: учебник. / В. В. Гуськов [и др.]: под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
8. Горин, Г. С. Влияние малых взаимных перемещений трактора и навесного сельхозорудия на тяговую и общую динамику их взаимодействия / Г. С. Горин, А. В. Захаров, А. В. Ващула // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2009. – № 4. – С. 97–107.
9. Горин, Г. С. Влияние малых взаимных перемещений трактора и полунавесного, прицепного сельхозорудия на тяговую и общую динамику их взаимодействия / Г. С. Горин, А. В. Захаров, А. В. Ващула // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2010. – № 2. – С. 105–112.
10. Горин, Г. С. Общая и тяговая динамика поддресоренного гусеничного трактора с задненавесным орудием. Кинематика / Г. С. Горин // Агропанорама. – 2013. – № 4. – С. 3–7.
11. Горин, Г. С. Общая и тяговая динамика поддресоренного гусеничного трактора с задненавесным орудием. Динамика / Г. С. Горин // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 2–6.

И. И. Скорб, А. А. Романович

*Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: igor.bgatu@mail.ru*

УЛУЧШЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ УБОРКИ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. Проведен краткий анализ работы гидравлических систем уборки навоза, предложены некоторые технические решения, позволяющие улучшить работу таких систем.

Ключевые слова: навоз, расслоение, влажность, гомогенизация, мешалка, лопасть.

I. I. Skorb, A. A. Romanovich

*Belarusian State Agrarian Technical University
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: igor.bgatu@mail.ru*

IMPROVING THE FUNCTIONING OF HYDRAULIC SYSTEMS FOR MANURE REMOVAL IN LIVESTOCK ENTERPRISES

Abstract. A brief analysis of the operation of hydraulic manure cleaning systems was carried out, some technical solutions were proposed to improve the operation of such systems.

Keywords: manure, stratification, moisture, homogenization, agitator, blade.

Введение

Производство продукции животноводства на крупных комплексах с использованием промышленной технологии имеет некоторые негативные последствия. Высокая концентрация животных в одном месте приводит к большому скоплению навоза и стоков на относительно небольшой территории. Фермы и комплексы являются потенциальными загрязнителями почвы и водных источников как органическими, так и биогенными элементами. Скопление большого количества навоза оказывает непосредственное влияние на качество воздуха окружающей среды, водных ресурсов, развитие флоры и фауны, загрязняет почву семенами сорняков, распространяет неприятные запахи. Между тем навоз является ценным органическим удобрением и главным поставщиком минеральных веществ, которые необходимы для роста и развития растений. Поэтому на фермах и комплексах необходимо использовать технологии и оборудование, позволяющие уменьшить отрицательное влияние навоза на окружающую среду.

Выбор технологии удаления и утилизации навоза зависит главным образом от системы содержания животных и физико-механических и реологических свойств навоза. Перевод животноводства на промышленную основу предусматривает в большинстве случаев бесподстилочное содержание животных, что позволяет получать естественные отходы животноводства с высокой удобрительной ценностью.

Гидравлические системы удаления навоза в последние годы получают все большее распространение как наиболее простые и надежные в эксплуатации, позволяющие отказаться от применения трудоемких ручных операций и полностью автоматизировать технологический процесс, связанный с удалением и переработкой бесподстилочного навоза.

Основная часть

Способ самотечного смыва жидкого навоза из животноводческих помещений основывается на его способности течь по дну навозосборного канала в соответствии с его наклоном и даже

растекаться по горизонтальному дну. Система самотечного смыва имеет продольные и поперечные каналы. Первые расположены вдоль животноводческого помещения, вторые – поперек него. Продольные каналы проходят через места возникновения навоза. Сверху они закрыты решетками, сквозь щели которых более жидкий навоз стекает в каналы, а менее жидкий продавливается ногами животных. По дну этих каналов навоз стекает в поперечные каналы, а по ним – во внешние навозосборники и навозохранилища [1].

Расслоение при хранении жидкого навоза усложняет его удаление из каналов самотечной системы. При открытии шибера жидкая фракция быстро уходит, а твердая остается в каналах. Для смыва осадка приходится использовать воду. Таким образом, происходит разбавление его водой и превращение в малоконцентрированные стоки, объем которых в 5–10 раз превышает количество исходного навоза. Это приводит к увеличению объема навозохранилища, к нерациональным транспортным затратам по вывозке в составе стоков воды и потере более половины полученных органических удобрений, а также заиливанию почвы и загрязнению окружающей среды.

Увеличение влажности навоза обуславливает значительное увеличение его объема (рис. 1).

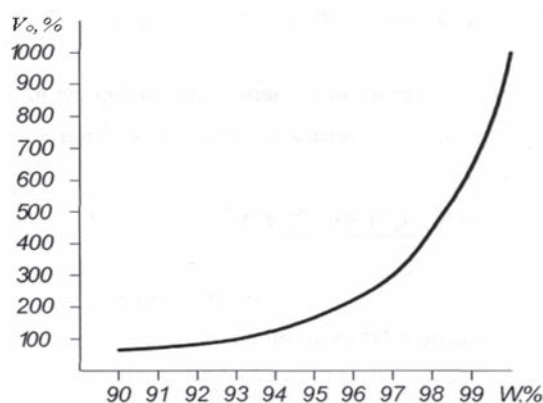


Рис. 1. Увеличение объема выхода навоза в зависимости от его влажности

Поэтому сокращение потребления воды на удаление навоза из животноводческих помещений является одним из наиболее актуальных направлений в решении достаточно сложной экологической проблемы.

Исходя из требований охраны окружающей среды и использования навоза в качестве органического удобрения, наиболее приемлемой технологией удаления должна быть та, которая обеспечивает получение навоза с минимальной влажностью.

Свежий навоз, как правило, не вносится на поля сразу. Исследования свиного бесподстильного навоза показали, что он имеет общую микробную обсемененность от 4,1 до $3,6 \cdot 10^{-9}$, титр кишечной палочки составляет от 10^{-5} до 10^{-7} , спорных анаэробов от 10^{-2} до 10^{-4} [1].

Экологическая опасность навозных стоков состоит не только в наличии патогенных микроорганизмов, гельминтов, но и в длительных сроках выживаемости (от 20 до 475 дней). Навозные стоки вызывают эрозию почвы, загрязнение подземных вод, «цветение» водоемов, отравляют воздух выбросами сероводорода, аммиака. Прежде чем свежий навоз превратится в удобрение, по нормативам он должен пройти длительное микробиологическое обезвреживание [2].

Уничтожение возбудителей болезней и семян сорняков при хранении в навозохранилище происходит в процессе анаэробного сбраживания. Сброженные в анаэробном процессе навозные стоки богаты питательными веществами в легкоусвояемой форме, не имеют запаха и практически дегельминтизированы, что решает проблемы экологического и агрохимического характера.

При хранении навоз свиней и крупного рогатого скота в зависимости от консистенции и содержания свободной воды подвержен расслаиванию (рис. 2). При хранении в навозохранилище жидкий навоз расслаивается на нижний осадочный слой – наиболее плотные включения, менее плотный средний слой – жидкую фракцию и верхний слой – поверхностную корку, которую составляют наименее плотные включения. Скорость расслаивания зависит в первую очередь от влаж-

ности навоза. Особенно интенсивная седиментация и образование осадочного слоя происходят при хранении сильно разбавленного навоза. Это объясняется высокой долей в нем свободной воды и незначительным содержанием коллоидов. Поскольку слои сильно различаются по консистенции, плотности, содержанию минеральных частиц, органического вещества и питательных элементов, перед каждой гидромеханической транспортировкой требуется перемешивание, или гомогенизация. Такое расслоение усложняет выемку навоза и его транспортирование из навозохранилищ [2].

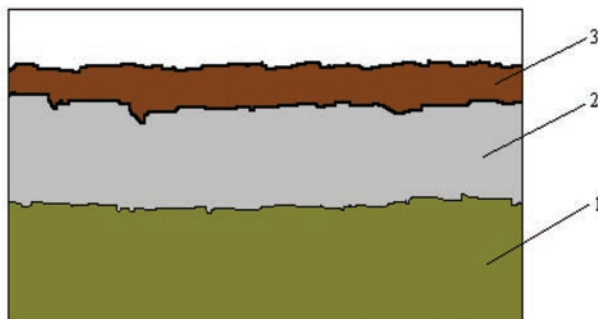


Рис. 2. Расслоение жидкого навоза на фракции:
1 – нижний слой; 2 – средний слой (жидкая фракция); 3 – верхний слой (поверхностная корка)

Перемешивание навоза – обязательный технологический прием, от которого в большей степени зависит надежность работы насосов, цистерн-разбрасывателей и дождевальных установок, полнота его выгрузки из хранилищ и равномерность распределения питательных элементов и органического вещества как в самом навозе, так и на удобряемой площади [2].

Для перемешивания навоза широко используются стационарные погружные миксеры с приводом от электродвигателя (рис. 3). Такие миксеры выпускаются различными зарубежными производителями.

Миксер способен полностью перемешать навоз после завершения периода хранения, а также обеспечивает быстрое и эффективное перемешивание перед внесением удобрений в почву.

Такие миксеры могут быть оборудованы подъемником для возможности перемешивания на разных глубинах резервуара. Они подходят для перемешивания жидкого навоза с небольшим содержанием соломы, остатков кормов.

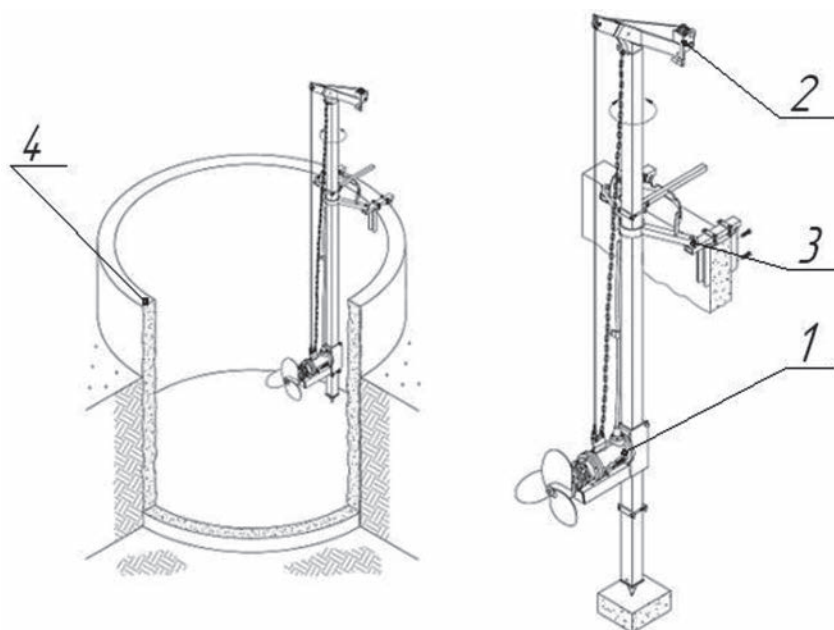


Рис. 3. Миксер для перемешивания навоза: 1 – миксер; 2 – лебедка; 3 – механизм крепления; 4 – навозохранилище

Такие миксеры в основном имеют похожее устройство и состоят из погружаемого трехфазного двигателя, планетарного редуктора и мешалки пропеллерного типа. Подобные устройства используются и для перемешивания навоза в навозных каналах животноводческих помещений, но в таком случае проявляется ряд недостатков: миксер постоянно погружен в жидкий навоз и соответственно подвержен постоянному агрессивному воздействию окружающей среды, возможно попадание навоза внутрь электродвигателя или редуктора через уплотнительные сальники, из-за ограниченного пространства в навозном канале нет возможности оборудовать миксер подъемником как в навозохранилище, в каждом животноводческом помещении необходимо иметь свой миксер, что экономически нецелесообразно.

Одним из недостатков таких миксеров для навоза является то, что при перемешивании навоза в навозохранилище остаются зоны, которые не захватываются создаваемым потоком и не перемешиваются, также не происходит дробление крупных комков, которые могут находиться в навозной массе.

Для устранения выявленного недостатка предлагается установить дополнительный кожух, который крепится на валу миксера за перемешивающим винтом (рис. 4).

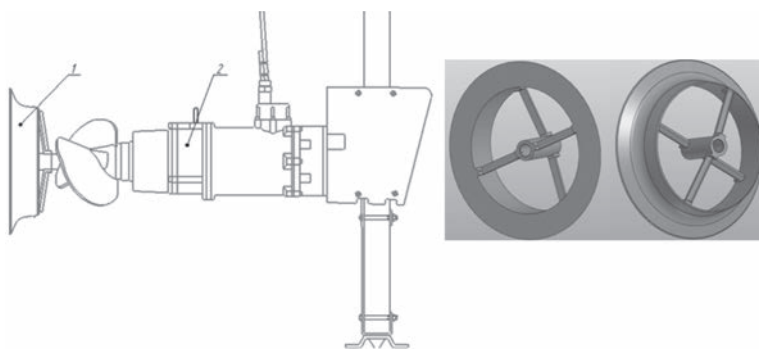


Рис. 4. Миксер с установленным кожухом: 1 – кожух; 2 – миксер

Конструкция кожуха такова, что позволяет направлять потоки навозной массы радиально. Причем кожух закреплен с помощью четырех стоек, которые имеют острые грани, обращенные в сторону винта таким образом, что при нагнетании навозной массы крупные комки, находящиеся в ней, направляются на них и разрушаются при ударе (рис. 5).

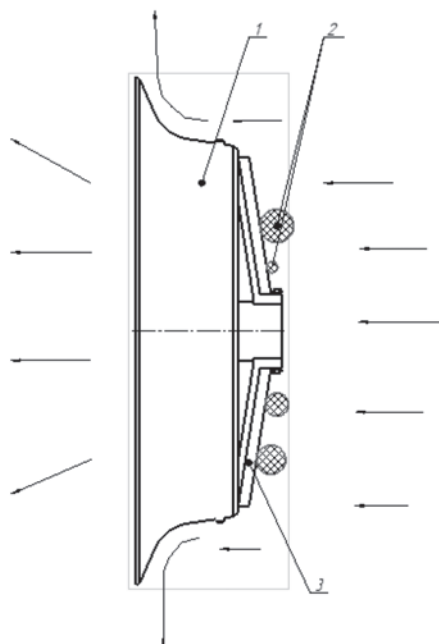


Рис. 5. Схема движения потоков навозной массы по кожуху: 1 – кожух; 2 – крупные комки навозной массы; 3 – стойка

Такая конструкция позволит улучшить качество перемешивания навоза в навозохранилище, обеспечить разрушение крупных комков навозной массы, уменьшить время перемешивания, а следовательно, и затраты электроэнергии на перемешивание, улучшить работу насосов для навоза.

Заключение

Таким образом, применение миксеров и гомогенизаторов для перемешивания навоза как в гидравлических каналах, так и в навозохранилищах позволит экономить энергоресурсы и сократить капитальные вложения при уборке и утилизации навоза, а также улучшить условия труда и экологическую обстановку на животноводческих фермах и комплексах.

Список использованных источников

1. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения. Предисл. и пер. с нем. П. Я. Семенова. – М. : Колос, 1978. – 271 с.
2. Лукашевич, Н. М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета : учеб. пособие / Н. М. Лукашевич. – Мозырь : Белый Ветер, 2000. – 248 с.

А. В. Захаров, И. И. Бондаренко, Д. В. Клоков, И. О. Захарова

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: tractor_av@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ БАЛЛАСТНЫХ ГРУЗОВ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 5

Аннотация. В статье предложена методика и номограммы для определения массы балластных грузов трактора, учитывающая способ агрегатирования, схему приложения тяговой нагрузки (симметричная или несимметричная) и вариант балласта, уже установленного на тракторе.

Ключевые слова: трактор, тягово-сцепные свойства, системы балластирования, нормальные реакции, буксование, производительность.

A. V. Zakharov, I. I. Bondarenko, D. V. Klokov, I. O. Zakharova

EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: tractor_av@mail.ru

FEATURES OF DETERMINATION OF WEIGHT OF BALLAST CARGOES OF TRACTION CLASS 5 WHEEL TRACTOR

Abstract. The article proposes a methodology and nomograms for determining the weight of the tractor ballast cargoes, taking into account the aggregation method, the scheme for applying a traction load (symmetrical or not symmetrical) and the ballast option already installed on the tractor.

Keywords: tractor, traction-coupling properties, ballasting systems, normal reactions, slipping, performance.

Введение

При работе колесных тракторов на рыхлых и переувлажненных почвах значительно снижается сцепление шин с почвой, увеличивается буксование, работа трактора становится неэффективной или вообще невозможной. В Республике Беларусь только дерново-подзолистые заболоченные почвы составляют около 37 % сельскохозяйственных земель.

Основными приемами повышения тягово-сцепных свойств колесных сельскохозяйственных тракторов являются:

- изменение давления воздуха в шинах;
- блокировка дифференциалов ведущих осей;
- установка сдвоенных колес и шин с широким профилем;
- полугусеничный ход;
- применение различных систем балластирования (быстросъемные грузы, заливка жидкости в шины колес).

Из всех перечисленных способов наиболее универсальным с точки зрения распределения веса по осям трактора при работе с любым типом сельскохозяйственной машины является применение различных систем балластирования.

Основная часть

В настоящее время дополнительные наборные балластные грузы устанавливаются:

- в нишу дисков передних и задних колес;
- на заднюю полураму в межколёсном пространстве;

- на подрамнике двигателя в виде проставки;
- на переднем и заднем навесном устройстве.

У некоторых производителей тракторов общая масса балласта может достигать более 20 % эксплуатационной массы трактора. Максимальный вес дополнительных грузов большинство производителей определяет исходя из двух соображений:

- конструктивно-прочностные (возможность размещения и прочность несущих корпусных деталей узлов трансмиссии);
- по критерию управляемости, не менее $0,2G_{tr}$ на управляемую ось (Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 031/2012) [1].

Однако конкретных рекомендаций, для каких типов агрегируемых машин какую массу балластных грузов применять, в руководствах по эксплуатации не приводится.

Масса устанавливаемых балластных грузов должна корректироваться в зависимости от способа агрегирования (навесной, полунавесной или прицепной агрегат) и схемы работы «по краю борозды» (симметричная) или «правые колёса в борозде» (несимметричная), поскольку лишняя масса грузов приведет к росту энергозатрат на перекачивание движителей трактора и потери курсовой устойчивости без существенного снижения буксования.

Также необходимо, чтобы подбор нужной массы балластных грузов был прост и ясен механизатору.

В наших работах [2, 3] рассмотрены особенности тяговой и общей динамики взаимодействия трактора с навесной, полунавесной и прицепной сельскохозяйственной машиной. На основе расчетных схем получены нормальные реакции на передних N_{12} и задних N_{34} колесах трактора с учетом усилий в тягах навесного устройства для различных способов агрегирования. Результаты расчетов были подтверждены проводившимися на базе Белорусской МИС сравнительными испытаниями по оценке эффективности использования балластных грузов [4].

Представим зависимости нормальных реакций на передних N_{12} колесах трактора (например, тягового класса 5 «БЕЛАРУС 3022») и массу съемных балластных грузов G_B от тягового усилия на крюке в виде номограммы. Направление вертикальных осей N_{12} и G_B будет противоположно (рис. 1).

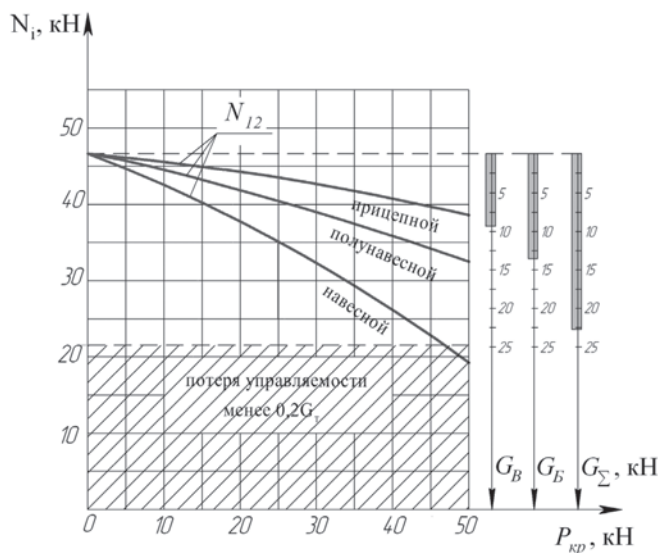


Рис. 1. Номограмма для определения веса балластных грузов при различных способах агрегирования трактора «БЕЛАРУС 3022»

На тракторе «БЕЛАРУС 3022» заводом также рекомендовано заливать водный раствор в шины передних колес 75 % от номинального объема. При шинах передних колес в основной комплектации 600/65R34 масса водного раствора составит 920 кг [5]. На номограмме добавим еще две оси: одну с водным раствором G_B и суммарным балластом ось G_{Σ} , т.к. на тракторе уже может быть установлен один из вариантов балласта.

В процессе подбора необходимой массы балласта механизатор определяет способ агрегатирования трактора с сельскохозяйственной машиной: навесной, полунавесной или прицепной и примерное тяговое усилие. Далее из точки пересечения тягового усилия с величиной нормальной реакции на передние колеса проводит горизонтальную линию на ось массы балласта. Определяет вариант балласта (быстросъемные грузы, водный раствор, быстросъемные грузы + водный раствор) выражение (1).

Масса балластного груза на передней оси трактора, кг

$$m_{B12} = (G_B + G_B) \cdot 100. \quad (1)$$

Пример 1. Состав агрегата «БЕЛАРУС 3022ДЦ» + КГР-4,0. Способ агрегатирования навесной. Тяговое усилие 45 кН.

$$m_{B12} = (13,5 + 9,2) \cdot 100 = 2270 \text{ кг.}$$

Пример 2. Состав агрегата «БЕЛАРУС 3022ДЦ» + ППО-8-40К. Способ агрегатирования полунавесной. Тяговое усилие 45 кН.

$$m_{B12} = 12,5 \cdot 100 = 1250 \text{ кг.}$$

В нижней части номограммы показана заштрихованная зона. Разгрузка передней оси до указанных пределов приводит к потере управляемости тракторного агрегата.

Для балластирования трактора, работающего с несимметричной тяговой нагрузкой, например по схеме «правые колёса в борозде», необходимо учесть два основных фактора: перераспределение веса трактора от перекоса (глубины борозды) и от ширины захвата плуга. Несимметричная тяговая нагрузка создает отклоняющий момент, действующий на трактор, что ухудшает курсовую устойчивость пахотного агрегата. Выравнивание нормальных нагрузок на колесах трактора не только повысит тягово-сцепные свойства трактора, но и улучшит курсовую устойчивость пахотного агрегата в целом.

В работе [6] рассмотрено силовое взаимодействие трактора с плугом в горизонтальной плоскости, учитывающее влияние несимметричной тяговой нагрузки на тягово-энергетические показатели пахотного агрегата. Одними из результатов этих исследований являются выражения для нахождения нормальных реакций на передние N_{12} и задние N_{34} колеса трактора, учитывающие перераспределение веса от ширины захвата плуга и перекоса в поперечной плоскости (глубины борозды). Результаты расчетов также представим в виде номограммы. Из номограммы (рис. 2) видно, что масса балласта по колесам будет разной.

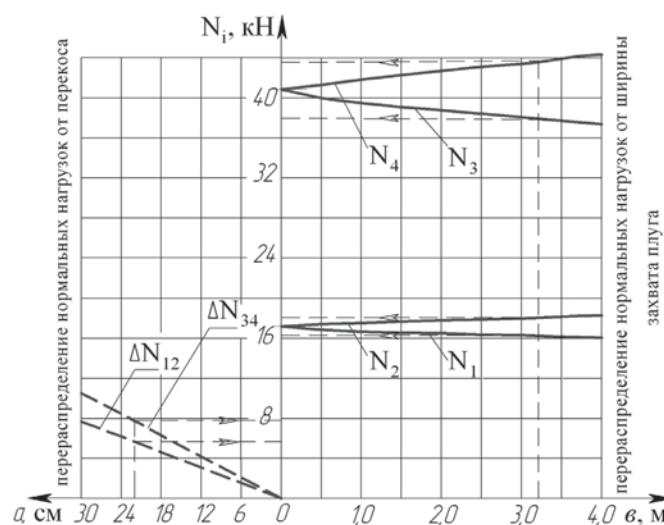


Рис. 2. Номограмма для определения веса балластных грузов при работе по схеме «правые колёса в борозде» трактора БЕЛАРУС 3022

Для выравнивания нормальных нагрузок на правые и левые колеса трактора при несимметричной тяговой нагрузке в зависимости от механического состава почвы и агрофона определяются с шириной захвата плуга. Далее по номограмме (рис. 2) выбирают необходимые значения нормальных нагрузок в зависимости от ширины захвата и глубины вспашки и подставляют в выражения для вычисления необходимой массы балласта.

Масса балластного груза левого переднего колеса $i = 2$, кг

$$m_{Б2} = [(N_1 + \frac{\Delta N_{12}}{2}) - (N_2 - \frac{\Delta N_{12}}{2})] \cdot 100. \quad (2)$$

Масса балластного груза левого заднего колеса $i = 4$, кг

$$m_{Б4} = [(N_3 + \frac{\Delta N_{34}}{2}) - (N_4 - \frac{\Delta N_{34}}{2})] \cdot 100. \quad (3)$$

Пример 3. Состав агрегата трактор «Беларус 3022ДЦ» + ППО-8.30/50. Способ агрегатирования полунавесной. Глубина пахоты 22 см. Ширина захвата 3,2 м.

$$m_{Б2} = [(16,4 + \frac{5,6}{2}) - (18,1 - \frac{5,6}{2})] \cdot 100 = 390 \text{ кг};$$

$$m_{Б4} = [(38,4 + \frac{7,6}{2}) - (43,7 - \frac{7,6}{2})] \cdot 100 = 230 \text{ кг}.$$

Заключение

Рациональное применение систем балластирования трактора должно учитывать:

- способ агрегатирования: навесной, полунавесной или прицепной агрегат;
- схему работы: «по краю борозды» (симметричная) или «правые колёса в борозде» (несимметричная).
- вариант балластирования, уже установленного на тракторе.

Применение правильно определенной массы балласта снизит буксование трактора в 1,5–2 раза, гектарный расход топлива на 6–8 %, повысит производительность на 10–15 %, курсовую устойчивость агрегата и качество работы.

Подобные методики рекомендуется размещать производителям тракторов или сельскохозяйственных машин в разделе «Агрегатирование» их руководств по эксплуатации.

Список использованных источников

1. О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним : ТР ТС 031/2012 : принят 20.07.2012 : вступ. в силу 15.02.2015 / Евраз. экон. комис. – 2012. – 60 с.
2. Горин, Г.С. Влияние малых взаимных перемещений трактора и навесного сельхозорудия на тяговую и общую динамику их взаимодействия / Г. С. Горин, А. В. Захаров, А. В. Ващула // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2009. – № 4. – С. 97–107.
3. Горин, Г. С. Влияние малых взаимных перемещений трактора и полунавесного, прицепного сельхозорудий на тяговую и общую динамику их взаимодействия / Г. С. Горин, А. В. Захаров, А. В. Ващула // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2010. – № 2. – С. 105–112.
4. Специальные испытания по оценке эффективности использования передних балластных грузов тракторов марки «БЕЛАРУС 2522ДВ» и «БЕЛАРУС 3022ДВ» : Отчет № 129Б8/1 // ГУ «Белорусская МИС». – 30.10.2008. – 21 с.
5. Трактор «Беларус 3022/3522» и его модификации. Руководство по эксплуатации. – ПО «Минский тракторный завод», 2014. – 394 с.
6. Курсовая устойчивость пахотного МТА при работе с несимметричной тяговой нагрузкой / Г. С. Горин [и др.] // Агропанорама. – 2007. – № 3. – С. 18–23.

А. В. Бобрышов¹, С. Н. Карпов¹, Г. И. Гедроить², А. В. Захаров²

¹ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

г. Ставрополь, Россия

E-mail: Alex_st_52@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Беларусь

СНИЖЕНИЕ НАГРУЗОК ВОМ ТРАКТОРОВ ПРИ ПРИВОДЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Аннотация. В сельскохозяйственном производстве распространено использование агрегатов с активными рабочими органами. Их привод осуществляется через валы отбора мощности (ВОМ) тракторов. Снижение динамических нагрузок в приводе агрегатов позволяет повысить надежность работы агрегатов. Этого можно добиться за счет совершенствования конструкций механизмов ВОМ тракторов.

Ключевые слова: трактор, вал отбора мощности, трансмиссия, привод, комбайн, фрикционная муфта, режим работы, разгон, момент трения.

A. V. Bobryshov¹, S. N. Karpov¹, G. I. Gedroit², A. V. Zakharov²

¹EI "Stavropol State Agrarian University"

Stavropol, Russia

E-mail: Alex_st_52@mail.ru

²EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Belarus

REDUCTION OF LOADS ON PTO WITH TRACTORS AT DRIVE IN AGRICULTURAL MACHINES

Abstract. In agricultural production, aggregates with active working bodies are widely applied. Their drive is carried out through power take-off shafts (PTO) with tractors. Reduction of dynamic loads of the drive helps improve aggregates' performance reliability. This can be achieved by improving the designs of tractor PTO mechanisms.

Keywords: tractor, power take-off, shaft, transmission, drive, combine, friction clutch, operating mode, increase, friction torque.

Введение

Большинство сельскохозяйственных машин с активными рабочими органами приводятся через задний ВОМ тракторов. Это машины для скашивания трав, зерновых, уборки кукурузы, картофелеуборочные, клубнеуборочные, фрезерные и др. При работе с ними, особенно на переходных режимах в приводе ВОМ у сельхозмашин возникают большие моменты инерции, динамические нагрузки [1, 2, 3]. Целью настоящей работы является исследование влияния параметров и режимов работы привода ВОМ с фрикционными муфтами на показатели его нагруженности.

Основная часть

Отбор мощности от двигателя трактора к активным рабочим органам сельскохозяйственных машин может осуществляться механическими, гидравлическими, электрическими, пневматическими, комбинированными устройствами. Для привода ВОМ сельскохозяйственных тракторов получил распространение механический привод. Он позволяет передавать, в частности, на задний ВОМ всю мощность двигателя с учетом потерь в приводе. КПД механических приводов ВОМ составляет 0,9–0,95 [4]. На приводе переднего ВОМ мощность ограничивается и составляет 44 кВт для тракторов «БЕЛАРУС» серий 1200...2000, 60 кВт для тракторов серий 3000, 3500 [5].

Привод рабочих органов перечисленных выше машин осуществляется через независимый ВОМ. ВОМ работает в одном из двух режимов: установившемся или переходном. Установившийся режим работы для ВОМ является основным и наиболее длительным по времени. Переходный режим происходит при разгоне и остановке рабочих органов сельскохозяйственных машин, является кратковременным, но может оказаться определяющим для некоторых составных частей ВОМ, например для функциональных элементов механизма включения. Включение ВОМ через гидроуправляемые фрикционные муфты [2, 6] обеспечивает более надежное включение, возможность автоматизации. Качество работы этих муфт в значительной степени зависит от конструктивного исполнения муфты и гидравлических органов по ее управлению.

Были подготовлены машинно-тракторные агрегаты (МТА) и проведены исследования работы ВОМ в переходном режиме разгона. Исследованы два агрегата: трактор «БЕЛАРУС-1523» и кормоуборочный комбайн КПКУ-75, трактор «БЕЛАРУС-1523» и картофелеуборочный комбайн КПК-3. Привод активных рабочих органов комбайнов осуществлялся через задний независимый ВОМ трактора, который включался в работу посредством гидроуправляемой фрикционной муфты. Для регулирования темпа включения муфты ВОМ на тракторе был применен кран (рис. 1), позволяющий корректировать время нарастания давления рабочей жидкости в бустере муфты.

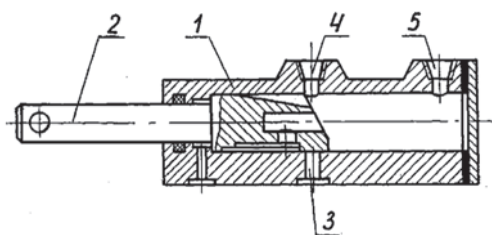


Рис. 1. Кран управления фрикционной муфты ВОМ: 1 – корпус; 2 – золотник; 3 – нагнетательный канал; 4 – сливной канал; 5 – канал подачи масла в бустер фрикционной муфты.

Разгон рабочих органов производился в двух вариантах: при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя трактора (интенсивный) и с минимально возможной частоты вращения коленчатого вала двигателя (плавный). В последующем ее увеличивали до максимального значения (чтобы двигатель не заглох). Разгон активных рабочих органов комбайнов, в соответствии с инструкцией по эксплуатации, производился при неподвижном агрегате. В этом режиме эксплуатации агрегата на привод рабочих органов через ВОМ может передаваться вся мощность двигателя (с учетом потерь в приводе), а нагруженность трансмиссии может быть значительной.

Темп включения муфты ВОМ регулировался путем изменения времени нарастания момента трения гидроуправляемой фрикционной муфты ВОМ за счет повышения или снижения подачи рабочей жидкости в ее бустер. Регулировалось проходное сечение в канале подачи жидкости краном управления. Интенсивным включением фрикционной муфты ВОМ считалось, когда давление масла в бустере от начала его повышения до появления крутящего момента на хвостовике ВОМ не превышало 1,2 с. Также разгон рабочих органов агрегатов осуществлялся при установке на фрикционной муфте ВОМ разных значений момента трения. Регулирование величины момента трения производилось двумя способами: путем изменением количества пар трения ведущих и ведомых дисков или за счет установки необходимого давления рабочей жидкости в бустере муфты, что изменяло усилие сжатия ведущих и ведомых дисков.

В качестве оценочных показателей процессов, возникающих в приводе при разгоне активных органов комбайнов, были приняты:

1. Начальная скорость вращения коленчатого вала двигателя $\omega_{дв}$, рад/с;
2. Минимальная скорость вращения коленчатого вала двигателя $\omega_{дв}^{min}$ (рад/с) во время разгона рабочих органов.
3. Максимальное значение крутящего момента M_{max} (Н·м) на хвостовике ВОМ.
4. Составляющие времени опыта, с.
5. Работа буксования A_{σ} (кДж) и удельная работа буксования муфты ВОМ $A_{y\sigma}$ (кДж/м²).

Удельная работа буксования фрикционной муфты ВОМ $A_{уд}$, определяемая отношением работы буксования $A_{б}$ к общей площади пар трения муфты:

$$A_{уд} = A_{б} / F.$$

Работа буксования $A_{б}$ рассчитывалась по формуле:

$$A_{б} = \int_0^{t_б} M_{тр} \cdot \omega_{отн} \cdot dt,$$

где $M_{тр}$ – текущее значение момента трения фрикционной муфты ВОМ; $\omega_{отн}$ – относительная угловая скорость ведущей и ведомой частей фрикционной муфты ВОМ; $t_б$ – время буксования фрикционной муфты ВОМ.

Полученные результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

Комбайн / Режим разгона		Начальная скорость вращения коленчатого вала двигателя $\omega_{дв}$, рад/с	Минимальная скорость вращения коленчатого вала двигателя $\omega_{дв\min}$, рад/с	Максимальное значение крутящего момента $M_{пик}$, Н·м	Время нарастания момента трения в муфте ВОМ $t_{тр}$, с	Время буксования фрикционной муфты ВОМ $t_{б}$, с	Работа буксования $A_{б}$, кДж / удельная работа буксования муфты ВОМ $A_{уд}$, кДж/м ²	
Кормоуборочный	Интенсивный	244	158	1960	0,3	1,00	49,3/298,3	
	Интенсивный при сниженном моменте трения	$M_{тр} = 1262$ Н·м	224	210	1343	0,25	1,80	77,8/659,1
		$M_{тр} = 1153$ Н·м	244	233	1267	0,25	2,50	89,92/540,3
	Плавный	103	74	1164	0,6	0,60	5,00/30,2	
Картофелеуборочный	Интенсивный	244	215	2244	0,09	0,09	4,6/27,9	
	Интенсивный при сниженном моменте трения ($M_{тр} = 701$ Н·м)	244	232	1736	0,12	0,12	5,3/32,1	
	Плавный	88	79	813	0,15	0,15	1,25/7,6	

Как видно, в зависимости от момента трения муфты максимальное значение крутящего момента на интенсивном режиме составило 1267–1960 Н·м для кормоуборочного и 1736–2244 Н·м для картофелеуборочного комбайнов, на плавном режиме соответственно 1164 Н·м и 813 Н·м.

Полученные результаты исследований показали, что максимальные динамические нагрузки возникают на «интенсивном» режиме разгона активных рабочих органов. Момент трения фрикционной муфты ВОМ при разгоне рабочих органов обоих комбайнов был одинаков (1766 Н·м). Однако значение крутящего момента при приводе картофелеуборочного комбайна на 15 % больше, чем с кормоуборочным комбайном, хотя моменты инерции рабочих органов у него в разы меньше в сравнении с кормоуборочным. Поэтому время нарастания момента трения фрикционной муфты ВОМ примерно в 3 раза меньше у картофелеуборочного агрегата, чем у кормоуборочного. Это повышает ускорение разгона рабочих органов и приводит к большему росту нагрузок в трансмиссии.

Для уменьшения максимальных нагрузок в трансмиссиях агрегатов понизили величину момента трения фрикционной муфты ВОМ от исходного значения $M_{тр} = 1766$ Н·м до $M_{тр} = 1153$ –1262 Н·м для кормоуборочного комбайна и $M_{тр} = 701$ Н·м для картофелеуборочного. В результате получили, что при интенсивном режиме разгона рабочих органов комбайнов это дало снижение динамических нагрузок на 30–54 %. Но при этом произошел рост удельной работы буксования

фрикционной муфты ВОМ. Так, при изменении момента трения за счет уменьшения числа пар ведущих и ведомых дисков она составила 659,1 кДж/м². При регулировании момента трения за счет изменения давления рабочей жидкости в бустере муфты $A_{y\partial} = 540,3$ кДж/м². Большее значение удельной работы буксования при включении фрикционной муфты ВОМ для первого варианта уменьшения момента трения происходит из-за снижения контактной площади пар трения. Рост удельной работы буксования при снижении величины момента трения фрикционной муфты ВОМ на интенсивном режиме разгона рабочих органов комбайнов происходит в связи с увеличением времени буксования муфты. Однако допускаемая удельная работа буксования для металлокерамических фрикционных дисков, работающих в масле, соответствует 1000–1200 кДж/м², что свидетельствует о небольшой нагруженности элементов фрикционной муфты ВОМ.

Разгон рабочих органов комбайнов в режиме «плавный» имел следующие особенности: включение фрикционной муфты ВОМ осуществлялось на минимально возможной частоте вращения коленчатого вала двигателя, соответствующей значению 103 рад/с. Следует отметить, что в начальный период включения муфты в этом режиме вращающиеся детали двигателя и ведущих частей фрикционной муфты обладали небольшим запасом кинетической энергии. Из-за небольшой разности между величинами скоростей вращения ведущих и ведомых частей фрикционной муфты ВОМ на этом режиме разгона происходит непродолжительное буксование фрикционной муфты ВОМ. Максимальные значения крутящего момента на этом режиме разгона формируются при завершении буксования фрикционной муфты, и их величина составляет для кормоуборочного агрегата 1164 Н·м и картофелеуборочного – 813 Н·м.

Заключение

Для снижения нагрузок в приводе ВОМ и активных рабочих органов сельскохозяйственных машин целесообразно осуществлять разгон с минимально возможной частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора. Для изменения режима включения гидроуправляемых фрикционных муфт ВОМ необходимо регулировать момент трения муфты с помощью кранов управления или других устройств.

Список использованной литературы

1. Бобрышов, А. В. Определение максимальных нагрузок в трансмиссиях машинно-тракторных агрегатов / А. В. Бобрышов, Ю. В. Прохорская, В. А. Лиханос // НаукаПарк. – 2011. – № 4 (5). – С. 15–19.
2. Бобрышов, А. В. Влияние режима разгона активных рабочих органов агрегатов на долговечность деталей их трансмиссий / А. В. Бобрышов, Ю. В. Прохорская, В. А. Лиханос // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции в рамках XII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2010». – 2010. – С. 29–31.
3. Скойбеда, А. Т. Обоснование параметров привода ВОМ тракторов мощностью 45 и 58 л.с. / А. Т. Скойбеда, А. М. Статкевич, В. С. Чешун // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4. – С. 37–40.
4. Бобровник, А. И. Совершенствование вала отбора мощности тракторов «Беларус» / А. И. Бобровник // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 7. – С. 20–24.
5. Минский тракторный завод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: belarus-tractor.com. – Дата доступа: 28.07.2023.
6. Бобрышов, А. В. Выбор момента трения фрикционной муфты вала отбора мощности сельскохозяйственного трактора / А. В. Бобрышов, В. А. Лиханос // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 4, № 3. – С. 21–24.

В. С. Корко, П. В. Кардашов, И. Б. Дубодел

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: innadubodel@gmail.com, Korko.S@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ И КИНЕТИКИ ЭЛЕКТРОДНОГО НАГРЕВА ДИСПЕРСНОЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Рассмотрены особенности термических и электротехнологических способов обработки кормовых материалов, приведены результаты исследований электрической проводимости вещества зерна и увлажненной массы, кинетики электродного нагрева дисперсной системы в зависимости от определяющих факторов.

Ключевые слова: кормовые материалы, зерно, электрическая проводимость, дисперсная система, степень увлажнения, температура.

V. S. Korko, P. V. Kardashov, I. B. Dubodel

*El "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: innadubodel@gmail.com, Korko.S@mail.ru*

STUDY OF CONDUCTIVITY AND KINETICS OF ELECTRODE HEATING OF A DISPERSE ORGANIC SYSTEM

Abstract. The features of thermal and electrotechnological methods of processing feed materials are considered, the results of studies of the electrical conductivity of the grain substance and moistened mass, the kinetics of electrode heating of the dispersed system, depending on the determining factors, are presented.

Keywords: feed materials, grain, electrical conductivity, dispersed system, degree of hydration, temperature.

Введение

Основная цель термической обработки кормовых материалов – обеззараживание и перевод трудноперевариваемых высокомолекулярных природных полимеров (например, лигнина в соломе, крахмала в зерне и др.) в более легкоусвояемые низкомолекулярные формы, создание благоприятных условий для жизнедеятельности микрофлоры желудка животных.

При традиционных способах обработки применяется преимущественно термическое высокотемпературное (более 100°C) воздействие (обработка паром, горячим воздухом, инфракрасными лучами и т.п.), что требует относительно высоких энергозатрат, не в полной мере обеспечивает использование биологического потенциала корма, а также вызывает денатурацию белков, потерю витаминов и другие негативные последствия [1].

С помощью электрического тока, протекающего по обрабатываемому материалу, можно дополнительно к основному термическому фактору добавить физико-химические воздействия (электрокинетические явления, насыщение ткани ионами, повышение интенсивности массопереноса, проницаемости, активности ионов и др.), интенсифицировать химические превращения, снизить расход энергии. При этом в полной мере возможно использование преимуществ электрического тока как комплексного технологического фактора, оказывающего термическое, электрофизико-химические и биологические действия на обрабатываемый материал [1, 2].

Основные требования при электродном способе электрического нагрева дисперсных органических материалов – обеспечение соответствующих условий для достижения достаточной проводимости кормового материала и выбор оптимальных параметров для согласования скорости нагрева и интенсивности физико-химических преобразований биополимеров.

Цель работы – исследование проводимости и кинетики электродного нагрева дисперсных органических систем.

Основная часть

Экспериментальные установки для исследования проводимости вещества зерна и дисперсной массы обеспечивали использование мостовых методов измерения сопротивления или вычислений его значений после измерений методом вольтметра-амперметра.

На рис. 1 приведены результаты исследования проводимости зерна ячменя в естественном виде в зависимости от температуры и влажности.

Полученные зависимости носят экспоненциальный характер, с ростом температуры и влажности удельная электрическая проводимость γ возрастает. Однако значение проводимости вещества зерна даже при высоких влажностях показывает, что в естественном виде зерно является несовершенным диэлектриком или полупроводником и не может обеспечивать прохождение низкочастотного электрического тока.

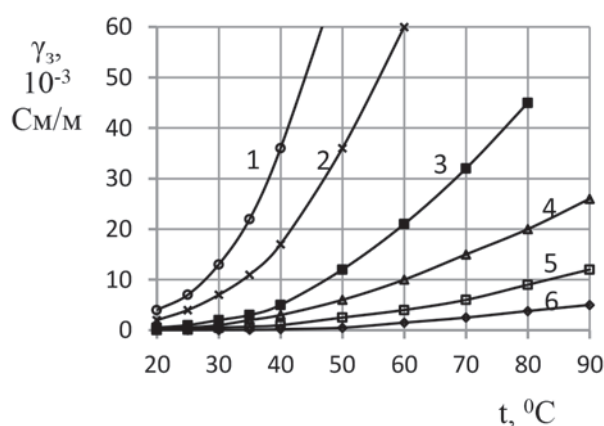


Рис. 1. Температурные характеристики проводимости вещества зерна ячменя при различной влажности: 1 – 30 %; 2 – 28 %; 3 – 26 %; 4 – 24 %; 5 – 20 %; 6 – 15 %

При электродном методе нагрева для повышения проводимости воды добавляют определенные количества соли (глауберовой, поваренной, сульфата натрия, тринатрийфосфата) или кальцинированной соды. Удельная проводимость раствора при температуре 20 °C в зависимости от концентрации солей может быть определена по эмпирической формуле [2]:

$$\gamma_{20} = \frac{C}{8 \cdot 10^3},$$

где C – суммарная концентрация солей, мг/л.

Существует зависимость проводимости проводников II рода от температуры, которую до начала заметного парообразования обычно выражают уравнением

$$\gamma_t = \gamma_{20} [1 + \alpha(t - 20)],$$

где α – температурный коэффициент проводимости, °C⁻¹.

Если к подготовленной массе корма, например измельченного или плющеного зерна, добавить водный раствор химреагентов в концентрациях, определенных зоотехническими условиями, то получим дисперсную систему с новыми электрофизическими характеристиками.

Для расчета обобщенной проводимости гетерогенных систем в виде биологических дисперсий наиболее применимым считают уравнение, полученное В. И. Оделевским [3], которое имеет вид:

$$\gamma = \gamma_p \left(1 + \frac{3v(\gamma_3 - \gamma_p)}{(1-v)(\gamma_3 - \gamma_p) + 3\gamma_p} \right), \quad (1)$$

где γ , γ_p , γ_3 – обобщенные проводимости соответственно гетерогенной системы, раствора и включений при начальной (фиксированной) температуре; v – объемная доля включений.

В зерновой массе с раствором объемную долю включений можно определить следующим образом:

$$v = 1 - \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{m_p/\rho_p}{(m_3 + m_p)/\rho} = 1 - \frac{m_3 W \rho}{(m_3 + m_3 W) \rho_p} = 1 - \frac{W \rho}{(1 + W) \rho_p}, \quad (2)$$

где m_p , m_3 – масса раствора и включений, кг; V_p , V – объем, занимаемый раствором и системой в целом, м³; ρ_p , ρ – объемная масса раствора и гетерогенной системы, кг/м³; $W = \frac{m_p}{m_3}$ – степень увлажнения.

После преобразования с учетом (2) уравнение (1) принимает вид:

$$\gamma = \gamma_p \frac{3\gamma_p + \left[3 - \frac{2W\rho}{(1+W)\rho_p} \right] (\gamma_3 - \gamma_p)}{3\gamma_p + \frac{W\rho}{(1+W)\rho_p} (\gamma_3 - \gamma_p)}. \quad (3)$$

Таким образом, проводимость массы как дисперсной системы зависит от проводимостей раствора γ_p и вещества зерна γ_3 , степени увлажнения W , объемной массы раствора ρ_p , влажности включений ω . В свою очередь, объемная масса ρ зависит от степени измельчения зерна, степени увлажнения и усилия уплотнения, а проводимость всей дисперсной системы зависит от температуры.

Для исследования проводимости увлажненной зерновой массы методом ранжирования отобраны следующие определяющие факторы: температура t , степень увлажнения W , усилие уплотнения P , напряженность электрического поля E . Концентрацию раствора соли NaCl при увлажнении плющеного зерна толщиной хлопьев 0,001 м принимали равной 2 % от массы сухого вещества зерна.

При фиксированной температуре, например 20 °С, как показано на рис. 2, в интервалах изменения $P = 10 \dots 50$ кПа и $W = 0,6 \dots 0,9$ проводимость зерновой массы нелинейно возрастает с увеличением этих факторов, и зависимости аппроксимируются соответствующими полиномами второй степени:

$$\gamma = 0,205 + 0,003P - 2 \cdot 10^{-5} P^2 \quad \text{и} \quad \gamma = 0,456 - 0,892W + 0,809W^2.$$

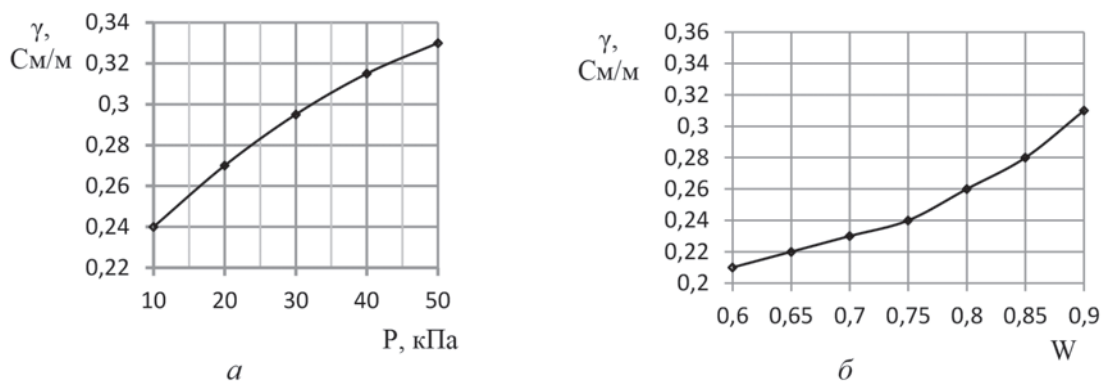


Рис. 2. Зависимость проводимости зерновой массы от усилия уплотнения (а) и степени увлажнения (б) при температуре 20 °С

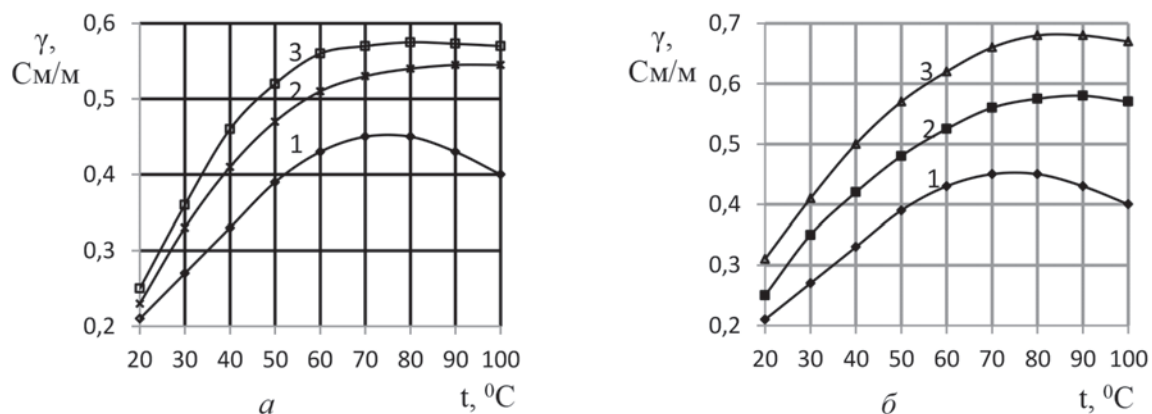


Рис. 3. Температурные характеристики проводимости зерновой массы:

а – при различной степени увлажнения: 1 – 0,6; 2 – 0,7; 3 – 0,8;

б – при изменении усилия уплотнения: 1 – 20; 2 – 25; 3 – 30 кПа

На рис. 3 приведены температурные характеристики проводимости зерновой массы в зависимости от степени увлажнения и усилия уплотнения. С повышением влажности растет проводимость зерновой массы, величиной которой определяются условия и интенсивность ввода в нее электрической энергии.

Как следует из анализа зависимостей на рис. 3, *а*, с ростом температуры, когда интенсифицируются процессы влагопереноса, набухают и увеличиваются в размере биополимеры, количество свободной влаги уменьшается вследствие поглощения ее веществом зерна и парообразования, скорость изменения проводимости зерновой массы после достижения температуры диапазона начала клейстеризации крахмала (60...70 °C) начинает снижаться, причем это заметнее для низких значений влажности.

Более устойчиво протекает процесс обработки при степени увлажнения зерновой массы $W = 0,7$ и $W = 0,8$. При этом в диапазоне изменения температуры 20...90 °C проводимость зерновой массы возрастает в 2...2,5 раз. Температурная характеристика имеет явно выраженный нелинейный вид, особенно в зоне температур 50...70 °C, что объясняется происходящими структурными преобразованиями дисперсной системы вследствие деструкции биополимеров и изменения форм связи влаги. В технологически возможной зоне конечных рабочих температур (70...100 °C) изменение проводимости не превышает 0,02 См/м, что важно при создании аппаратов, реализующих электродный способ обработки.

Важным условием обеспечения надлежащего электрического контакта между частичками зерновой массы и электродами является уплотнение материала в рабочей камере. Недостаточное уплотнение массы (рис. 3, *б*, кривая 1) ухудшает устойчивость процесса обработки в связи со снижением проводимости при высоких температурах. С ростом P значительно изменяется соотношение между составляющими дисперсной системы, главным образом за счет вытеснения включений воздуха, перераспределения раствора в соответствии с распределением плотности массы по объему камеры. Достаточно устойчиво протекает процесс обработки при усилиях уплотнения $P = 25...30$ кПа, даже при закипании не происходит выхода из рабочей камеры избытка раствора.

Таким образом, с точки зрения энергетических затрат [1], минимизации прочностных свойств рабочей камеры в качестве наиболее рациональных параметров следует принять $W = 0,7$ и $P = 25$ кПа.

На рис. 4 представлена температурная характеристика проводимости зерновой массы при различной напряженности электрического поля и базовых значениях других параметров: $W = 0,7$ и $P = 25$ кПа.

Температурную характеристику проводимости 2 на рис. 4 можно выразить в виде полинома 2-й степени:

$$\gamma_t = 0,009 + 0,013t - 8 \cdot 10^{-5}t^2.$$

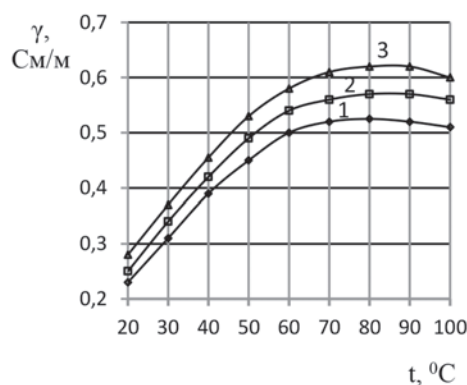


Рис. 4. Температурные характеристики проводимости зерновой массы при различной напряженности электрического поля: 1 – 1000; 2 – 2000; 3 – 3000 В/м

Напряженность электрического поля определяет скорость ввода электромагнитной энергии в обрабатываемый материал и в значительной степени влияет на степень преобразования вещества зерна и, в частности, клейстеризации крахмала.

В диапазоне $E = 1000...3000$ В/м при фиксированной температуре проводимость γ возрастает, причем наибольшие изменения происходят в зоне интенсивных фазовых превращений, протекающих при температурах более 60 °С. Существенная зависимость проводимости зерновой массы от напряженности электрического поля, можно полагать, происходит вследствие поляризационных явлений в веществе зерна и взаимодействия ионов раствора с ионами вещества зерна. Как следует из анализа характеристик на рис. 4, наиболее устойчиво с точки зрения электроконтактных явлений и эффективно для выполнения целевой функции обеспечения равномерности температурного поля процесс нагрева происходит при $E = 2000$ В/м.

Как следует из результатов исследования проводимости, вещество зерна и увлажненная зерновая масса как дисперсные системы являются термолабильными, что необходимо определенным образом учитывать при реализации технологических процессов [1, 4].

В условиях непроточной плоскопараллельной электродной системы, примененной в экспериментальных исследованиях, процесс нагрева однородного термолабильного материала в общем виде определяется из теплового баланса дифференциальным уравнением

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{1}{mC} \left[U^2 \gamma_t \frac{h}{K} - kA(t - t_0) \right],$$

где m и C – соответственно масса, кг и удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·°С); U – напряжение, В; h и K – соответственно высота, м и геометрический коэффициент электродной системы; k – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С); A – площадь поверхности теплопотерь, м²; t , t_0 – температура массы и окружающей среды, °С.

Кинетические кривые нагрева зерновой массы при различной напряженности электрического поля и базовых значениях $W = 0,7$ и $P = 25$ кПа приведены на рис. 5.

Как следует из анализа зависимостей на рис. 5, при обработке электрическим током обеспечивается высокая интенсивность нагрева, если напряженность поля достаточно высокая (порядка 2000 В/м и более), причем скорость нагрева массы в зависимости от напряженности поля изменяется непропорционально для различных температурных интервалов. Так, в интервале температур $20...40$ °С при $E = 2000$ В/м скорость нагрева $\frac{dt}{d\tau} = 0,25$ °С/с и при $E = 3000$ В/м $\frac{dt}{d\tau} = 0,7$ °С/с, а в интервале $70...90$ °С при тех же значениях напряженности поля скорость нагрева достигает соответственно 0,6 и 1,3 °С/с.

Объемный ввод электрической энергии в однородную массу обеспечивает равномерный нагрев (отклонение не превышает ± 5 °С) и при этом отмечается несколько более быстрое повышение температуры у фазного электрода из-за контактных явлений. Расчетная энергоемкость процесса обработки не превышает 80 кВт·ч/т.

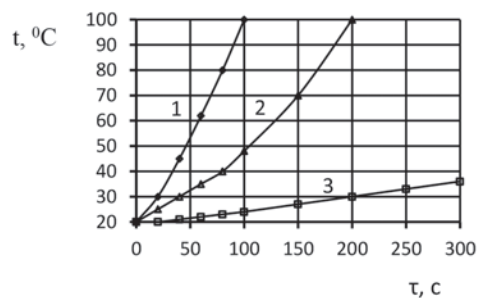


Рис. 5. Кинетика нагрева зерновой массы при различных значениях напряженности поля в рабочей камере:
 1 – $E = 3000$ В/м; 2 – $E = 2000$ В/м; 3 – $E = 1000$ В/м

Энергия, выделившаяся в массе при изменении температуры в диапазоне 20...100 °С, возрастает в 2...2,5 раза, что связано с нелинейной температурной характеристикой проводимости зерновой массы и физико-химическими превращениями в материале. Значительное увеличение мощности в конце обработки необходимо учитывать при расчете аппаратов для обработки электрическим током, при выборе допустимой (с точки зрения электрической прочности) напряженности электрического поля.

Заключение

Результаты исследований показывают, что величину удельной электрической проводимости дисперсной органической системы в значительной степени определяют температура, усилие уплотнения, степень увлажнения и напряженность электрического поля. Приведенные факторные зависимости необходимо учитывать при обосновании режима работы установок электродного нагрева кормовых материалов, а также устройств регулирования их мощности, стабилизации параметров.

Величина проводимости и характер ее температурной зависимости позволяет классифицировать увлажненную раствором соли массу корма в условиях технологического процесса электродной обработки как проводник с преимущественно ионным характером проводимости. Благодаря объемному вводу энергии вся масса нагревается практически равномерно по всему объему электродной камеры, что трудно достижимо при косвенном нагреве (паром, горячим воздухом, инфракрасными лучами и т.п.) вследствие низкой тепло- и теплопроводности вещества корма, а также происходящих процессов преобразования биополимеров. С учетом фактической температурной зоны клейстеризации крахмала (55...65 °С) и обеспечения высокой равномерности нагрева в электродной камере можно ограничиться конечной температурой обработки зерновой массы порядка 75...80 °С, что позволит существенно снизить энергоемкость процесса и значительно уменьшить или нивелировать процессы денатурации белков и витаминов. Так как выделяемая в процессе нагрева мощность в квадратичной степени зависит от напряженности электрического поля, то для согласования скорости нагрева и динамики физико-химических превращений крахмала можно ограничиться значениями $E = 2000$ В/м, $W = 0,7$ и $P = 25$ кПа. При этом время обработки составит около 3 мин.

Список использованных источников

1. Корко, В. С. Повышение эффективности процессов переработки и контроля влагосодержания злаков электрофизическими методами / В. С. Корко. – Минск: БГАТУ, 2006. – 349с.
2. Электротехнологии: пособие / И. Б. Дубодел [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2014. – 252 с.
3. Оделевский, В. И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем / В. И. Оделевский // Журнал технической физики. – 1951. – Т. 21, вып. 6. – С. 667–685.
4. Прищепов, М. А. Основы термозависимого резистивного электронагрева в технологических процессах сельскохозяйственного производства / М. А. Прищепов. – Минск: БГАТУ, 1999. – 295 с.

Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: zanemanoff@mail.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАКТОРОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Аннотация. В статье дана оценка перспектив применения различных решений по совершенствованию электромеханических и электрических трансмиссий тракторов.

Ключевые слова: трактор, трансмиссия, генератор, электродвигатель аккумуляторная батарея, эффективность, производительность.

G. I. Gedroit, S. U. Zaniamonski

*EI “Belarusian State Agrarian Technical University”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: zanemanoff@mail.ru*

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TRACTORS WITH ELECTROMECHANICAL AND ELECTRIC TRANSMISSIONS

Abstract. The article assesses the prospects for using various solutions to improve electromechanical and electric transmissions of tractors.

Keywords: tractor, transmission, generator, electric motor, battery, efficiency, productivity.

Введение

Одним из путей обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь является внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции. Решение этой задачи непосредственно связано с повышением производительности машинно-тракторных агрегатов (МТА), совершенствованием конструкции тракторов. Важное место занимают вопросы обоснования параметров трансмиссии колесных и гусеничных машин, их компоновки, эффективности использования. Этими проблемами в разные годы занимались Д. А. Чудаков, В. В. Гуськов, В. А. Скотников, П. И. Бойков, В. В. Кацыгин, Г. С. Горин, И. П. Ксеневиц, В. М. Шарипов, П. А. Амельченко, В. П. Тарасик и др.

Основная часть

На большинстве маломощных сельскохозяйственных тракторов применяют ступенчатые механические трансмиссии. Это связано с тем, что они являются наиболее простыми и надежными в работе, имеют высокий КПД, сравнительно невысокую стоимость, доступны в обслуживании. Основным их недостатком является ступенчатое регулирование крутящего момента и скорости движения, что довольно часто приводит к неэффективному использованию мощности двигателя [1]. В то же время при разветвленной механической трансмиссии с большим количеством передач КПД ее падает, растет стоимость [2].

Основными достоинствами гидрообъемных трансмиссий являются бесступенчатое регулирование крутящего момента в широком диапазоне и плавная передача его на ведущие колеса, сравнительная простота подвода мощности к ведущим колесам трактора, легкость и простота управления. Основные недостатки гидрообъемных трансмиссий – более низкий в сравнении с механическими трансмиссиями КПД, высокая стоимость изготовления [1].

Электромеханическая трансмиссия является бесступенчатой. Крутящий момент двигателя передается к ведущим колесам трактора с помощью электрической энергии. Электропривод, в отличие от гидропривода, не требует специальных масел, фильтров, прогрева при низких температурах, обладает высокой надежностью. Электропривод имеет высокий КПД в широком диапазоне регулирования. Это делает работу трактора эффективной на различных режимах, требует минимального технического обслуживания.

На ОАО «Минский тракторный завод» создан трактор с электромеханической трансмиссией переменного тока. Схема электромеханической трансмиссии трактора «БЕЛАРУС 3023» представлена на рис. 1 [3].

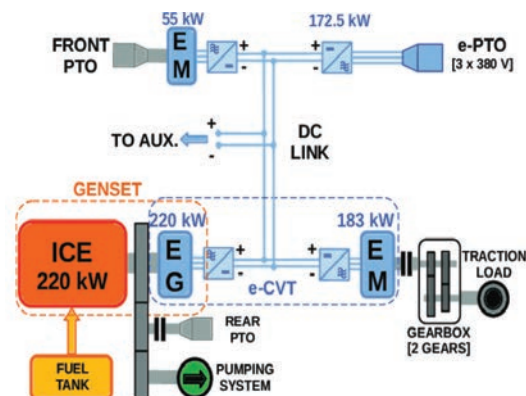


Рис. 1. Схема электромеханической трансмиссии трактора «БЕЛАРУС 3023»

Были проведены сравнительные испытания трактора «БЕЛАРУС 3023» с электромеханической трансмиссией и серийного трактора «БЕЛАРУС 3022ДВ» с переключением передач под нагрузкой гидроподжимными муфтами (табл. 1) [4].

Таблица 1. Результаты сравнительных испытаний тракторов на вспашке

Характеристика	«БЕЛАРУС 3023»	«БЕЛАРУС 3022ДВ»
Условия проведения испытаний		
Типоразмер шин: заднего моста	580/70R42	
переднего ведущего моста	580/70R30	
Эксплуатационная масса трактора, кг	12 440	11 385
Марка плуга	ВВ-100-8	
Вид работы	Вспашка пласта многолетних трав	
Тип почвы, механический состав	Дерново-подзолистая, легкий суглинок	
Рельеф	Ровный, с уклоном 2 %	
Влажность почвы, % по слоям, мм:		
0–100	23,9	
100–200	26,8	
Длина гона, м	870	
Результаты испытаний		
Средняя глубина вспашки, м	0,224	0,225
Средняя ширина захвата, м	3,47	
Средняя рабочая скорость, км/ч	9,37	8,34
Производительность за 1 час основного времени, га/ч	3,25	2,89
Часовой расход топлива, кг/ч	31,7	38,2
Гектарный расход топлива, кг/га	10,81	13,20

Благодаря системе управления двигателем и бесступенчатому регулированию скорости трактора производительность пахотного агрегата на базе трактора «БЕЛАРУС 3023» на 12,5 % выше, чем у агрегата на базе трактора «БЕЛАРУС 3022ДВ» при меньшем на 18 % расходе топлива [4].

На ОАО «МТЗ» продолжаются работы по созданию тракторов мощностью 300 и 350 л. с. с электромеханическими трансмиссиями. Это направление считается перспективным. В планах – расширение применения трансмиссий подобного типа на тракторы меньшей мощности. Испытания показывают, что тракторы с электромеханической трансмиссией имеют преимущества в сравнении с тракторами с механической трансмиссией [5]:

- обеспечивается широкий диапазон агротехнических скоростей МТА, повышается их производительность путем оптимизации технологических скоростей;
- снижается расход топлива в связи с работой двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в экономичном режиме;
- снижается уровень вредных выбросов ДВС;
- увеличивается ресурс двигателя и трансмиссии благодаря исключению передачи динамических нагрузок от ходовой системы на ДВС и уменьшению неравномерности крутящего момента от ДВС к узлам ходовой системы;
- возможно отбирать всю мощность двигателя через электрическую ветвь на любых режимах и скоростях. Это создает предпосылки к созданию и использованию навесных агрегатов и вала отбора мощности (ВОМ) с электроприводом;
- трактор может применяться в качестве передвижной электростанции.

В рамках создания инновационной продукции ОАО «МТЗ» совместно с Национальной академией наук Беларуси разработан экспериментальный образец автономного беспилотного трактора «БЕЛАРУС-А3523i» с электромеханической трансмиссией (рис. 2). Проведены испытания при работе трактора с плугом, культиватором и косилкой. Ведутся работы по совершенствованию технологии машинного зрения, установке цифровых камер и развитию искусственного интеллекта, что позволит трактору самостоятельно избегать столкновения с препятствиями (дорожными столбами, животными), выбирать оптимальный маршрут движения по полю.



Рис. 2. Автономный беспилотный трактор «БЕЛАРУС-А3523i» с электромеханической трансмиссией

После многих лет исследований, разработок и испытаний компания John Deere (США) представила на выставке Agritechnica 2019 первую двухпоточную бесступенчатую трансмиссию eAutoPowr с электромеханическим разделением мощности (рис. 3) [5]. Выпуск серийного трактора запланирован на четвертый квартал 2023 г.

В трансмиссии eAutoPowr гидравлические компоненты полностью заменены электроприводом. John Deere констатирует более высокую эффективность в сравнении с другими трансмиссиями, имеющими деление потока мощности. Упростилась конструкция коробки передач и появилась возможность проводить дистанционную техническую диагностику в режиме реального времени. Коробка передач обеспечивает максимальную скорость движения при пониженной частоте вращения двигателя: 40 км/ч при 1290 мин⁻¹ и 50 км/ч при 1620 мин⁻¹, благодаря чему снижаются энергозатраты при транспортных и других работах [6].

Электропривод также может обеспечивать питание внешних потребителей переменным трехфазным током напряжением 480 В и мощностью до 100 кВт через высоковольтный АЕФ-разъем 4-го поколения.

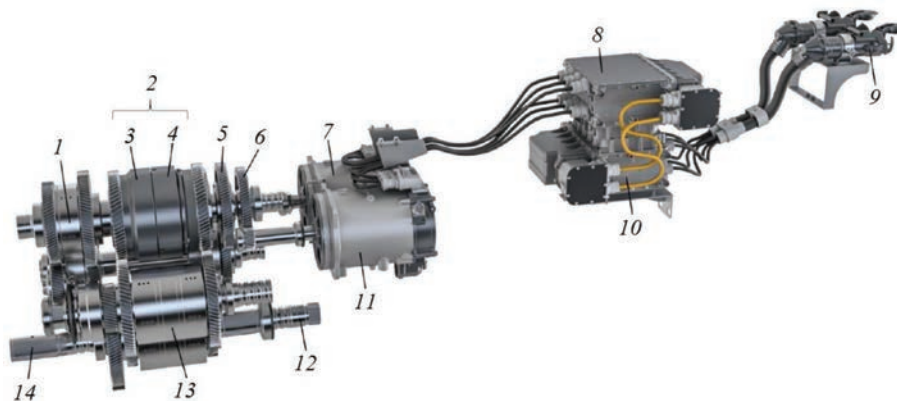


Рис. 3. Двухпоточная бесступенчатая электромеханическая трансмиссия eAutoPowr тракторов John Deere серий 8R, 8RT и 8RX: 1 – гидроджимная муфта; 2 – двойной планетарный редуктор повышенных и пониженных передач «HI-LO»; 3 – редуктор повышенных передач «HI»; 4 – редуктор пониженных передач «LO»; 5 – промежуточная передача от двигателя к электрогенератору М1 7; 6 – промежуточная передача от электродвигателя М2 11 к двойному планетарному редуктору 2; 7 – электрогенератор М1, 8 – двойной инвертор электрогенератора М1 7 и электродвигателя М2 11; 9 – АЕФ-разъем для подключения внешних потребителей; 10 – двойной инвертор для внешних потребителей; 11 – электродвигатель М2; 12 – выходной вал привода заднего ведущего моста; 13 – двойная гидроджимная муфта повышенных и пониженных передач, 14 – выходной вал привода переднего ведущего моста

Преимущества электромеханической трансмиссии проявляются при создании машин с активным приводом колес. Компании John Deere и Joskin (Бельгия) создали трехосную машину для внесения жидких органических удобрений с двумя осями, оборудованными электроприводом (рис. 4, а). Благодаря системе полного привода возможна более эффективная реализация тягового усилия. Испытания продемонстрировали снижение затрат на внесение жидкого навоза до 25 %. Электропривод осей позволяет уменьшить проскальзывание и буксование, улучшить управляемость в сложных условиях [7].



Рис. 4. Сельскохозяйственные прицепы и цистерны с активными осями с электроприводом: а – полевые испытания трактора John Deere 8R 410 с цистерной Joskin, оборудованной двумя задними осями с электроприводом, на внесении жидких органических удобрений; б – привод осей прицепов и цистерн фирмы Joskin; в – привод осей прицепов «Power Drive Elect» фирмы Fliegl (Германия)

Применение активных приводных осей прицепов является эффективным способом повышения проходимости МТА с прицепами [8]. Механический привод достаточно сложен, возникают проблемы кинематического соответствия [9]. Система привода от электрогенераторов (рис. 4, б, в) [7, 10] является наиболее перспективной. Ее КПД находится в пределах 65–75 %. Это значит-

но выше, чем у альтернативных систем. Например, гидравлическая система «Load Sensing Power Beyond» имеет КПД 25–55 %.

В настоящее время глобальное потепление и повышение содержания углекислого газа (CO_2) в атмосфере представляет серьезную проблему для экологии. Сельское и лесное хозяйство вносят существенный вклад в глобальные выбросы парниковых газов: более 20 % CO_2 , 42 % метана и 75 % оксидов азота (NO_x) приходится на данные отрасли [11]. Кроме того, ожидается, что выбросы на сельскохозяйственных предприятиях вырастут в ближайшие десятилетия. Большая часть этих выбросов производится дизельными двигателями тракторов, комбайнов, а также стационарными или мобильными автономными дизель-генераторами. В связи с этим ведущие производители тракторов разрабатывают модели с полностью электрической трансмиссией. В качестве источника энергии выступает не ДВС, а высоковольтная аккумуляторная батарея (табл. 2) [12].

Таблица 2. Характеристики высоковольтных тяговых аккумуляторов сельскохозяйственных тракторов Fendt/AGCO

Номинальная мощность, кВт	50	180	290	380
Емкость, кВт·ч	100	900	1740	2280
Время работы, ч	4	10	12	12
Масса аккумулятора, кг	600	6000	12000	15000

Анализ показывает, что при мощности тракторов 180 кВт и выше масса тяговых аккумуляторов соизмерима с массой тракторов. При мощности 50 кВт масса аккумуляторов составляет 600 кг, что позволяет рассматривать реальную возможность создания электротрактора массой 3000–4000 кг. Стоит отметить, что Fendt/AGCO принимает плотность энергии из расчета 6,6 кг/(кВт·ч) [12], тогда как John Deere для SESAM исходит из расчета 10 кг/(кВт·ч) [6].

Многие сельскохозяйственные предприятия Западной Европы уже производят собственную энергию на солнечных и ветряных электростанциях, биогазовых установках. Это экологически чистое электричество можно использовать для зарядки электрического трактора и, таким образом, эксплуатировать его с нулевым уровнем выбросов. Значительно сокращаются эксплуатационные расходы трактора, а также затраты на запасные части и сервисное обслуживание. Например, нет необходимости в замене моторного масла. Дизельный двигатель и топливный бак в электротракторе заменены электродвигателем, аккумулятором и блоком управления.

Одним из первых тракторов, получившим питание от аккумуляторов, является электрический трактор Fendt e107 V Vario (рис. 5). Производство запланировано на 2024 г. Предполагаемая цена примерно в 1,5–2 раза выше, чем аналогичного дизельного Fendt 207 Vario [12].



Рис. 5. Аккумуляторный электротрактор Fendt e107 V Vario: а – внешний вид; б – компоновка силового блока и управляющей электроники: 1 – высоковольтная Li-Ion аккумуляторная батарея (700 В, 100 кВт·ч); 2 – блок управления быстрой зарядкой постоянным током и стандартной зарядкой переменным током при напряжении 400 В (стандарт CCS Combo 2); 3 – эффективный электродвигатель с высокой удельной мощностью; 4 – блок управления питанием; 5 – передний ВОМ; 6 – система управления температурным режимом

Электротрактор Fendt e107 V Vario (V – «Vineyard», модель для виноградников) весит примерно на 150 кг больше, чем стандартный 207 Vario. Сохраняются компоновочные размеры предшесту-

ющей модели. Разработан для использования в садах, виноградниках или закрытых помещениях (в теплицах и фермах с собственным производством электроэнергии), а также в коммунальной сфере, например, при обслуживании велосипедных дорожек. Трактор может использоваться для перевозок на короткие расстояния с максимальной транспортной скоростью до 40 км/ч.

Питание осуществляется от высокомогной литий-ионной аккумуляторной батареи напряжением 700 В, мощностью 100 кВт и емкостью 100 кВт·ч.

Время работы трактора между зарядками варьируется в зависимости от множества факторов. Fendt заявляет продолжительность работы своего трактора в 4–7 ч. Система рекуперации энергии позволяет максимально увеличить время работы [12].

Органы управления и система освещения имеют напряжение 12 В, как и у стандартных тракторов серии 200 Vario.

Зарядка аккумуляторов Fendt e107 V Vario осуществляется через стандартный комбинированный автомобильный разъем CCS Combo 2. Он используется в большей части мира (включая Европу, Австралию, Южную Америку, Африку и Азию). Данный разъем используется для зарядки переменным током напряжением 400 В и мощностью 22 кВт на общественных зарядных станциях или через промышленную розетку на 32 А в сочетании с мобильным зарядным устройством мощностью 22 кВт. При такой мощности зарядки аккумулятор можно полностью зарядить за 5 ч. Также разъем CCS Combo 2 поддерживает быструю зарядку постоянным током с зарядной мощностью до 80 кВт, при этом аккумулятор заряжается от 20 до 80 % емкости примерно за 45 мин. Трактор снова готов к использованию [12].

При использовании быстрой зарядки электрический поток автоматически ограничивается. Это позволяет предотвратить повреждение аккумулятора. Срок службы батареи также можно увеличить, ограничив скорость зарядки. Если трактор заряжается ночью и нет необходимости в быстрой зарядке, следует использовать медленную зарядку переменным током. Кроме того, если трактор не работает всю смену, систему можно настроить на прекращение зарядки при достижении определенного значения. Это также поможет продлить срок его службы.

Ускорить процесс зарядки аккумулятора электротрактора можно, сделав его быстросъемным. Это сложно реализовать, если аккумулятор установлен в моторном отсеке (рис. 6, а, б) [6, 12]. Компания Agromec (Флорида, США) создала на базе трактора Fendt серии 700 Vario полностью электрическую модель Electric 700 Vario. В данном тракторе аккумулятор размещен на тягах переднего навесного устройства (рис. 6, в), что позволяет быстро отсоединить аккумулятор и поставить его на зарядку.



Рис. 6. Установка высоковольтных аккумуляторных батарей в моторном отсеке тракторов John Deere SESAM (а), Fendt e107 V Vario (б) и на тягах ПНУ трактора Electric 700 Vario фирмы Agromec (также используется в качестве переднего балласта) (в)

Таким образом время простоя трактора уменьшается до минимума. Также такая компоновка позволяет использовать аккумулятор в качестве переднего балластного груза.

Значительные усилия направлены на удешевление и совершенствование аккумуляторов: внедряются высокоэффективные литий-ионные батареи (Li-Ion) высокой энергоемкости, бескобальтовые литий-железо-фосфатные батареи (LFP) взамен никель-кобальт-алюминиевых аккумуляторов (NCA).

Заключение

Создание тракторов с электромеханической и электрической трансмиссией позволяет оптимизировать технологические скорости движения, снизить расход топлива и выбросы вредных веществ, увеличить ресурс тракторов, расширить область их применения.

При современном уровне технологий производства электрических компонентов тракторов наиболее вероятно создание трактора с электрической трансмиссией при мощности трактора около 50 кВт. При более высоких значениях мощности целесообразно рассматривать вариант с электромеханической трансмиссией. Перспективно направление по созданию автономного беспилотного трактора.

Список использованных источников

1. Шарипов, В. М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов / В. М. Шарипов. – М.: МАМИ, 2002. – 300 с.
2. Гурский, Н. Н. Моделирование процессов управления электромеханической трансмиссией колесного трактора / Н. Н. Гурский, А. В. Пашенко, И. Н. Жуковский // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 41–45.
3. Electrification of agricultural machinery: A review [Electronic resource] / E. Scolaro [et al.]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/357004885_Electrification_of_Agricultural_Machinery_A_Review. – Date of access: 09.10.2023.
4. Трактор с электромеханической трансмиссией / Н. С. Флоренцев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 7. – С. 7–11.
5. Зезетко, Н. И. Техника холдинга «МТЗ-Холдинг» для сельскохозяйственного производства / Н. И. Зезетко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 24–25 ноября 2022 г. – Минск : БГАТУ, 2022. – С. 38–45.
6. John Deere [Electronic resource]. – Mode of access: <https://deere.com>. – Date of access: 10.10.2023.
7. Joskin [Electronic resource]. – Mode of access: <https://joskin.com>. – Date of access: 13.10.2023.
8. Гедроить, Г. В. Совершенствование ходовых систем тракторных прицепов / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2023. – Вып. 56. – С. 241–246.
9. Горин, Г. С. Тяговая динамика, поворачиваемость и силовые потоки мобильных тягово-энергетических средств / Г. С. Горин. – Минск: БНТУ, 2013. – 374 с.
10. Fliegl Agrartechnik [Electronic resource]. – Mode of access: <https://fliegl-agrartechnik.de> – Date of access: 13.10.2023.
11. F. Tubiello Greenhouse Gas Emissions Due to Agriculture. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Jan. 2019.
12. Fendt [Electronic resource]. – Mode of access: <https://fendt.com>. – Date of access: 15.10.2023.

А. Н. Басаревский, А. В. Садовская

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: basareuski@mail.ru*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА РОТАЦИОННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРИ ОЧИСТКЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

Аннотация. В статье приведены результаты инженерного анализа конструкции ротационного рабочего органа при очистке мелиоративных каналов. Установлены зависимости влияния физико-механических параметров древесно-кустарниковой растительности, конструктивных и режимных параметров каналаочистителя на максимальный диаметр ствола веток, которые способен удалить (срезать) ротационный рабочий орган с заданными параметрами.

Ключевые слова: инженерный анализ, модель, ротационный рабочий орган, каналаочиститель, конструктивные и режимные параметры.

A. N. Basareuski, A. V. Sadouskaya

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: basareuski@mail.ru*

RESULTS OF THE ENGINEERING ANALYSIS OF THE ROTARY WORKING BODY DURING CLEANING RECLAMATION CHANNELS

Abstract. The article presents the results of an engineering analysis of the design of a rotary working body during the cleaning of reclamation channels. The dependences of the influence of the physico-mechanical parameters of tree and shrub vegetation, the design and operating parameters of the channel cleaner on the maximum diameter of the trunk of branches that can be removed (cut off) by the rotary working body with the specified parameters are established.

Keywords: engineering analysis, model, rotary working body, channel cleaner, design and operating parameters.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство требует постоянного проведения мелиоративных мероприятий, таких как производство культуртехнических работ, строительство мелиоративных систем, сооружение водохозяйственных объектов. Выполнение этих работ связано с большими затратами труда, материальных и денежных средств.

Типичным и важнейшим элементом мелиоративных систем являются различного назначения каналы и водоприемники. От состояния каналов во многом зависит функционирование всей мелиоративной системы. Основными причинами, приводящими к нарушению работоспособности каналов, являются их заиливание, зарастание древесной и травяной растительностью, сползание грунта с откосов.

Древесно-кустарниковую растительность значительно сложнее удалить из мелиоративного канала, чем наносы и сорную травяную растительность [1, 2]. Как и камни, древесные остатки представляют серьезную угрозу поломки для каналаочистителей с ротационным рабочим органом [3]. Поэтому физические опыты по проверке работоспособности таких рабочих органов в запущенных каналах практически не проводятся. Однако благодаря вычислительным возможностям компьютерной техники подобные опыты можно смоделировать в среде специализированных программных комплексов. Они позволяют провести практически любой опыт, минимизировав издержки на его реализацию и риск проведения потенциально опасных экспериментов. Получение таких дан-

ных позволит уточнить методики проектирования ротационных рабочих органов, а также вопросы их работоспособности при очистке запущенных мелиоративных каналов.

Основная часть

Моделирование процесса удаления растительности проводилось в среде программного комплекса *ANSYS*. Трехмерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа создавалась на базе программы *ProEngineer*.

Ротационный рабочий орган каналаочистителя, как правило, состоит из следующих элементов (рис. 1): ножей 1, отбрасывающих лопаток 2, кронштейна 3, фронтального ножа 4, кожуха 5, гидросистемы и башмака.

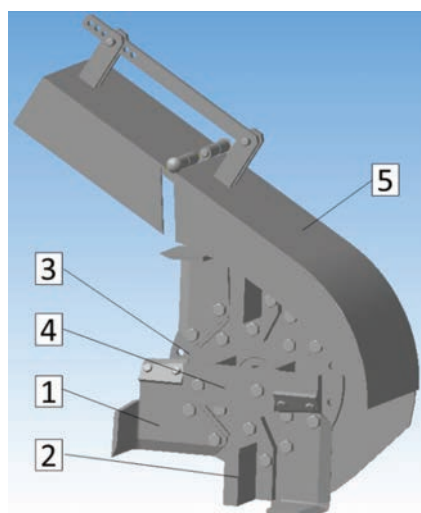


Рис. 1. Трехмерная модель ротационного рабочего органа каналаочистителя

В экспериментах использовалась упрощенная модель ротационного рабочего органа и срезаемых древесных остатков, в которой нож представляет собой единое целое с кронштейном и ротором, а ветка представлена в виде длинного цилиндрического прута (рис. 2). Такие допущения были необходимы для сокращения количества исходных элементов модели и ускорения вычислений.

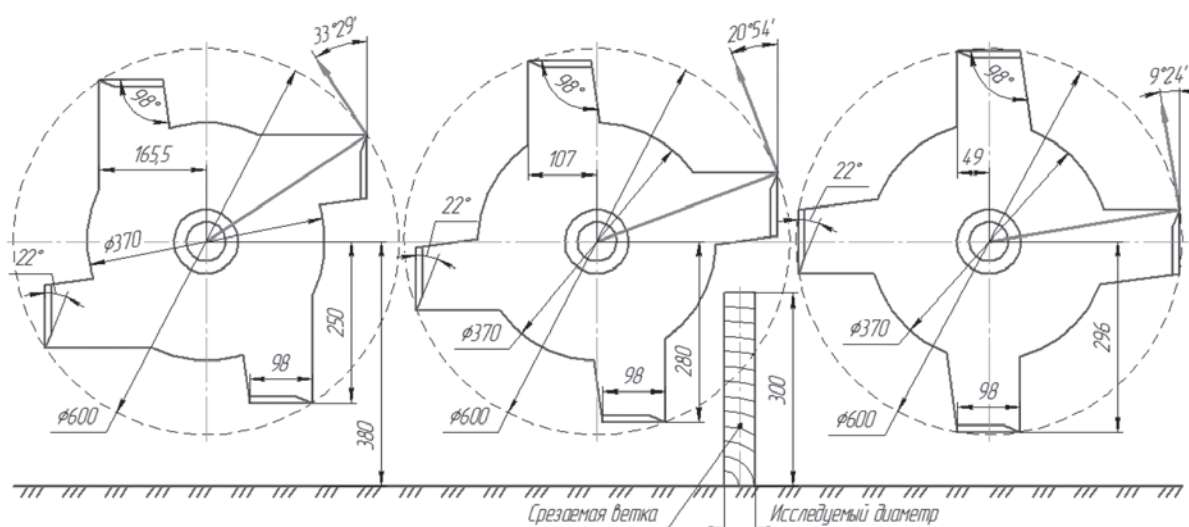


Рис. 2. Схема моделируемого эксперимента по удалению древесно-кустарниковой растительности из мелиоративного канала

Ниже приведем результаты трех смоделированных экспериментов. В первом из них рассматривалась степень влияния физико-механических свойств пород древесины (плотность и модуль упругости Юнга) на максимальный диаметр ствола веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган с заданными параметрами. При этом частота вращения рабочего органа составляла 900 об/мин. Коэффициент Пуассона поперек волокон для всех веток, участвующих в опыте, был принят равным 0,02 [4].

Цель второго эксперимента – определение воздействия изменения частоты вращения ротационного рабочего органа на максимальный диаметр веток (древесных остатков), которые способен удалить (перерезать) ротационный рабочий орган.

Конструктивные параметры ротационного рабочего органа остались прежними (см. рис. 2) и для второго эксперимента. Диаметр ротационного рабочего органа по периферии режущей кромки ножей составляет 600 мм, а смоделированная ветка длиной 300 мм расположена на расстоянии 380 мм от основания до центра вращения рабочего органа.

Третий эксперимент позволил установить зависимости угла отклонения основания режущей кромки ножа (влияет на угол входа лезвия в породу и на концентрацию усилия резания) и смещения режущей кромки ножей ротационного рабочего органа от максимального диаметра веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган. Углы отклонения основания режущей кромки ножа от касательной приняты 33°29', 20°54' и 9°24' при смещении режущей кромки ножа относительно осевых линий ротационного рабочего органа на 165,5, 107 и 49 мм соответственно (см. рис. 2). При этом удар ножом о ветку происходил на расстоянии от 84 до 130 мм от земли. Частота вращения ротационного рабочего органа составляла 900 об/мин в обоих случаях. Остальные параметры соответствовали предыдущим двум экспериментам.

Анализ результатов

Принимая во внимание все допущения, рассмотрим результаты первого эксперимента на примере одной из пород древесины. Так, ветки березы плотностью 640 кг/м³ с модулем Юнга 14,2 ГПа [4, 5] срезаются ротационным рабочим органом каналочистителя до предельного диаметра ветки, равного 42,1 мм (рис. 3, табл. 1). При значениях диаметра свыше предельных среза не происходит.

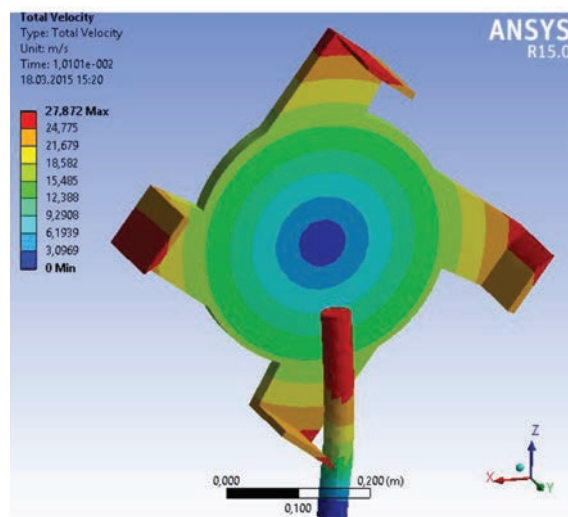


Рис. 3. Сопротивление ствола ветки березы диаметром 42,1 мм срезанию ротационным рабочим органом

Наиболее легко срезаемыми из представленных в эксперименте веток (см. рис. 4) являются ивовые (max \varnothing 50,8 мм), а наиболее тяжело срезаемыми – ветки дуба (max \varnothing 42 мм) и берёзы (max \varnothing 42,1 мм). Полученные данные показали, что разница в плотности древесины не оказывает значительного влияния на срезание ветки. Рост плотности на 100 кг/м³ всего на 0,21 % уменьшает

Таблица 1. Влияние входных параметров инженерного анализа ротационного рабочего органа на максимально срезаемый (предельный) диаметр веток различных пород древесины

Порода древесины	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, ГПа	Частота вращения раб. органа, об/мин			Макс. Ø среза, мм, при 900 об/мин		
			700	900	1100	Отклонение режущей кромки		
						на 165,5 мм	на 107 мм	на 49 мм
Береза	640	14,2	41,8	42,1	42,5	42,1	43,3	45,4
Дуб	780	14,2	41,4	42	42,7	42,0	43,2	45,3
Ель	445	9,6	44,8	48,9	53,3	48,9	50,4	51,3
Ива	455	8,98	48,6	50,8	53,6	50,8	51,7	52,6
Ольха	525	9,33	45,9	49,6	53,4	49,6	50,9	51,8
Осина	495	11,2	45,2	48,5	52,9	48,5	48,9	49,9
Сосна	505	12,2	42,1	44,9	45,9	44,9	45,8	46,7

максимально срезаемый (предельный) диаметр. При уменьшении модуля Юнга ветка становится более гибкой и пластичной, а предельный диаметр среза при этом будет увеличиваться. Так, уменьшение модуля Юнга на 1 ГПа увеличивает максимально срезаемый диаметр веток на 3,83 %, что для проанализированных пород древесины в среднем составляет 1,86 мм.

Во втором эксперименте проводилось моделирование процесса удаления древесных остатков при различной частоте вращения ротационного рабочего органа (см. табл. 1). Так, ветки ивы плотностью 455 кг/м³ и модулем Юнга 8,98 ГПа [4, 5] при 700 об/мин срезаются ротационным рабочим органом до предельного диаметра ствола ветки, равного 48,6 мм, при 900 об/мин срезаются ветки диаметром до 50,8 мм и при 1100 об/мин – ветки диаметром до 53,6 мм. Анализ полученных данных позволяет заключить, что увеличение частоты вращения ротационного рабочего органа на 100 об/мин увеличивает максимально срезаемый диаметр веток в среднем на 2,65 %, что для рассмотренных пород древесины составляет 1,24 мм.

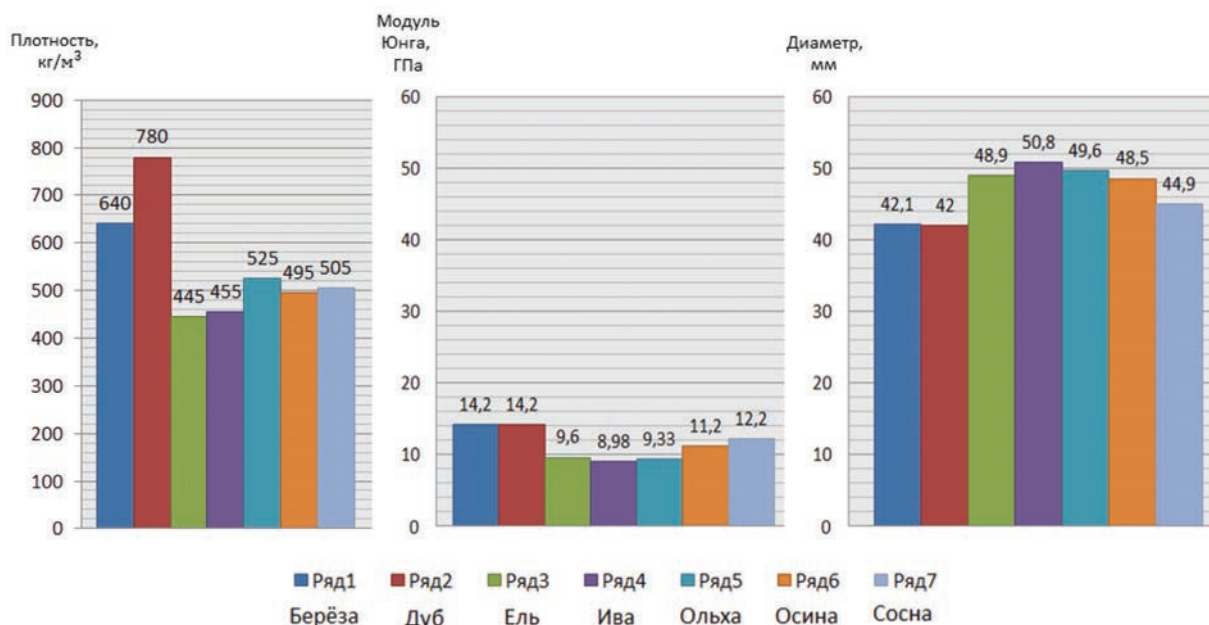


Рис. 4. Влияние плотности и модуля Юнга различных пород древесины на максимальный срезаемый диаметр ствола ветки

Проанализируем результаты третьего эксперимента (см. табл. 1). Как было показано ранее, ветка березы при смещении режущей кромки ножа от осевой линии ротационного рабочего органа на 165,5 мм срезается при значениях ее диаметра до 42,1 мм, свыше которого среза не происходило. В то же время та же ветка березы при смещении режущей кромки ножа на 107 мм может быть срезана до предельного значения диаметра ствола, равного 43,3 мм, а при смещении режущей

кромки ножа на 49 мм – до диаметра, равного 45,4 мм. Следовательно, смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа каналочистителя на 100 мм увеличивает максимально срезаемый диаметр ветки на 4,03 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,92 мм диаметра.

Таким образом, можно заключить, что наибольшее влияние на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины оказывает смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа (4,03 % на 100 мм). На втором месте – модуль упругости Юнга ствола ветки (3,83 % на 1 ГПа), далее – частота вращения ротационного рабочего органа (2,65 % на 100 об/мин) и плотность ствола ветки (0,21 % на 100 кг/м³).

Заключение

На основании результатов инженерного анализа установлено, что наиболее значимыми параметрами, влияющими на срез древесно-кустарниковой растительности, встречающейся в русле мелиоративных каналов, являются: диаметр поперечного сечения ствола ветки, коэффициент Пуассона вдоль волокон древесины и модуль упругости Юнга, а также частота вращения ротора и смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа каналочистителя.

Определены предельные (обеспечивающие критическую скорость резания) конструктивные и режимные параметры ротационных рабочих органов, позволяющие проводить качественное удаление наносов и сорной растительности со дна мелиоративных каналов.

Эксперименты показали, что древесные остатки в виде веток различных пород древесины диаметром свыше предельно срезаемых необходимо удалять из каналов для обеспечения работоспособности ротационного рабочего органа и соблюдения требований техники безопасности.

Список использованных источников

1. Мажугин, Е. И. Мелиоративные машины. Основы теории и расчета / Е. И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2007. – 161 с.
2. Будашов, И. А. Обоснование параметров ротационно-дискового режущего аппарата для резания толстостебельных культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Будашов; Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2013. – 22 с.
3. Мелиоративные машины / Б. А. Васильев [и др.]. – М.: Колос, 1980. – 351 с.
4. Перельгин, Л. М. Древесиноведение / Л. М. Перельгин, Б. Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 286 с.
5. Титов, В. Н. Определение характеристики древесно-кустарниковой растительности на каналах мелиоративных систем / В. Н. Титов, К. А. Гуцанович // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61). – С. 222–228.

М. А. Прищепов, И. Г. Рутковский

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: pma.eshp@gmail.com*

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПРОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье сформулированы рекомендации по выбору электротепловой схемы электродного электронагревателя с учетом технико-экономических параметров.

Ключевые слова: электродный электронагреватель, плотность тока, материалоемкость, тепловая инерционность, информационный сигнал.

M. A. Prishchepov, I. G. Rutkouski

*EI "Belarusian State Technological Agrarian University"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: pma.eshp@gmail.com*

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE ELECTRIC THERMAL CIRCUIT OF FLOW- THROUGH ELECTRODE ELECTRIC HEATERS

Abstract. The article formulates recommendations on the choice of an electric thermal circuit of an electrode electric heater, taking into account technical and economic parameters.

Keywords: electrode electric heater, current density, material consumption, thermal inertia, information signal.

Введение

В настоящее время для тепловой обработки широко используется косвенный электронагрев. Однако ограниченная теплопроводность обрабатываемых сред и невысокая допустимая температура на контактной поверхности теплообмена вызывает техническое противоречие между низкой температурой нагрева обрабатываемой среды и высокой температурой теплогенерирующих элементов [1]. Ситуация усугубляется также проблематичностью оценки температуры в электронагревательных установках (ЭНУ), поскольку серийно выпускаемые датчики температуры (заключенные в защитный кожух) имеют существенную инерционность. Для предотвращения указанных выше недостатков требуется принятие дополнительных мер по обеспечению равномерности нагрева и оценки температуры в ЭНУ. При быстротечности процессов термообработки термолabileльных сред для упрощения системы автоматического регулирования (САР) регулирования температуры электродных электронагревателей (ЭЭН) необходимо проводить с использованием малоинерционных датчиков температуры или электродных электронагревателей-датчиков (ЭЭН-Д), в которых в качестве термочувствительного элемента используется термозависимое сопротивление нагреваемой среды. При этом измерение её сопротивления наиболее просто и с высокой точностью можно производить методом нулевого или дифференциального сравнения. Для этого ЭЭН-Д должен иметь один или несколько промежуточных электродов и градиент температуры в обрабатываемой среде [2]. Допустимые технологические параметры ЭЭН для тепловой обработки сельскохозяйственных термолabileльных сред, такие как плотность тока и скорость движения в межэлектродном пространстве, определяются исходя из электрохимических процессов, протекающих под воздействием электрического тока и отложений, образующихся на электродах [1–3]. При использовании ЭЭН возникает вопрос обоснования выбора электротепловой схемы (ЭТС) ЭЭН, для обеспечения требований технологического процесса к обеспечению режима электротеп-

ловой обработки сельскохозяйственных термолabileльных сред, при минимальной материалоемкости и тепловой инерционности ЭНУ.

Цель данной статьи – обосновать выбор ЭТС ЭЭН текучих токопроводящих сред, обеспечивающей требуемую равномерность нагрева при минимальной материалоемкости и тепловой инерционности ЭЭН с возможностью контроля температуры обрабатываемой среды.

Основная часть

Правильный выбор ЭТС ЭЭН позволяет вести электронагрев при минимуме затрат. Наиболее равномерный нагрев по ширине электродов обеспечивают следующие типовые ЭТС проточных ЭЭН: однозонного ЭЭН с плоскопараллельной электродной системой (1Z), ЭЭН с секционированной электродной системой (CZ) и зонированной электродной системой (рис. 1).

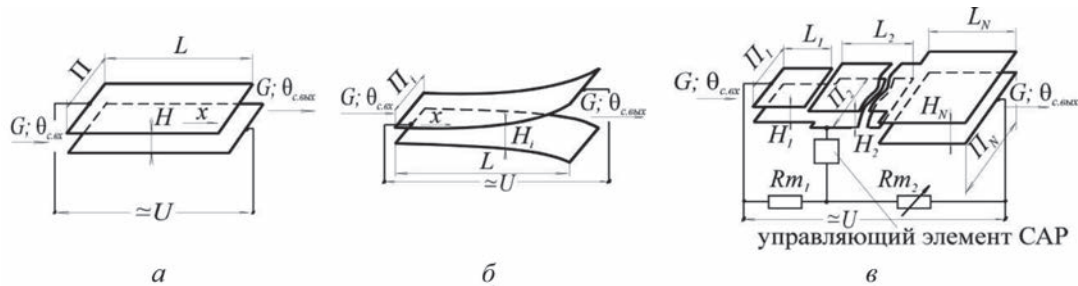


Рис. 1. Типовые ЭТС проточных ЭЭН: 1Z ЭЭН (а), с секционированной (б) и зонированной (в) электродной системой; G – массовый расход обрабатываемой среды, кг/с; L – длина электродов ЭЭН, В; $\theta_{c,вх}$, $\theta_{c,вых}$ – температура на входе и на выходе ЭЭН, °С; Rm_1 , Rm_2 – термнезависимые сопротивления измерительного моста ЭЭН-Д, Ом; N – количество последовательно соединенных зон (на единицу меньше количества электродов электродной системы ЭЭН); U – напряжение питания, CAP – система автоматического регулирования.

Электротепловые процессы (ЭТП), происходящие в представленных ЭЭН вдоль канала протекания среды во времени, описываются следующим дифференциальным уравнением [1]:

$$C_p \cdot \rho_c \cdot H_i \cdot \Pi_i \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} + C_p \cdot G \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial x} = \frac{U_i^2 \cdot \Pi_i \cdot \eta}{\rho_t(\theta_c) \cdot H_i},$$

где C_p – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°С); ρ_c – плотность обрабатываемой среды, кг/м³; H_i – межэлектродное расстояние ($H_i = H$ – при расчете ЭТП в 1Z ЭЭН), м; Π_i – ширина электродов ($\Pi_i = \Pi$ – при расчете ЭТП в 1Z ЭЭН), м; θ_c – температура обрабатываемой среды, °С; U_i – напряжение питания на i -й секции (зоне) электронагревателя ($U_i = U$ – при расчете ЭТП в 1Z и CZ ЭЭН), В; x – текущая координата длины ЭЭН, м; η – коэффициент полезного действия, о.е; ρ_t – удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м.

При описании ЭТП в проточном ЭЭН-Д с зонированной электродной системой (рис. 1, в) к уравнению (1), записанному для i -го участка (секции) любой k -й зоны, необходимо дополнить систему уравнений для вычисления напряжения U_k на k -й зоне ЭЭН-Д [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_k = \sum_{k=1}^N I \cdot R_k; \\ I = U / R; \\ R = \sum_{k=1}^N R_k; \\ R_k = \int_0^{L_k} \rho_t(\theta_c) dx \cdot \int_0^{L_k} H_k dx / \left(\int_0^{L_k} \Pi_k dx \cdot L_k^2 \right), \end{array} \right. \quad (2)$$

где I – текущее значение полного тока ЭЭН-Д, А; R_k – сопротивление k -й зоны ЭЭН-Д, Ом; R – полное сопротивление ЭЭН-Д, Ом; L_k – длина электродов k -й зоны ЭЭН-Д, м.

При расчете величины информационного сигнала (ИС) в измерительной диагонали моста ЭЭН-Д ΔU (рис. 1, в) используется выражение (3) [2]:

$$\Delta U = U \cdot R_{pr} \cdot \frac{Rm_3 \cdot Rm_2 - Rm_4 \cdot Rm_1}{Rm_{12} \cdot R_{pr} \cdot R + Rm_3 \cdot Rm_4 \cdot Rm_{12} + Rm_1 \cdot Rm_2 \cdot R}, \quad (3)$$

где R_{pr} – внутреннее сопротивление измерительного прибора, Ом; Rm_3, Rm_4 – термозависимые сопротивления ЭЭНД, образующие мостовую измерительную схему, Ом; $Rm_{12} = Rm_1 + Rm_2$ – сумма термозависимых сопротивлений мостовой измерительной схемы, Ом; $R = Rm_3 + Rm_4$ – термозависимое сопротивление ЭЭНД, Ом.

В связи с температурной зависимостью удельного сопротивления обрабатываемой среды плотность тока в межэлектродном пространстве возрастает при электротепловой обработке. Снижение материалоемкости и тепловой инерционности ЭНУ с ЭЭН ограничивается величиной допустимой плотности тока. Для сравнительного анализа эффективности ЭНУ на базе секционированных и зонированных ЭЭН сравнивались характеристики секционированных (CZ) ЭЭН, двух (2Z)-, трех (3Z)- и четырехзонного (4Z) ЭЭН-Д с 1Z ЭЭН.

Проточный 1Z ЭЭН характеризуется следующими параметрами: $L = 0,0163$ м; $\Pi = 0,04$ м; $H = 0,0163$ м; $\rho_o = 37,9$ Ом·м; $\alpha_T = -0,009$ 1/°C; $G = 0,002$ кг/с; $C_p = 4174$ кДж/(кг·°C); $\rho_c = 1000$ кг/м³; $U = 220$ В; $\eta = 0,95$.

CZ ЭЭН – $\Pi = 0,04$ м; $\eta = 0,95$; $X_1 = 0,001$ м; $H_1 = 0,0104$ м; $X_2 = 0,011$ м; $H_2 = 0,0107$ м; $X_3 = 0,021$ м; $H_3 = 0,0110$ м; $X_4 = 0,031$ м; $H_4 = 0,0115$ м; $X_5 = 0,041$ м; $H_5 = 0,0120$ м; $X_6 = 0,051$ м; $H_6 = 0,0127$ м; $X_7 = 0,061$ м; $H_7 = 0,0136$ м; $X_8 = 0,071$ м; $H_8 = 0,0147$ м; $X_9 = 0,081$ м; $H_9 = 0,0160$ м; $L = 0,084$ м; $H_{10} = 0,0163$ м; $C_p = 4174$ кДж/(кг·°C); $\rho_c = 1000$ кг/м³; $\rho_o = 37,9$ Ом·м; $\alpha_T = -0,009$ 1/°C; $G = 0,002$ кг/с; $U = 220$ В.

Двухзонный (2Z) ЭЭН-Д – $\Pi = 0,04$ м; $H = 0,0072$ м; $L_1 = 0,101$ м; $L_2 = 0,089$ м; $\eta = 0,95$; $\rho_o = 37,9$ Ом·м; $\alpha_T = -0,009$ 1/°C; $G = 0,002$ кг/с; $C_p = 4174$ кДж/(кг·°C); $\rho_c = 1000$ кг/м³; $U = 220$ В.

Трехзонный (3Z) ЭЭН-Д – $\Pi = 0,04$ м; $H = 0,0046$ м; $L_1 = 0,099$ м; $L_2 = 0,089$ м; $L_3 = 0,083$ м; $\eta = 0,95$; $C_p = 4174$ кДж/(кг·°C); $\rho_c = 1000$ кг/м³; $\rho_o = 37,9$ Ом·м; $\alpha_T = -0,009$ 1/°C; $G = 0,002$ кг/с; $U = 220$ В.

Четырехзонный (4Z) ЭЭН-Д – $\Pi = 0,04$ м; $H = 0,0034$ м; $L_1 = 0,1$ м; $L_2 = 0,09$ м; $L_3 = 0,085$ м; $L_4 = 0,08$ м; $\eta = 0,95$; $C_p = 4174$ кДж/(кг·°C); $\rho_c = 1000$ кг/м³; $\rho_o = 37,9$ Ом·м; $\alpha_T = -0,009$ 1/°C; $G = 0,002$ кг/с; $U = 220$ В.

Исследование проводилось при температуре на входе $\theta_{c\text{ ввх}} = 5$ °C, на выходе $\theta_{c\text{ вых}} = 60$ °C. Расчет электродных систем и характеристик ЭЭН и ЭЭН-Д проводился с использованием численных методик расчета. Разработанные математические модели и алгоритмы их исследования [1, 2] позволили проводить расчет электротепловых характеристик, включая и величину ИС ЭЭН-Д, с погрешностью, не превышающей 5–10 % относительно экспериментальных данных, что достаточно для их использования как в практическом проектировании ЭНУ, так и для сравнительного анализа их характеристик.

Неравномерность плотности тока $\delta_{\Delta J i}$ соответственно для 1Z и CZ ЭЭН, а также для 2Z, 3Z и 4Z проточного ЭЭН-Д рассчитывались по выражению:

$$\delta_{\Delta J i} = ((J_{\max i} - J_{\min i}) / J_{\min i}) \cdot 100, \quad (4)$$

где $J_{\max i}$ – максимальное значение плотности тока на секции ЭЭН, А/м²; $J_{\min i}$ – минимальное значение плотности тока на секции ЭЭН, А/м²; i – индекс, соответствующий 1Z и, CZ ЭЭН, 2Z, 3Z и 4Z проточному ЭЭН-Д.

Снижения неравномерности плотности тока $\Delta\delta_{\Delta J i}$ для указанных проточных ЭЭН и ЭЭН-Д рассчитывались по формуле:

$$\Delta\delta_{\Delta J i} = ((\delta_{\Delta J 1Z} - \delta_{\Delta J i}) / \delta_{\Delta J 1Z}) \cdot 100, \quad (5)$$

где i принимает, соответственно, значения CZ, 2Z, 3Z и 4Z.

Результаты расчета снижения неравномерности плотности тока проточного CZ ЭЭН, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН-Д, по сравнению с проточным 1Z ЭЭН представлены в табл. 1.

Таблица 1. Снижение неравномерности плотности тока проточного CZ ЭЭН, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН-Д по сравнению с проточным 1Z ЭЭН

ЭТС ЭЭН	Минимальная плотность тока J_{\min} , А/м ²	Максимальная плотность тока J_{\max} , А/м ²	Относительная неравномерность $\Delta\delta_{J_p}$, %	Снижение неравномерности плотности тока в сравнении с 1Z ЭЭН, %
Проточный 1Z ЭЭН	372,35	796,11	113,81	–
Проточный CZ ЭЭН	581,23	764,88	31,60	$D\delta_{CZ\text{ЭЭН}}=72,24$
Проточный 2Z ЭЭН-Д	467,83	767,99	64,16	$D\delta_{2\text{ЭЭН}}=43,62$
Проточный 3Z ЭЭН-Д	500,97	766,76	53,06	$D\delta_{3\text{ЭЭН}}=53,38$
Проточный 4Z ЭЭН-Д	510,25	766,18	50,16	$D\delta_{4\text{ЭЭН}}=55,93$

Изменение материалоемкости (площади электродов), соответственно, указанных выше проточных ЭЭН $\Delta\delta_{S_i}$ по отношению к проточному 1Z ЭЭН рассчитывается по выражению:

$$\delta_{S_i} = ((S_{1Z} - S_i) / S_{1Z}) \cdot 100, \quad (6)$$

где S_i – площади электродов соответствующих, указанных выше, проточных ЭЭН, м²; S_{1Z} – площадь электродов проточного 1Z ЭЭН, м².

Результаты расчета изменения материалоемкости (площади электродов) проточного CZ ЭЭН, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН-Д по сравнению с проточным 1Z ЭЭН представлены в табл. 2.

Таблица 2. Изменение материалоемкости (площади электродов) проточного CZ, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН по сравнению с проточным 1Z ЭЭН

Название ЭЭН	Площадь электродов S_p , м ²	Изменение площади электродов δ_{S_p} , %
Проточный 1Z ЭЭН	0,00888	–
Проточный CZ ЭЭН	0,00672	–24,32
Проточный 2Z ЭЭН-Д	0,01520	71,17
Проточный 3Z ЭЭН-Д	0,02168	144,14
Проточный 4Z ЭЭН-Д	0,02840	219,82

Тепловая инерционность объекта характеризуется постоянной времени T . Это время, в течение которого температура объекта достигнет 0,638 установившейся температуры. Снижение тепловой инерционности (постоянной времени нагрева) указанных выше проточных ЭЭН $\Delta\delta_{T_i}$ по отношению к проточному 1Z ЭЭН рассчитывается по уравнению:

$$\delta_{T_i} = ((T_{1Z} - T_i) / T_{1Z}) \cdot 100, \quad (7)$$

где T_i – постоянная времени нагрева проточного CZ ЭЭН, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН-Д, с; T_{1Z} – постоянная времени нагрева 1Z проточного ЭЭН, с.

Результаты расчета снижения тепловой инерционности (постоянной времени нагрева) проточного CZ ЭЭН, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН-Д по сравнению с проточным 1Z ЭЭН представлены в табл. 3.

Таблица 3. Снижение тепловой инерционности (постоянной времени нагрева) проточного CZ, 2Z, 3Z и 4Z ЭЭН по сравнению с проточным 1Z ЭЭН

Название ЭЭН	Постоянная времени T_p , с	Снижение тепловой инерционности $\Delta\delta_{T_p}$, %
Проточный 1Z ЭЭН	24,49	–
Проточный CZ ЭЭН	15,87	35,20
Проточный 2Z ЭЭН-Д	19,61	19,93
Проточный 3Z ЭЭН-Д	17,86	27,07
Проточный 4Z ЭЭН-Д	16,85	31,20

При подключении параллельно ЭЭН двух последовательно соединенных сопротивлений (постоянного и переменного) $Rm1$, $Rm2$, вместе с двумя термозависимыми сопротивлениями, образующимися между фазным и промежуточным электродом, а также нулевым и промежуточным электродом, образуется измерительный мост (рис. 1, в). Сигнал разбаланса моста снимается с промежуточного электрода и точки соединения постоянного и переменного последовательно соединенных сопротивлений. Измерительный мост балансируется при холодном состоянии обрабатываемой среды между электродами. При этом суммарное значение дополнительных сопротивлений $Rm1$ и $Rm2$ составляет 6700 Ом. К измерительной диагонали моста подключался электроизмерительный прибор с внутренним сопротивлением $R_{pr} = 10000$ Ом. При нагреве изменяются сопротивления плеч мостовой схемы, что приводит к разбалансу моста и увеличению уровня ИС в его диагонали. Такой ЭЭН возможно использовать в качестве ЭЭН-Д.

Следует также отметить, что на величину ИС разбаланса моста ΔU , помимо температуры на выходе из ЭЭН-Д $\theta_{c.вых}$, оказывает влияние напряжение питания U , величина массового расхода обрабатываемой среды G и температура на входе в ЭЭН-Д $\theta_{c.вх}$, что объясняется изменением мощности ЭЭН-Д и соответствующим изменением температуры обрабатываемой среды на выходе нагревателя $\theta_{c.вых}$. Также на величину ИС оказывает влияние соотношение термозависимых сопротивлений измерительного моста, т. е. выбор промежуточного электрода в качестве измерительного и ТКС обрабатываемой среды. Получаемый ИС может использоваться для сигнализации аварийных режимов работы и контроля отклонений от требуемых режимов технологического процесса.

Относительное повышение величины ИС характеризующего температуру нагрева в проточных ЭЭН-Д с зонированными электродными системами $\Delta\delta_{\Delta U}$, по сравнению с ИС, получаемым в регуляторах температуры с серийно выпускаемыми термодатчиками (термометры сопротивления ТСМ и ТСР) на примере датчика температуры РТ-100 (ТСП-100), подключенного к контроллеру AL2-14MR-A через адаптер AL2-2PT-ADP, рассчитывалось по выражению:

$$\delta_{\Delta U} = \Delta U / \Delta U_{TS}, \quad (8)$$

где ΔU_{TS} – величина ИС в регуляторах температуры с серийно выпускаемыми термодатчиками, В.

Результаты расчета повышения величины ИС, характеризующего температуру нагрева обрабатываемой среды в 2Z, 3Z и 4Z проточных ЭЭН-Д, по сравнению с ИС датчика температуры РТ-100 (ТСП-100), подключенного к контроллеру AL2-14MR-A через адаптер AL2-2PT-ADP ($\Delta U_{TS} = 0,011$ В), представлены в таблице 4.

Таблица 4. Повышение величины ИС характеризующего температуру нагрева обрабатываемой среды в 2Z, 3Z и 4Z проточных ЭЭН по сравнению с ИС ТСП-100

Название источника ИС характеризующего температуру нагрева обрабатываемой среды	Номер промежуточного электрода j	Величина ИС ΔU , В	Относительное увеличение величины ИС в сравнении с ИС ТСП-100 $\delta_{\Delta U}$, %
Проточный 2Z ЭЭН-Д	1	16,31	1482
Проточный 3Z ЭЭН-Д	1	15,23	1384
	2	15,15	1376
Проточный 4Z ЭЭН-Д	1	12,99	1180
	2	16,92	1537
	3	13,01	1182

Используя проведенный анализ характеристик ЭЭН и ЭЭН-Д, можно провести выбор рациональной электротепловой схемы ЭЭН и ЭЭН-Д. Помимо этого, использование многозонных ЭЭН-Д позволяет получать мощный ИС, характеризующий температуру нагрева в межэлектродном пространстве. Кроме того, при снижении величины массового расхода обрабатываемой среды многозонного ЭЭН-Д увеличивается температура среды и уменьшается время ее нагрева. При этом напряжение разбаланса моста ΔU , равное разбалансу моста при проектируемом режиме работы, достигается также за меньшее время, а установившееся напряжение разбаланса моста ΔU

возрастает и значительно превышает значение разбаланса для проектируемого режима работы, что возможно использовать для контроля аварийных режимов работы.

Заключение

1. Секционирование электродных систем наиболее существенно снижает неравномерность плотности тока в межэлектродном пространстве, материалоемкость и тепловую инерционность ЭНУ, однако может применяться только для электротепловой обработки жидких термолабильных сред, не приводящих к образованию застойных зон.

2. Для обработки вязких термолабильных сред целесообразно использование ЭЭН с зонированной электродной системой, при этом обеспечивается возможность контроля температуры в межэлектродном пространстве и защита ЭНУ от аварийных режимов работы.

3. Сравнительный анализ проточных ЭЭН и ЭЭН-Д с плоскопараллельной, секционированной и зонированной электродными системами показал, что ЭЭН и ЭЭН-Д с секционированными и зонированными электродными системами соответственно обеспечивают снижение неравномерности плотности тока в обрабатываемой среде межэлектродного пространства на 43,62–72,24 % в сравнении с однозонным проточным ЭЭН. При использовании секционированных ЭЭН происходит снижение материалоемкости электродов на 24,32 % и тепловой инерционности на 35,20 % в сравнении с однозонным проточным ЭЭН. Использование зонированных ЭЭН и ЭЭН-Д обеспечивает высокую равномерность плотности тока при увеличении их материалоемкости на 71,17–219,82 % и снижении инерционности на 19,93–31,20 % относительно проточного ЭЭН с однозонной плоскопараллельной электродной системой. Кроме того, зонированные ЭЭН-Д позволяют получать мощный ИС о температуре нагрева среды, более чем в 1000 раз превосходящий ИС от серийно выпускаемых датчиков температуры, что упрощает систему автоматического регулирования тепловых режимов ЭНУ.

Список использованных источников

1. Прищепов, М. А. К вопросу разработки проточных электродных электронагревателей (ЭЭН) / М. А. Прищепов, И. Г. Рутковский // Вопросы агроэнергетики. – Минск: Технопринт, 2001. – С. 218–223.
2. Прищепов, М. А. К вопросу анализа чувствительности зонированных электродных электронагревателей-датчиков / М. А. Прищепов, И. Г. Рутковский // Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин : тезисы второй республиканской научно-технической конференции, Минск, 21–23 мая 1996 г. – Минск: БАТУ, 1996. – С. 22.
3. Заяц, Е. М. Основы электротехнологических методов обработки влажных кормов / Е. М. Заяц. – Минск: Ураджай, 1997. – 216 с.

П. В. Авраменко¹, В. Б. Кравцов¹, А. С. Милькевич²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: pavel.auramenka@bsatu.by

²ОАО «Минский завод шестерен»

г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: kb_norno@mgw.by

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛИСТОВОГО ЛАМИНИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС (ШЕСТЕРЕН)

Аннотация. Представлены результаты исследования эффективности применения аддитивной технологии листового ламинирования при производстве цилиндрических прямозубых зубчатых колес.

Ключевые слова: аддитивные технологии, листовое ламинирование, зубчатое колесо, шестерня.

P. V. Auramenka¹, V. B. Krautsou¹, A. S. Milkevich²

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus
E-mail: pavel.auramenka@bsatu.by

²JSC Minsk Gear Plant,

Minsk, Republic of Belarus,
E-mail: kb_norno@mgw.by

APPLICATION OF ADDITIVE SHEETING TECHNOLOGY LAMINATING TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF CYLINDRICAL SPUR GEARS (PINIONS)

Abstract. The results of the study of the effectiveness of additive sheet lamination technology in the production of spur gears are presented.

Keywords: additive technologies, sheet lamination, gear wheel, pole gear.

Введение

Современные аддитивные технологии (АТ) получают все большее распространение при изготовлении различных деталей машин из металла [1, 2].

Одной из разновидностей АТ является технология листового ламинирования металла Metal Sheet Lamination (MSL/SL), в частности ее вариант: «раскрой-пакетирование-соединение» («cut-stack-bond», (CSB)), реализация которой осуществляется без применения специальных дорогостоящих 3D-принтеров. При этом основным применяемым оборудованием являются лазерные или фрезерные станки, с помощью которых выполняется контурный раскрой металлических листов. Это оборудование имеется на многих промышленных предприятиях, которые обычно оказывают услуги по контурному раскрою по вполне приемлемым ценам. Металлические листы легкодоступны, а их цена обычно не превышает нескольких долл. США за 1 кг, т. е. они гораздо дешевле, чем металлические порошки или проволоки, применяемые в других видах АТ-технологий прямого изготовления изделий из металла [3, 4].

Целью работы является оценка работоспособности аддитивной технологии листового ламинирования при производстве цилиндрических прямозубых зубчатых колес (шестерен) с использованием метода конечных элементов пакета АРМ FEM CAD-системы КОМПАС-3D.

Основная часть

Рассмотрим особенности конструкции шестерен, обусловленные их изготовлением по SL-CSB технологии.

В отличие от цельноструктурной (рис. 1, *а*), цилиндрическая прямозубая шестерня, полученная по SL-CSB технологии (рис. 1, *б*), состоит из набора одинаковых листовых выкроек, которые совпадают по форме. Все выкройки, собранные в пакет, совмещаются друг с другом. При этом зубья в полученной таким способом шестерне благодаря шлифовальной обработке имеют гладкие рабочие (боковые) поверхности, как и в аналогичной шестерне, полученной по традиционной технологии (рис. 1, *а*).

Итак, цилиндрическая прямозубая шестерня, изготовленная по SL-CSB технологии (рис. 1, *б*), практически полностью соответствует по геометрическим характеристикам своему традиционному аналогу (рис. 1, *а*). Как следствие, она соответствует ему и по функциональным свойствам при условии, что обладает требуемой прочностью.

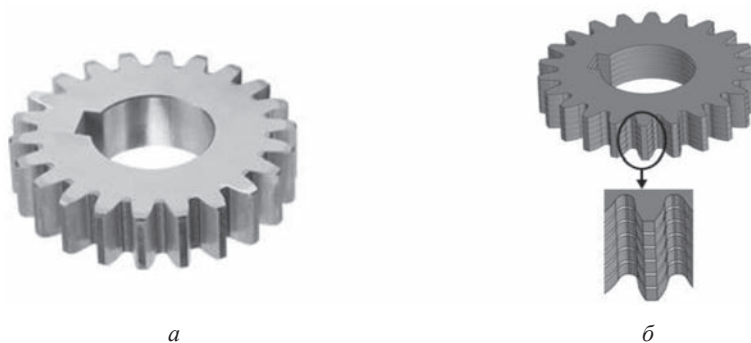


Рис. 1. Цилиндрические прямозубые шестерни: *а* – с цельной структурой; *б* со слоистой структурой

С целью разработки и испытания конструкции цилиндрической зубчатой шестерни, изготовленной по аддитивной технологии листового ламинирования, была выбрана сменная шестерня с гитары механизма деления зубофрезерного вертикального полуавтомата 5E32.

Далее согласно специально разработанной методике листовый металл (Сталь 65Г) с толщиной листа 5 мм подвергали контурному раскрою с помощью лазерного станка LaserCUT-1515-6-2-N-RT (ООО «Рухсервомотор», РБ), в результате чего получали комплекты выкроек в форме шестерен соответствующей толщины (рис. 2). Выкройки пакетировали и соединяли между собой с помощью клея «Копект». Таким способом получали цилиндрические прямозубые шестерни, составленные из листовых выкроек (рис. 3).



Рис. 2. Листовая выкройка цилиндрической шестерни



Рис. 3. Цилиндрическая шестерня из листовых выкроек

Изготовление шестерни путем раскроя и соединения листовых выкроек клеевым соединением выявило следующие недостатки: в частности, увеличивается толщина изготавливаемой шестерни, т. е. толщину клеевых прослоек следует учитывать при проектировании шестерен, получаемых по SL-CSB технологии, кроме того, увеличивается стоимость изготовления и замедляется процесс

сборки готовой шестерни за счет увеличения количества технологических операций, времени за-
сыхания клея и дополнительной обработки изготовленной шестерни от клея.

Для проведения испытаний шестерни было предложено использовать вместо клеевого соеди-
нения резьбовое. Соответственно для изготовления шестерни была подготовлена конструкторская
документация, в частности, сборочный чертеж (рис. 4), согласно которому в листовых выкройках
дополнительно выполнялись отверстия, где далее нарезалась метрическая резьба и вставлялись
крепежные винты.

Далее был проведен прочностной расчет с использованием метода конечных элементов и па-
кета АРМ FEM CAD-системы КОМПАС-3D [5]: создание и подготовка 3D-модели, задание гра-
ничных условий (закрепление и силовое нагружение), генерация конечно-элементной сетки на
3D-модели, проведение расчета и анализ полученных данных.

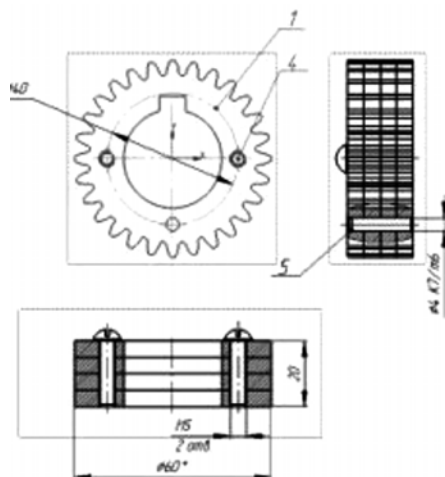


Рис. 4. Проект цилиндрической шестерни, изготовленной из листовых выкроек с резьбовым соединением

Для подготовки к расчетам была спроектирована и использована 3D-модель выкройки шестер-
ни (рис. 5), на основании которой была создана 3D-модель шестерни в сборе (рис. 6).

Далее перед генерацией конечно-элементной сетки на 3D-модели были заданы закрепления и
максимально возможные нагрузки.

Для закрепления использовался шпоночный паз (рис. 7).

В соответствии с особенностями внешних воздействий и условий функционирования для за-
дания максимально возможных нагрузок на шестерню были приняты значения, соответствующие
паспорту станка, в частности, согласно технической документации на зубофрезерный вертикаль-
ный полуавтомат 5Е32 принята для расчетов $F_{t,max} = 1000\text{H}$.



Рис. 5. 3D-модель листовой выкройки цилиндрической шестерни

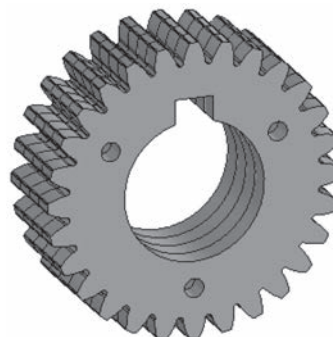


Рис. 6. 3D-модель цилиндрической шестерни в сборе

Далее был проведен прочностной расчет, результаты которого представлены на рис. 8.



Рис. 7. Схема закреплений и силового воздействия на шестерню

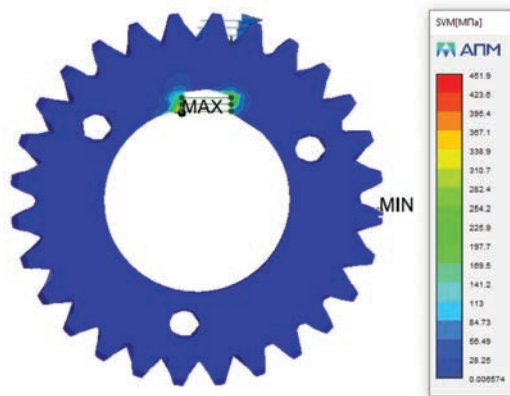


Рис. 8. Диаграммы распределения эквивалентных напряжений по фон Мизесу SVM(МПа) в шестерне под нагрузкой

На рис. 8 представлены поля распределения эквивалентных напряжений по фон Мизесу SVM(МПа) в исследуемой шестерне; визуально, по цвету, определяется величина напряжений, возникающих в конструкции под действием внешних сил, красным цветом – максимальное значение, синим – минимальное; нулевые или изотропные зоны также окрашены в синий цвет.

Анализ эквивалентных напряжений, представленных на рис. 8, показывает, что при нагрузках, действующих в процессе работы шестерни, коэффициент запаса прочности выше допустимого минимального показателя в значении $K_{зап,мин}=1,5$ [6; 7, с. 42]. Кроме того, на основании расчета и анализа полученных данных выявлены наименее нагруженные участки конструкции шестерни, что позволяет провести дальнейшую модификацию ее конструкции с целью снижения металлоемкости.

На основании полученных результатов моделирования на лазерном станке произвели раскрой листового металла Сталь 65Г толщиной 5 мм для получения выкроек шестерни (рис. 9). Далее для устранения облоя проводилась плоскошлифовальная операция и сбор шестерни из выкроек с винтовой фиксацией (рис. 10).

Дополнительно проводили термическую обработку полученной шестерни для получения твердости материала в пределах 38–42 HRC, а также зубошлифовальную операцию на шлицешлифовальном станке с ЧПУ В3-729Ф4-02.



Рис. 9. Полученные выкройки шестерни после лазерной и шлифовальной операций



Рис. 10. Шестерня в сборе

Испытания работоспособности предложенной шестерни (без проведения стендовых испытаний), изготовленной по аддитивной технологии листового ламинирования проводились на зубофрезерном станке 5Е32 (рис. 11). При проведении испытаний, после форсированного режима нагружения, осмотр не выявил признаков повреждений.



Рис. 11. Сменная цилиндрическая шестерня, установленная в механизм деления зубофрезерного вертикального полуавтомата 5E32

Для проведения модификации конструкции шестерни с целью снижения ее металлоемкости при сохранении прочностных характеристик были использованы полученные диаграммы распределения полей напряжения (рис. 8). Учитывая технологические ограничения, уменьшение металлоемкости конструкции возможно только с внесением дополнительных отверстий в структуру шестерни. Учитывая сплошность поверхности шестерни на данном этапе исследований по снижению металлоемкости конструкции, допустили применение сквозных отверстий.

Для подготовки к расчетам была спроектирована и использована облегченная 3D-модель выкройки шестерни с дополнительными отверстиями, снижающими ее металлоемкость (рис. 12). Диаметр отверстий подбирался экспериментально, в соответствии с диаграммой распределения полей напряжений (рис. 8). Далее была создана 3D-модель шестерни в сборе (рис. 13) и заданы граничные условия с указанием закреплений и максимально возможных нагрузок (рис. 14).

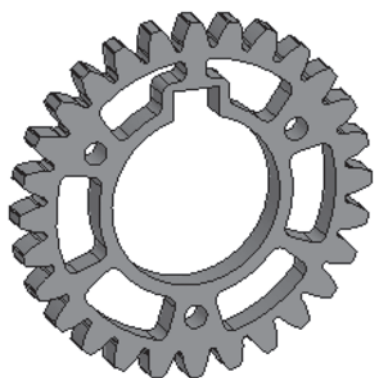


Рис. 12. 3D-модель листовой выкройки цилиндрической прямозубой шестерни



Рис. 13. 3D-модель цилиндрической прямозубой шестерни в сборе

Анализ эквивалентных напряжений, представленных на рис. 15, показывает, что при нагрузках, действующих в процессе работы шестерни, коэффициент запаса прочности превышает допустимый показатель в значении $K_{зап} = 1,5$.

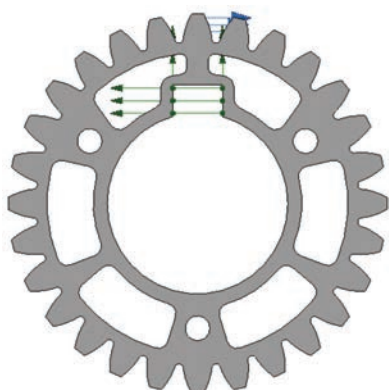


Рис. 14. Схема закреплений и силового воздействия на шестерню

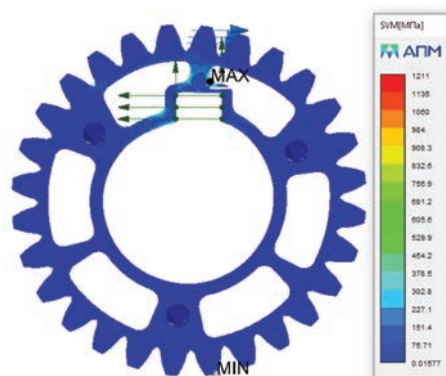


Рис. 15. Диаграммы распределения эквивалентных напряжений по фон Мизесу SVM (МПа) в шестерне под нагрузкой

В рамках совместных работ по научно-техническому сотрудничеству специалистов Минского завода шестерен и Белорусского государственного аграрного технического университета разработанный технологический процесс листового ламинирования цилиндрических прямозубых шестерен позволяет заменить базовые операции на одну операцию лазерной резки, что, в свою очередь, повышает точность, а также снижает длительность и стоимость изготовления. Вместе с тем, что немаловажно, обеспечивается снижение металлоемкости детали при сохранении требуемых прочностных свойств.

На рис. 16 представлен изготовленный с помощью технологии листового ламинирования образец облегченной выкройки цилиндрической прямозубой шестерни. Данная конструкция предусматривает снижение металлоемкости и, соответственно, массы шестерни на 36,9 % за счет выполнения дополнительных отверстий (исходная масса шестерни – 0,274 кг, облегченная масса шестерни – 0,173 кг).

Предварительные испытания дают основания полагать, что такие зубчатые колеса могут быть использованы для отдельных передач в общем машиностроении и за счет этого может быть достигнуто снижение веса передачи. Для более конкретных рекомендаций необходимы дополнительные исследования.

Заключение

В данной статье на примере изготовления цилиндрических прямозубых шестерен были рассмотрены некоторые возможные пути решения применения аддитивной технологии листового ламинирования, в частности для снижения себестоимости производства единичных образцов (при проведении ремонтных работ и испытаний), а также снижения металлоемкости шестерен с использованием метода конечных элементов пакета APM FEM CAD-системы КОМПАС-3D.

В результате проведенного моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния шестерен с помощью приложения конечно-элементного анализа APM FEM CAD-системы КОМПАС-3D, позволяющего учитывать особенности конструкции детали, получены изображения полей напряжений в трехмерной модели шестерни, на основании которых была разработана ее конструкция с уменьшенной металлоемкостью.

Результаты были использованы при создании новой конструкции цилиндрической прямозубой шестерни, по которому созданы опытные образцы для проведения испытаний. Масса новой конструкции шестерни на 36,9 % ниже исходной.

Список использованных источников

1. Аддитивное производство деталей сельскохозяйственных машин / Н. К. Толочко [и др.] // Исследования, результаты (Алматы). – 2020. – № 4. – С. 335–344.
2. Проектирование и аддитивное производство деталей машин / Н. К. Толочко [и др.] // Агропанорама. – 2020. – № 4. – С. 2–7.
3. Толочко, Н. К. Аддитивные технологии: проблема ступенчатого рельефа поверхности / Н. К. Толочко, О. В. Сокол // Агропанорама. – 2019. – № 2. – С. 12–16.
4. Проблема ступенчатого рельефа при изготовлении шестерен по аддитивной технологии листового ламинирования / Н. К. Толочко [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 1. – С. 2–7.
5. Система прочностного анализа APM FEM для КОМПАС-3D. [Электронный ресурс] // НТЦ «АПМ». – Режим доступа: <https://arm.ru/arm-fem>. – Дата доступа: 03.05.2023.
6. ГОСТ 27609-88. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Основные положения и требования к проведению и нормативно-техническому обеспечению. – М.: Стандартинформ, 1989. – 13 с.
7. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.



Рис. 16. 3D-модель листового выкройки цилиндрической шестерни

СОДЕРЖАНИЕ

Комлач Д. И., Юрин А. Н. Агропроизводственная характеристика интенсивного садоводства Беларуси.	3
Комлач Д. И., Воробей А. С., Голдыбан В. В., Бабак Ю. Н. Новая концепция высаживающего аппарата пневматического типа для картофелесажалки для точной посадки клубней картофеля.	9
Комлач Д. И., Юрин А. Н. Эффективность средств механизации интенсивного садоводства Беларуси.	13
Шавазов К.А., Комлач Д. И. Приспособление зернового комбайна для уборки соломы в за-прессованном виде.	23
Игамбердиев А. К., Усманова Г.Ф., Усманов Э. З., Бакач Н. Г. Оценка физических свойств почв Узбекистана.	28
Перепечаев А. Н., [Кислов Е. В.], Тарима А. И. Выбор режимов работы сушильной машины МСТ-2.	34
Перепечаев А. Н., Тарима А. И., Колешко С. П. Проведение теоретических исследований опи-сывающих рациональную связь технологических и конструктивных параметров рабочих органов трепальной машины со свойствами льнотресты.	39
Мисун Л. В., Азаренко В. В., Мисун Ал-й Л. Организационные мероприятия и технические решения по повышению производственной и пожаробезопасности кормоуборочных комбайнов.	44
Дыба Э. В., Трофимович Л. И., Яровенко П. В. Результаты проведения экспериментальных исследований по установлению зависимости влияния конструктивных и кинематических парамет-ров рабочих органов сдвоенного типа на потери травяных кормов и засорение примесями форми-руемого валка.	49
Дыба Э. В., Трофимович Л. И., Яровенко П. В. Анализ и обобщение полученных результа-тов экспериментальных исследований процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа.	55
Жешко А. А., Ленский А. В., Володкевич В. И., Шах А. В. Результаты проектирования при-ложения для автоматизированного формирования структуры парка мобильных кормоуборочных машин.	63
Клыбик В. К., Пылило И. С. Экспериментальное исследование сноса рабочей жидкости при ультромалообъемном опрыскивании.	69
Юрин А. Н. Анализ технических средств для автоматизированной сортировки плодов.	74
Юрин А. Н. Анализ технологий утилизации срезанных веток в садах интенсивного типа.	77
Юрин А. Н. Разработка архитектуры искусственной нейронной сети системы технического зрения для сортировки яблок.	81
Юрин А. Н. Теоретическое обоснование рациональных параметров привода активатора ягодо-уборочного комбайна.	88
Юрин А. Н. Создание системы технического зрения с искусственной нейронной сетью для сортировки яблок.	97
Юрин А. Н. Анализ исследований по обоснованию параметров рабочих органов машин для утилизации обрезанных веток плодовых деревьев.	108
Юрин А. Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы туннельного опрыскивателя для садов интенсивного типа.	115
Юрин А. Н., Кострома С. П. Результаты исследований контура увлажнения при капельном поливе.	119

Юрин А. Н., Кострома С. П. Анализ существующих систем управляемого капельного полива.	125
Лепёшкин Н. Д., Мижурин В. В. Исследование влияния ширины долота на критическую глубину рыхления чизельным рабочим органом.	132
Клыбик В. К., Ракевич Ю. А. Исследование ротационного распылительного устройства системы промывки молокоохладителей.	136
Ракевич Ю. А. Определение полной теплоотдачи вымени коровы.	146
Капустин Н. Ф., Тарновский В. Ю. Биогазовый энергопотенциал растительных остатков в овощеводстве защищенного грунта Республики Беларусь.	151
Пылило И. С., Тарима А. И., Колешко С. П. Возможность применения бесконтактного способа для исследования динамики изменения качественных показателей лент тресты льна в процессе вылежки на поле.	155
Пылило И. С., Тарима А. И., Колешко С. П. Исследование отклонений движения самоходных и прицепных пресс-подборщиков от ленты льна.	158
Пылило И. С., Тарима А. И., Колешко С. П. Определение рациональных конструктивных параметров и режимов работы трепальной установки.	163
Бегун П. П., Микульский В. В. Теоретическое обоснование диаметра каткового рабочего органа для предпосевной обработки почвы под мелкосемянные культуры.	169
Константинов В. М., Голдыбан В. В., Вегера И. И., Воробей А. С., Курилович М. И., Антоненко А. Н. Испытания на износ упрочненных культиваторных лап.	175
Андруш В. Г., Мацкевич И. В., Шелегова Е. В., Володкевич В. И., Быстрова В. А. Обоснование модели расследования несчастных случаев в животноводстве, вызванных действием факторов природного характера.	181
Жешко А. А., Ленский А. В., Эрдэнэтуяа Б., Нямгэрэл Б. Аналитический обзор датчиков для реализации информационно-вычислительной системы организации механизированных работ.	188
Быков Н. Н., Кошля Г. И., Дыба Э. В. Определение общей площади поля, контактирующей с движителями МТА при заготовке кормов из трав.	194
Дунаев А. В., Тарасенко В. Е., Жешко А. А. Бесприборные приемы контроля технического состояния автотракторных двигателей.	199
Смирнов А. Н., Серебрякова Н. В., Авраменко П. В., Лепешкин Н. Д., Жушма Е. Ю. Выбор рационального режима движения исполнительного звена гидроцилиндра фронтального погрузчика с позиции энергосбережения.	206
Лазарев С. Ю., Тарасенко В. Е., Дунаев А. В., Жешко А. А. Значение геомодификаторов поверхностей трения при эксплуатации и ремонте автотракторных двигателей.	210
Ляхов А. П., Непарко Т. А., Быков Н. Н., Дыба Э. В. Распределение крутящих моментов в трансмиссии трактора 4x4 и их влияние на кинематику качения ведущих колес при блокированной схеме связи.	219
Бурдейко В. А., Ловкис В. Б., Дыба Э. В. Расчет параметров лотка и копиров машины для сбора колорадского жука.	225
Шупилов А. А., Ловкис В. Б., Дыба Э. В. Адаптация режимно-конструктивных параметров ротационной косилки-плющилки к виду и состоянию трав.	229
Леонов А. Н., Непарко Т. А., Ли Цинчжэнь, Дыба Э. В. Операция вспашки: производительность труда и удельные эксплуатационные затраты.	234
Леонов А. Н., Ли Цинчжэнь, Дыба Э. В., Непарко Т. А., Жушма Е. Ю. Стохастическое моделирование процессов растениеводства с помощью ортогональных многочленов.	243
Годжаев З. А., Лавров В. А. Горгодзе А. Р. Система машин как главный аспект сельхозмашиностроения Союзного государства.	254
Назаров Н. Н., Некрасова И. В. Техническое обеспечение процесса внесения в почву бактериальных удобрений.	258
Хакимов Б. Б., Шарипов З. Ш., Бердимуратов П. Т., Аликулов С., Капустин Н. Ф. Пути повышения дисперсности распыления многокомпонентной топливной смеси в камерах сгорания дизелей.	263
	351

Шаймарданов Б. П., Филиппов А. И., Бердимуратов П. Т., Рузиев Д., Голдыбан В. В. Формирование и обоснование параметров гребня для укладки шланга капельного орошения и посева семян	268
Фармонов Э. Т., Игамбердиев А. К., Лепешкин Н. Д. Подготовка к посеву участков твердых почв в пустынных и полупустынных районах Узбекистана.	278
Шавазов К. А., Миккульский В. В. Обработка почв в Центральной Азии для повышения урожайности сельскохозяйственных культур	284
Алижанов Дж., Шавазов К., Жилич Е. Л. Регулирование допусков сопряженных деталей механизмов животноводческих ферм при ремонте	289
Хакимов Б. Б., Аликулов С., Равшанов Ф., Капустин Н. Ф. Устройство с ротационными аппаратами для получения дизельного топлива	295
Горин Г. С., Ганусевич Д. М. Разработка основ нетрадиционной теории взаимодействия трактора и навесного сельхозорудия.	300
Скорб И. И., Романович А. А. Улучшение функционирования гидравлических систем уборки навоза на животноводческих предприятиях.	307
Захаров А. В., Бондаренко И. И., Клоков Д. В., Захарова И. О. Особенности определения массы балластных грузов колесного трактора тягового класса 5	312
Бобрышов А. В., Карпов С. Н., Гедроить Г. И., Захаров А. В. Снижение нагрузок ВОМ тракторов при приводе сельскохозяйственных машин.	316
Корко В. С., Кардашов П. В., Дубодел И. Б. Исследование проводимости и кинетики электродного нагрева дисперсной органической системы.	320
Гедроить Г. И., Занемонский С. В. Перспективы развития тракторов с электромеханической и электрической трансмиссией.	326
Басаревский А. Н., Садовская А. В. Результаты инженерного анализа ротационного рабочего органа при очистке мелиоративных каналов	333
Прищепов М. А., Рутковский И. Г. Обоснование выбора электротепловой схемы проточных электродных электронагревателей.	338
Авраменко П. В., Кравцов В. Б., Милькевич А. С. Применение аддитивной технологии листового ламинирования при изготовлении цилиндрических прямозубых зубчатых колес (шестерен)	344

Научное издание

**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Межведомственный тематический сборник

Основан в 1968 году

Выпуск 57

Ответственный за выпуск *О. Н. Пручковская*
Компьютерная верстка *М. Э. Юрени*

Подписано в печать 20.05.2024. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 41,15. Уч.-изд. л. 35,4. Тираж 100 экз. Заказ 104.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».
Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013, № 2/196 от 05.04.2017.
Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск.