



НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК
БЕЛАРУСИ



РУП «НПЦ НАН БЕЛАРУСИ
ПО МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Выпуск 56



Минск
2023



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 56

Минск
«Беларуская навука»
2023

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;

кандидаты технических наук

В. В. Голдыбан, Н. Ф. Капустин

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси

В. В. Азаренко;

доктора технических наук, профессора

В. И. Передня, Л. Я. Степук;

кандидаты технических наук, доценты

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

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», 2023

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2023

В. В. Азаренко¹, В. В. Голдыбан², П. П. Бегун²

¹ Президиум Национальной академии наук Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПЕРЕДАЧИ РЕШЕНИЙ ОТ БИОЛОГИИ К ИНЖЕНЕРИИ

Аннотация. В статье выполнен обзор существующих методов передачи данных от биологии к инженерии. Отмечено, что все существующие методы условно можно разделить на два типа: основанные на решении и основанные на проблеме.

Ключевые слова: метод, проектирование, инженерия, биология, бионика, биомиметика, абстракция, принцип.

V. V. Azarenko¹, V. V. Goldyban², P. P. Behun²

¹ Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

² RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru

METHODOLOGICAL APPROACHES OF DECISION TRANSFER FROM BIOLOGY TO ENGINEERING

Abstract. The article provides an overview of existing methods of data transmission from biology to engineering. It is noted that all existing methods can be conditionally divided into two types: solution-based and problem-based.

Keywords: method, design, engineering, biology, bionics, biomimetics, abstraction, principle.

Введение

И подлинно: спроси у скота, и научит тебя, у птицы небесной, и возвестит тебе; или побеседуй с землею, и поставит тебя, и скажут тебе рыбы морские.

Иов 12:7–10

В окружающей природе множество изящных, прекрасных систем и конструкций, рассчитанных с удивительной точностью и рациональностью. Наблюдая и изучая природу, человек нашел принципы, законы и основы физики, химии, математики и других наук.

Бесконечное многообразие инновационных решений в природе может быть использовано в качестве источника вдохновения для решения инженерных задач в земледельческой механике. В этой области исследований до сих пор остро стоят вопросы продления срока службы быстроизнашивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин, создания оптимальных форм рабочих поверхностей, легких и в то же время надежных несущих конструкций, снижения переуплотнения почвы ходовыми системами МТА и др.

Однако использование биологических систем для решения названных вопросов земледельческой механики все еще остается сложной задачей.

Серьезной проблемой является отсутствие систематической методологии передачи решений от биологии к инженерии. Необходима прозрачная последовательность действий, дающая ответ не только на вопрос «что делать?», но и «как это делать?»

В этой статье анализируются некоторые существующие стратегии биомиметического проектирования, применяемые для приложения биологических принципов и функций в инженерии.

Основная часть

Известные методы проектирования в биомиметике можно сгруппировать в две основные группы:

- проектирование на основе решений (рис. 1);
- проектирование на основе проблем (рис. 2).

Метод, основанный на решениях, так называемый подход «снизу вверх» (BOTTOM-UP), описывает процесс проектирования в биомиметике, в котором знания об интересующей биологической системе являются отправной точкой для технического проектирования. Биологическая система, представляющая интерес, выполняет функцию, которая должна быть воспроизведена в технологии. Эту биологическую систему необходимо глубоко понять, чтобы извлечь основополагающие принципы и определить проблемы проектирования, которые можно было бы решить с использованием этих принципов. Знания, касающиеся этих принципов, в основном получены в результате фундаментальных исследований. После их абстрагирования биологические принципы могут быть применены в инженерии.



Рис. 1. Принцип проектирования на основе решений

Хорошим примером является «эффект бугорков» на плавниках горбатых китов. Взрослый горбач весит около 30 тонн, имеет жесткое тело с огромными, подобными крыльям плавниками. Однако этот 12-метровый гигант удивительно подвижен в воде, способен двигаться по крутой спирали. Ученые обнаружили, что секрет кроется в плавниках кита, передний край которых не гладкий, а с зазубринами и имеет ряд выступающих бугорков (рис. 2, *a*). Когда кит стремительно рассекает толщу воды, эти бугорки увеличивают подъемную силу и уменьшают сопротивление. Благодаря бугоркам поток воды упорядоченно и равномерно проходит над плавником, даже если кит делает очень крутой подъем [1, 2].



Рис. 2. Пример проектирования на основе решений: *a* – внешний вид плавников горбатого кита; *б* – лопасть ветряка Whale Power Corp [3]

Открытый биологами в гидродинамике китов «эффект бугорков» вызвал настоящий прорыв в аэродинамике, побудил исследователей применить его к крыльям самолетов, беспилотников, судам на подводных крыльях, ветряным (рис. 2, б) и промышленным турбинам [3–6].

Метод на основе проблем или подход «сверху вниз» (TOP-DOWN) – это процесс проектирования, направленный на решение практической проблемы, при этом выявленная проблема должна быть отправной точкой для процесса. Новые или улучшенные функции могут быть применены путем идентификации биологических систем, которые выполняют определенную функцию или механизм, а также путем абстрагирования и переноса этих принципов в технологию.



Рис. 3. Проблемно ориентированный подход к проектированию

Примером подхода TOP-DOWN является использование нижней челюсти муравья *Atta laevigata* в качестве бионической модели для проектирования надежных саморассасывающихся хирургических зажимов (рис. 4). Работа в этом направлении ведется в Институте аспирантуры и инженерных исследований им. Альберто Луиса Коимбры в Рио-де-Жанейро [7].

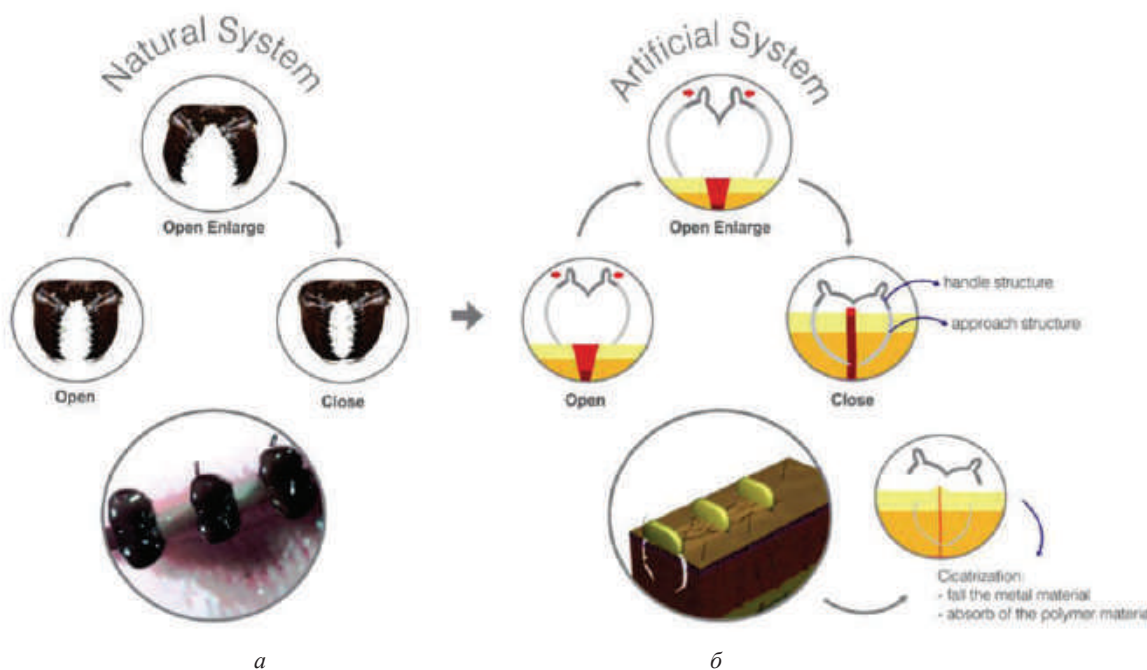


Рис. 4. Использование челюсти муравья для проектирования хирургических зажимов: а – механизм укуса нижней челюсти муравья *Atta laevigata*; б – функционирование биомиметического хирургического зажима

Наряду с описанными выше двумя стратегиями биоинспирированного проектирования в научно-исследовательских работах встречается классификация биомиметики по аналогии и по индукции [8–10]. По своей сущности это все те же подходы «сверху вниз» и «снизу вверх».

В биомиметике по аналогии биологические исследования применяются для поиска решений конкретных инженерных задач. В биомиметике методом индукции общие принципы, полученные из фундаментальных биологических исследований, используются для разработки технических решений.

Методология биомиметики по аналогии начинается с четкого определения проблемы, вытекающей из инженерии. На следующем этапе аналогичные проблемы ищутся в природе. Здесь исследователь задает вопрос: «Где в живом мире возникают подобные проблемы?» Затем анализируются примеры в природе, и конкретные результаты применяются при поиске решений инженерной проблемы. Преимущества этого метода заключаются в быстром и эффективном решении инженерных задач.

Основой биомиметики методом индукции являются фундаментальные биологические исследования. Абстрагированный от биологической сферы и переведенный на неспецифический язык, принцип, лежащий в основе явления, раскрывается и уточняется. Впоследствии в сотрудничестве с инженерами и проектировщиками ищутся и разрабатываются возможные технологические приложения. Весьма успешным примером биомиметики путем индукции является эффект лотоса, изложенный в работе [11], который в настоящее время используется в живописи, покрытиях, текстиле, черепице и т.д. и в значительной степени способствует положительному общественному имиджу биомиметики.

Оба подхода объединяет то, что для их разработки необходимо междисциплинарное сотрудничество между технологией и биологией, и это сложно как для эксперта-биолога, так и для инженера: нелегко найти специалиста, способного применить результаты обоих процессов, трудно найти правильную информацию в правильном формате.

Рассмотрим еще некоторые методологии переноса решений из биологии в инженерию, разработанные на основе подходов «сверху вниз» и «снизу вверх».

Для использования биологических принципов Рехенберг в работе [12] предлагает последовательную семиступенчатую процедуру, которая начинается с определения технической функции, для которой должна быть найдена аналогичная биологическая функция. Затем сравниваются технические и биологические граничные условия, например, с помощью коэффициентов подобия (числа Рейнольдса). Если граничные условия одинаковы, необходимо сравнить какой-либо показатель эффективности (например, энергопотребление) технического и биологического решения.

Хилл предлагает подход [13], состоящий из двух основных циклов: определение целей и поиск решений. Первый цикл содержит основные этапы анализа и определение наборов требований. Из наборов требований определяются требования к решению и определяется задача разработки. Во втором цикле первоначально идентифицируются так называемые биологические базовые функции, соответствующие ранее обнаруженным определениям. Для этих функций в каталоге, структурированных в виде таблицы, находят биологические архетипы с конкретными принципиальными решениями. Эти решения последовательно варьируются, комбинируются и проверяются, в результате чего получается техническое решение. Слабыми сторонами подхода Хилла являются относительно высокий уровень абстракции, частично нелогичная структура каталога и низкий уровень детализации.

Подход Граманна встроен в типичную процедуру разработки системной инженерии, где шаг «анализ – синтез» подробно описан в отношении бионики [14]. Процедура начинается с чередования идентификации биологических архетипов и поиска информации. Затем анализируется архетип, оценивается возможность его переноса в технические решения и выводятся принципы решения. В итоге принципы управления применяются к технической системе. Все шаги должны быть пройдены итеративно (рис. 5).

Для перевода технических функций в биологические Граманн предлагает список ассоциаций. Предполагается, что найденные таким образом биологические функции позволят проводить более целенаправленный поиск в биологической области. К сожалению, список ассоциаций представляется довольно неструктурированным и неполным, в связи с чем он неприменим к различным проблемам.

Чонг и др. в работе [15] описывают модель процесса, основанную на обработке естественного языка. Модель начинается с определения исходного функционального ключевого слова для описания проблемы и заканчивается идентификацией биологически значимых ключевых слов.

Баумейстер и др. в работе [16] используют свою методологию спирали проектирования для решения практической задачи биологии. В циклическом восьмиступенчатом процессе этот подход

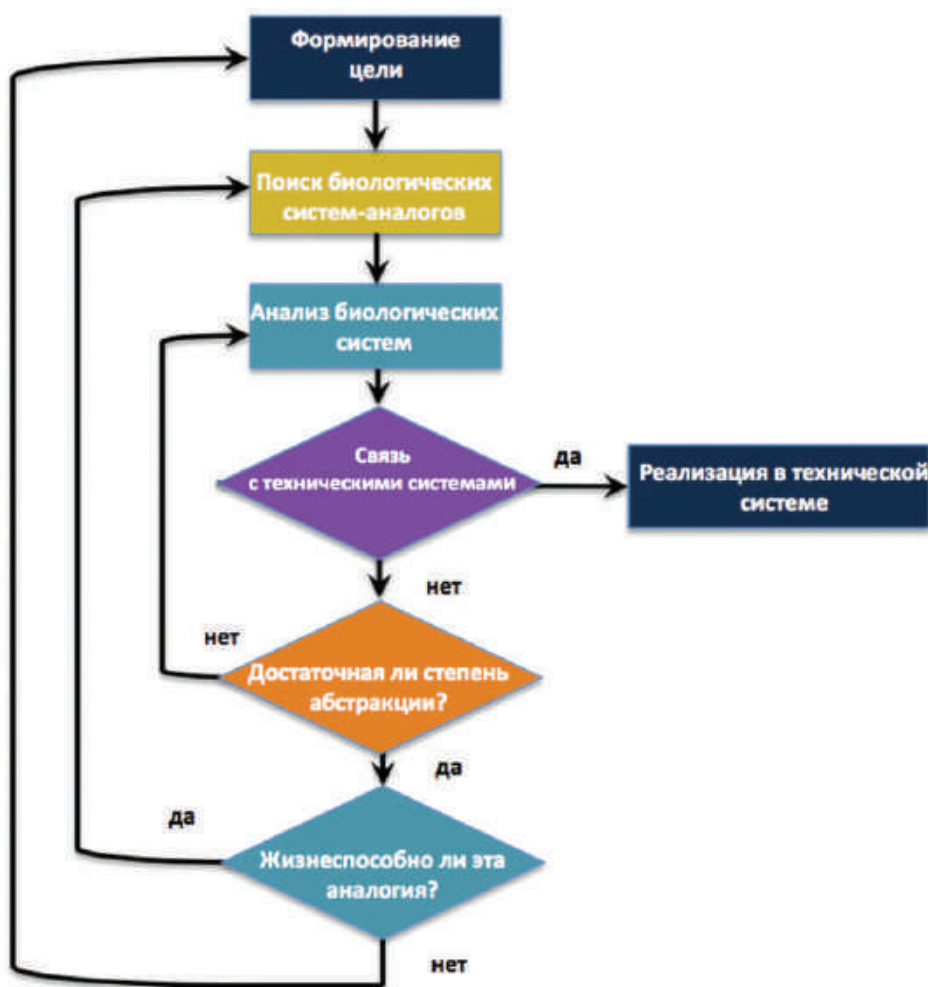


Рис. 5. Бионическая процедурная модель Граманна

к биомимикрическому мышлению используется для эмуляции принципов дизайна, вдохновленных биологией. Гоэль и Ваттам в работе [17] создали общую модель задач аналогичного проектирования и сопоставили ее с подходами биомиметики, основанными на решениях и задачах.

В заключение рассмотрим еще одну методологию проектирования, в основе которой подходы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанные советскими учеными Генрихом Альтшуллером и Рафиком Шапиро. Речь пойдет о методологии БиоТРИЗ [18].

Поскольку основной целью биомиметики также является передача функций, механизмов и принципов из одной области в другую, ТРИЗ кажется идеальной отправной точкой. ТРИЗ хорошо известна как набор инструментов и методов, который обеспечивает правильное определение проблемы на функциональном уровне и предоставляет индикаторы для достижения успешных, а иногда и инновационных решений. На этапе определения используется ряд методов, чтобы гарантировать, что проблема находится в правильном контексте, простое переключение контекста может решить проблему, а затем перечислены доступные ресурсы. Проблема характеризуется парой противоположных или противоречивых характеристик, как правило, «что я хочу» и «что мешает мне получить ее». Это можно сравнить с парами характеристик, вытекающих из других проблем, уже решенных, обнаруженных в ходе исследования и анализа более трех миллионов патентов. Таким образом, ТРИЗ становится подходящим средством для идентификации функций и передачи их от природы к технике.

ТРИЗ развилась на основе матрицы 40×40 в виде таблицы с двойной записью, в которой 40 изобретательских принципов являются элементами, которые приближают аналогию. В БиоТРИЗ эта матрица была упрощена, чтобы иметь возможность изолировать поля, влияющие на биологию,

эти поля являются информацией, энергией, временем, пространством, структурой и веществом или материалом.

В БиоТРИЗ решения основаны на аналогиях, подобных тем, которые встречаются в природе, в базе данных естественных патентов. Без базы данных результатов и решений природы ее невозможно применить, так как она сама по себе не позволила бы получить технические принципы и результаты. Этот факт противоречив, поскольку он обуславливает поиски, те, которые уже имеют результаты, просты в применении, в противном случае вам нужны бионические исследования, как и в других методологиях.

Заключение

Рассмотренные в статье подходы к процессу биомиметического проектирования, основанные на решении и на проблеме, представляют собой последовательность действий для решения инженерных задач с помощью биологических аналогий. Все же теоретические и концептуальные основы передачи знаний между биологами и инженерами изучены слабо. Ученым ещё предстоит открыть и исследовать terra incognita теоретических основ бионики, которые бы дополняли эмпирические и практические исследования.

Список использованных источников

1. Fish, F. E. Passive and active flow control by swimming fishes and mammals / F. E. Fish, G.V. Lauder // *Annual Review of Fluid Mechanics*. – 2006. – V. 38. – P. 193–224.
2. Hydrodynamic flow control in marine mammals / F. E. Fish, L. E. Howle, M. M. Murray // *Integrative and Comparative Biology*. – 2008. – 211. – P. 1859–1867.
3. Watts, P. The influence of passive, leading edge tubercles on wing performance / P. Watts, F. Fish, // *Proceedings of Twelfth International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST)*, Durham, Autonomous Underwater Sea Institute, August 2001.
4. Ming, Z. Numerical Simulation of Flow Characteristics behind the Aerodynamic Performances on an Airfoil with Leading Edge Protuberances / Ming Zhao, Mingming Zhang, Jianzhong Xu // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. – 2017. – V. 11. – PP. 193–209. – DOI:10.1080/19942060.2016.1277165.
5. Canter, N. Humpback whales inspire new wind turbine technology // *Tribology & Lubrication Technology*. – December, 2008. – P. 10–1.
6. Custodio, D Cavitation on hydrofoils with leading edge protuberances / Custodio D, Henocho C, Johari H. // *Ocean Engineering*. – 2018. – V. 162. – P. 196–208.
7. Britoa, T.O. Characterization of the Mandible *Atta Laevigata* and the Bioinspiration for the Development of a Biomimetic Surgical Clamp / T. O. Britoa [etc.] // *Materials Research*. – 2017. – 20 (6). – P. 1525–1533. – DOI: 10.1590/1980-5373-MR-2016-1137.
8. Nachtigall, W. *Vorbild Natur: Bionik-Design für funktionelles Gestalten*, 1997 (Springer, Berlin). – 176 p.
9. Speck, T. Die naturals innovationsquelle. In *Technische Textilien* / Speck, T. [etc.] // 2006, pp. 83–101 (Deutscher Fachverlag, Frankfurt, Germany).
10. Milwich, M. Biomimetics and technical textiles: solving engineering problems with the help of Nature's wisdom / Milwich, M. [etc.] // *Am. J. Botany*. – 2006. – 93(10). – P. 1455–1465.
11. Barthlott, W. and Neinhuis, C. The purity of sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. // *Planta*. – 1997. – 202. – 1–8.
12. Zerbst, E. *Bionik: Biologische Funktionsprinzipien und ihre Anwendung*. Teubner, Stuttgart, 1987. – 231 p.
13. Hill, B. *Naturorientierte Lösungsfindung: Entwickeln und Konstruieren nach biologischen Vorbildern*. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, 1999. – P. 313–332.
14. Lindemann, U. Engineering design using biological principles / U. Lindemann & J. Gramann, // In: *Proc. of the 8th International Design Conference DESIGN 2004*, Dubrovnik, Croatia, 2004, 355–360 pp.
15. Cheong, H. Biologically meaningful keywords for functional terms of the functional basis / Cheong H, Chiu I, Shu L, Stone R. and McAdams D. // *J. Mech. Des.* 2011, Vol. 133. – p. 021007.
16. Baumeister, D. *The Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Best Practices* / Baumeister D, Tocke R, Dwyer J and Ritter S. // *Biomimicry 3.8: Missoula*. – 280 p.
17. Goel, A. K. Information-Processing Theories of Biologically Inspired Design / Goel A. K., Vattam S., Wiltgen B. and Helms M. // *Biologically Inspired Design*. – Berlin: Springer. 2014. – P. 127–152.
18. Vincent, J. et al. *Biomimetics: Strategies for Product Design Inspired by Nature* // *A Mission to the Netherlands and Germany*. – Report of A DTI Global Watch Mission, Pera, 2007.

Д. И. Комлач, А. Н. Антоненко, В. В. Голдыбан

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

К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье приведено описание перспективного двигателя внутреннего сгорания, эффективно работающего с высоким коэффициентом полезного действия и минимальным выбросом вредных веществ за счет утилизации тепла отработавших газов и снижения тепловых потерь вследствие передачи в охлаждающую жидкость.

Ключевые слова: рабочий процесс, отработавшие газы, выбросы вредных веществ, расширительные цилиндры, трансформация, малотоксичный рабочий процесс сгорания.

D. I. Komlach, A. N. Antonenko, V. V. Goldyban

*RUE “NPC NAS of Belarus on Agriculture Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru*

ON THE ISSUE OF EXHAUST GAS HEAT RECOVERY IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY

Abstract. The article describes a promising internal combustion engine that works efficiently with a high efficiency and minimal emissions of harmful substances by improving the process of fuel combustion and exhaust heat recovery.

Keywords: workflow, pollutant emissions, recirculation, particulate filter, expansion cylinders, transformation, low-toxic combustion workflow.

Введение

Более 50 % полезной энергии человек получает, сжигая миллиарды тонн нефтяного топлива в двигателе внутреннего сгорания. Одновременно десятки тысяч тонн токсичных веществ ДВС выбрасывают в атмосферу с выхлопными газами двигателя. Эксплуатация транспорта, использующего в качестве силовой установки ДВС, наносит огромный вред бесценному здоровью людей и окружающей среде. Выхлопные газы автомобилей – это настоящее бедствие для экологии крупных городов.

Ужесточение экологических норм и грядущий отказ от устройств, работающих на углеводородах, побуждают специалистов по всему миру искать возможность вывести традиционные ДВС на совершенно иной уровень и тем самым продлить их век. В первую очередь это касается повышения экономичности и уменьшения вредного воздействия на окружающую среду в широком диапазоне изменения нагрузок тепловых двигателей. Проведенные авторами опыты и экспериментальные исследования подтверждают, что у существующих двигателей внутреннего сгорания есть неиспользованные резервы для дальнейшего развития и совершенствования конструкции. Например, за счет существенного повышения термического коэффициента полезного действия (КПД) путем уменьшения потерь тепла с охлаждением, уносимого с отработавшими газами, и от химической неполноты сгорания топлива при существенном снижении количества вредных веществ, содержащихся в отработавших газах двигателя.

Основная часть

Главной задачей двигателестроения является создание двигателей, в которых превращение химической энергии жидкого и газообразного топлива в тепловую, а затем в полезную механическую энергию происходило бы при полном сгорании топлива и непременном условии отсутствия токсических компонентов в отработавших газах. Двигатели внутреннего сгорания и, прежде всего, поршневые двигатели являются самыми многочисленными среди тепловых двигателей и источников энергии, потребляемых человечеством. В настоящее время суммарная мощность эксплуатируемых ДВС превышает мощность всех электростанций мира. Выбрасываемые в атмосферу отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания содержат большое количество токсичных веществ (более 280) и сажи и наносят непоправимый вред здоровью человека и окружающей природе. В современном двигателестроении снижение экологического вреда, наносимого двигателями внутреннего сгорания, является важнейшей самостоятельной задачей. Поэтому большинство ученых и производителей автомобильных двигателей внутреннего сгорания предпринимая срочные меры по снижению токсичности отработавших газов двигателя, что позволит сделать автомобильную технику экологически чистой. И прежде всего за счет уменьшения количества содержащихся в них диоксидов углерода, а также оксидов азота и несгоревших углеводородов. Наши экспериментальные исследования подтверждают, что у существующих двигателей внутреннего сгорания есть неиспользованные резервы для дальнейшего развития и совершенствования конструкции. Например, за счет существенного повышения термического КПД путем уменьшения потерь тепла, уносимого с отработавшими газами, и снижения теплопотерь от химической неполноты сгорания топлива при одновременном снижении количества токсических составляющих, содержащихся в отработавших газах двигателя. Для увеличения КПД тепловых машин ученые и изобретатели предлагают использовать рабочий цикл с продолженным расширением, что позволяет значительно повысить степень расширения продуктов сгорания по сравнению со степенью сжатия рабочего тела. Для осуществления данного цикла советуют использовать компаундные двигатели (англ. *compound* – составной), которые имеют два (или более) рабочих цилиндра разного диаметра.

Известны двигатели внутреннего сгорания с утилизацией теплоты отработавших газов путем всасывания рабочего заряда в один из двух смещенных по фазе на 360° рабочих цилиндров, его сжатия, воспламенения рабочего заряда и сгорания, расширения продуктов сгорания, перепуска их при движении поршня рабочего цилиндра к верхней мертвой точке через перепускной канал в расширительный цилиндр, дополнительного расширения в последнем продуктов сгорания с последующим выпуском отработавших газов в выпускной коллектор (компаундные двигатели) [1].

На выставке «Engine EXPO 2009» британская фирма «Ilmor Engineering» представила трехцилиндровый компаундный ДВС, в котором инженеры задействовали классическую схему работы двигателя с продолженным расширением рабочего тела. Два крайних цилиндра данного устройства работают по обычному четырехтактному циклу, средний (расширительный) имеет больший диаметр, чем крайние, а его поршень совершает рабочий ход за счет остаточного давления отработавших газов в крайних малых цилиндрах.

По известному способу работы теплового двигателя дополнительное расширение продуктов сгорания в расширительном цилиндре увеличивает работу от расширения рабочих газов, а следовательно, повышает экономичность двигателя внутреннего сгорания. Главным недостатком данного двигателя является то, что во время выпуска значительная часть тепловой энергии отработавших газов из-за их высокой температуры ($1100\text{--}1450^\circ\text{C}$) теряется во время их перемещения из рабочего цилиндра в расширительный цилиндр. Перегреваются перепускной канал и клапан, а существенная часть тепловой энергии рабочих газов уходит в систему охлаждения двигателя. Наряду с этим при работе данного компаундного двигателя внутреннего сгорания на режимах малых нагрузок и холостом ходу давление отработавших газов в момент открытия выпускных клапанов в рабочих цилиндрах снижается до $1,5\text{--}2\text{ кг/см}^2$. Вследствие этого дальнейшее расширение отработавших газов в расширительном цилиндре приводит к образованию давлений ниже атмосферного (1 ат). Часть полезной работы от расширения продуктов сгорания в рабочих цилиндрах затрачивается на создание разрежения в расширительном цилиндре, что наглядно иллюстрируется диаграммами, приведенными на рис. 1.

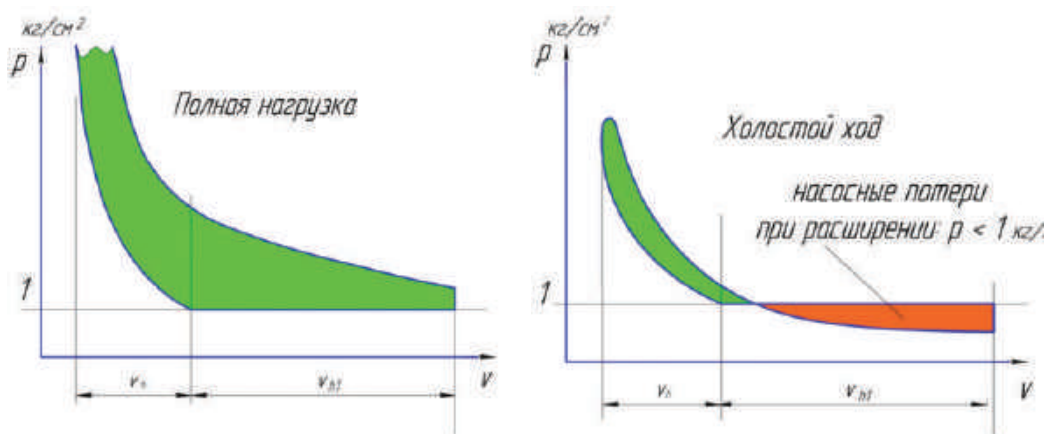


Рис. 1. Индикаторные диаграммы компаундного двигателя внутреннего сгорания

Таким образом, известные компаундные двигатели внутреннего сгорания на режимах малых нагрузок и холостом ходу вместо повышения экономичности, наоборот, потребляют больше топлива по сравнению с традиционными двигателями. Вместе с тем отработавшие газы, покидающие двигатель, содержат не меньшее количество токсичных веществ и сажи, чем традиционный четырехтактный двигатель внутреннего сгорания. Поэтому у компаундных двигателей есть неиспользованные резервы для дальнейшего развития и совершенствования. Нами предложено и запатентовано техническое решение, позволяющее совершить некоторый прогресс в области двигателестроения [2, 3].

Описание конструкции предлагаемого компаундного двигателя с утилизацией отработавших газов и малотоксичным рабочим процессом

Комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания (рис. 2) содержит по меньшей мере один модуль из двух рабочих цилиндров 1 и 2 с поршнями 3 и 4 и расширительных цилиндров 5 увеличенного рабочего объема с поршнями 6, при этом поршни 3 и 4 и поршни 6 кинематически связаны с одним коленчатым валом 7, а кривошипы поршней 6 смещены по отношению к двум кривошипам поршней 3 и 4 на угол 180° . Суммарный объем расширительных цилиндров 5 превышает объем одного рабочего цилиндра (1 или 2) на 200–400 %. Головки рабочих цилиндров 1 и 2 содержат впускные клапаны 8 и 9 и перепускные 10 и 11, установленные в соответствующую

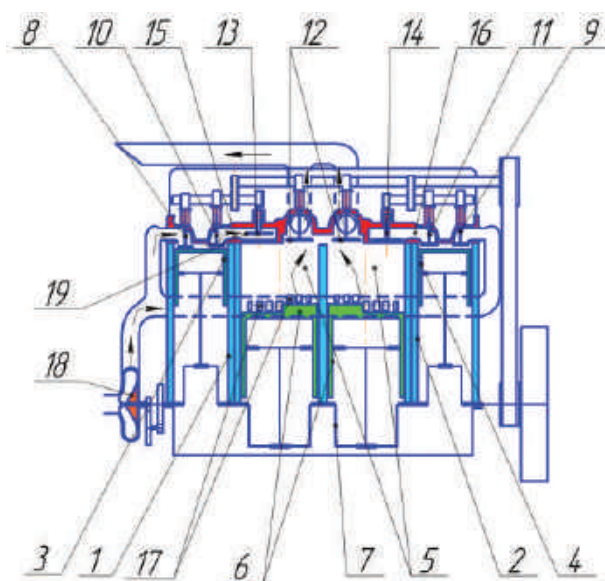


Рис. 2. Комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания

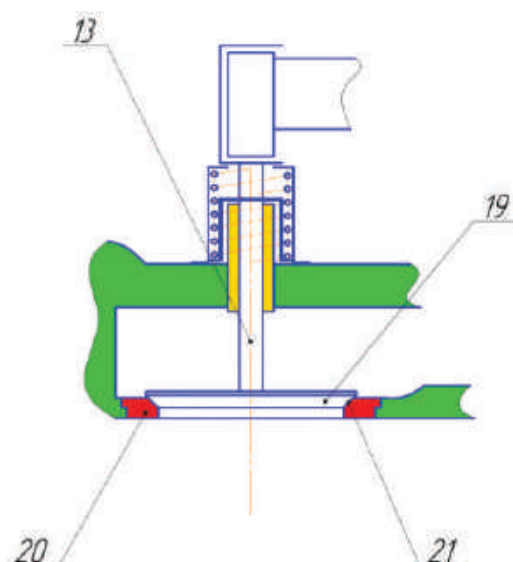


Рис. 3. Запорный клапан (13): 19 – опорная фланка; 20 – седло клапана; 21 – посадочный пояс

щих каналах головок цилиндров. В выпускных каналах в головках расширительных цилиндров 5 установлены выпускные клапаны 12, а запорные клапаны 13 и 14 смонтированы в перепускных каналах 15 и 16. Расширительные цилиндры 5 снабжены продувочными органами (окнами или клапанами). На схеме показаны продувочные окна 17. Для продувки расширительных цилиндров 5 атмосферным воздухом на двигателе устанавливается продувочный насос 18 с механическим или электрическим приводом. Продувочный насос 18 воздухопроводами соединен с продувочными окнами 17 и впускными каналами с клапанами 8 и 9 рабочих цилиндров 1 и 2. Для повышения мощности предлагаемого двигателя возможно применение двойного наддува рабочих цилиндров 1 и 2 посредством дополнительных электрических нагнетателей (на схеме не показаны). Опорные фланки 19 на тарелках запорных клапанов 13 и 14 выполнены на наружной стороне тарелки клапана. Наряду с этим седла 20 запорных клапанов 13 и 14 смонтированы в перепускных каналах 15 и 16 посадочными поясами 21 вверх, к пружине клапана (рис. 3). Благодаря этому запорные клапаны 13 и 14 открываются вверх и не препятствуют поршням 6 при подходе их к верхней мертвой точке, что позволяет освобождать весь объем расширительных цилиндров 5 от сжатого продувочного воздуха и вытеснять его поочередно в один из рабочих цилиндров 1 и 2 для увеличения внутренней энергии. В результате осуществления этого процесса уменьшается вредное пространство (в данном случае объем, из которого сжатый воздух не вытесняется в рабочие цилиндры) в расширительных цилиндрах 5 и повышается механический КПД модуля. Топливо в рабочие цилиндры подается системой подачи топлива в соответствии с нагрузкой двигателя [4].

Работа комбинированного компаундного двигателя внутреннего сгорания заключается в следующем.

Термодинамические процессы в рабочих цилиндрах 1 и 2 могут протекать как по циклу Дизеля, так и по циклу Отто (т. е. бензиновый, 4-тактный), разность фаз между ними составляет 360° . Отработавший газ каждого рабочего цилиндра 1 и 2 по очереди по перепускным каналам 15 и 16 попадает в расширительные цилиндры 5 с разницей в 360° поворота кривошипа. Необходимо отметить, что, прежде чем отработавший газ покинет рабочий цилиндр, он поделится своей тепловой энергией с новым рабочим телом – сжатым в расширительных цилиндрах 5 атмосферным продувочным воздухом. Вследствие этого температура отработавших газов в рабочих цилиндрах 1 и 2 резко снизится, а внутренняя энергия сжатого воздуха повысится, сохраняя тепловой баланс по законам термодинамики. В результате этого при расширении отработавших газов теплоотдача в «воду» существенно снизится, а среднее индикаторное давление при «рабочем ходе» в расширительных цилиндрах 5 возрастет, увеличивая тем самым полезную работу цикла и экономичность двигателя.

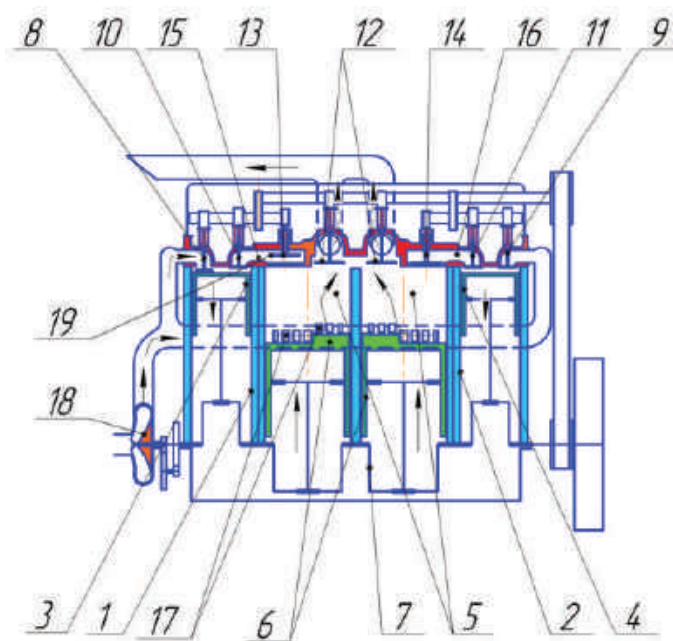


Рис. 4. Кинематическая схема предлагаемого комбинированного компаундного двигателя внутреннего сгорания, осуществляющего такт «впуск» в первом рабочем цилиндре

Диаграмма газораспределения совершенно одинакова по отношению к каждому из рабочих цилиндров 1 и 2, поэтому для определения работы в модуле достаточно рассмотреть схему газообмена только одного рабочего цилиндра 1 с расширительными цилиндрами 5.

На первом обороте коленчатого вала 7 при движении поршней 3 и 4 рабочих цилиндров 1 и 2 к нижней мертвой точке во время первого такта в первом рабочем цилиндре 1 выполняется процесс впуска, заключающийся в наполнении рабочего цилиндра 1 свежим рабочим зарядом под некоторым избыточным давлением за счет наддува воздуха во впускной канал продувочным насосом 18 (рис. 4).

В то же время во втором рабочем цилиндре 2 осуществляется рабочий ход, а в сообщенных между собой расширительных цилиндрах 5 заканчивается продувка и начинается сжатие чистого холодного воздуха. Поток продувочного воздуха, поступающего в расширительные цилиндры 5 через продувочные окна 17, вытесняет продукты сгорания через выпускные клапаны 12. Следует отметить, что при опережающем закрытии выпускных клапанов 12 продувочный воздух через еще открытые продувочные окна 17 наполнит расширительные цилиндры 5 с давлением, немного превышающим давление окружающей среды, и обеспечит большой весовой заряд свежего воздуха в расширительных цилиндрах 5. При дальнейшем движении поршней расширительных цилиндров 5 к верхней мертвой точке, а поршней рабочих цилиндров 1 и 2 к нижней мертвой точке давление в цилиндрах 5 и 2 выровняется, и откроются запорный клапан 14 и перепускной клапан 11.

Далее при движении поршней расширительных цилиндров 5 к верхней мертвой точке (рис. 5) давление сжатого воздуха в расширительных цилиндрах 5 будет возрастать, и сжатый холодный воздух начнет вытесняться из расширительных цилиндров 5 по перепускному каналу 16 через открытые клапаны 11 и 14 во второй рабочий цилиндр 2. Одновременно с этим сжатый холодный воздух через открытый запорный клапан 13 заполнит перепускной канал 15, и при достижении поршнями 6 верхней мертвой точки запорный клапан 13 закроется, запирая в перепускном канале сжатый воздух. Конструкция запорного клапана с выполнением опорной фаски 19 (рис. 3) тарелки клапана на ее наружной стороне позволяет открывать запорный клапан вверх и не препятствовать продвижению поршня 6 расширительного цилиндра 5 к верхней мертвой точке, а при закрытии клапана максимально уменьшать объем вредного пространства в расширительном цилиндре 5. В момент закрытия запорного клапана 13 температура запертого в перепускном канале 15 сжатого воздуха существенно ниже температуры тарелки перепускного клапана 10 и поверхности пере-

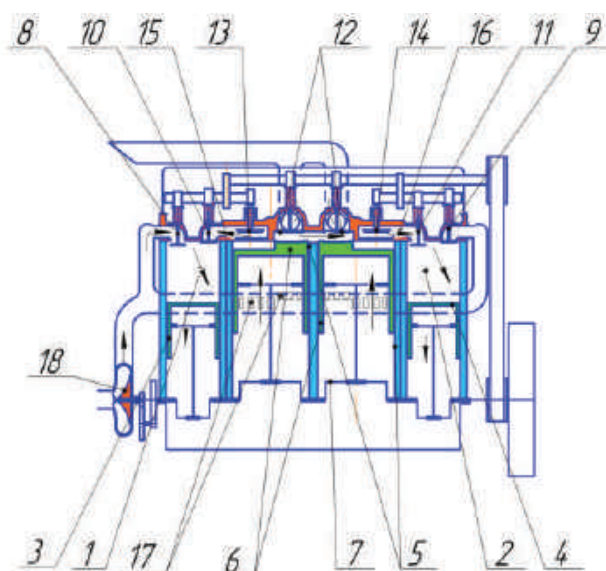


Рис. 5. Кинематическая схема комбинированного компаундного двигателя внутреннего сгорания, осуществляющего перепуск сжатого холодного воздуха из расширительных цилиндров во второй рабочий

пускового канала 15. Вследствие этого запертый в перепускном канале 15 сжатый относительно холодный воздух увеличит температуру и свою внутреннюю энергию за счет охлаждения тарелки перепускного клапана 10 и перепускного канала 15. В результате этого тепло, уходящее на нагрев охладителя в прототипе, будет передано новому рабочему телу – сжатому продувочному воздуху. В процессе продвижения сжатого воздуха из расширительных цилиндров 5 по перепускному каналу 16 в рабочий цилиндр 2 происходит его нагрев за счет охлаждения наиболее нагреваемых деталей камеры сгорания, перемешивания с горячими отработавшими газами и догорания промежуточных компонентов несгоревшего топлива. В результате смешивания температура отработавших газов во втором рабочем цилиндре 2 резко снизится на 500–600°C, хотя давление газа в цилиндре 2 существенно увеличится за счет увеличения внутренней энергии и температуры большой массы поступившего в цилиндр 2 сжатого продувочного воздуха, перемещенного из расширительных цилиндров 5. Благодаря этому процессу по завершении рабочего хода в рабочем цилиндре 2 вместо высокотоксичных отработавших газов, обладающих очень высокой температурой, получаем новое рабочее тело – сжатый чистый воздух с низким содержанием вредных веществ и значительной внутренней энергией, которую легко трансформировать в механическую работу с высоким КПД. При этом потери тепла за счет охлаждения рабочего тела поршнями 6 и стенками расширительных цилиндров 5, имеющих более низкую температуру, существенно уменьшаются.

Температура всей массы сжатого воздуха, перемешавшегося с горячими газами в начале расширения, составит не более 600–700°C вместо имевшей место температуры отработавших газов в рабочем цилиндре 2 в конце рабочего хода 1100–1400°C. Очевидно при такой высокой температуре отработавших газов их невозможно было бы переправить в расширительные цилиндры 5 без весьма существенных потерь энергии, перегрева перепускного клапана 11, перепускного канала 16 и преждевременной передачи тепловой энергии отработавших газов охлаждающей жидкости через конструктивные элементы двигателя. Новое рабочее тело (сжатый и нагретый продувочный воздух) имеет большую массу газа при относительно низкой температуре и позволяет без потери его внутренней энергии совершить при расширении в расширительных цилиндрах 5 еще один полезный рабочий ход. Кроме того, вследствие циклического охлаждения наиболее нагреваемых деталей двигателя сжатым в расширительных цилиндрах 5 воздухом потребуются самая простая система охлаждения двигателя (преимущественно воздушная), что упростит его конструкцию и повысит экономичность.

При обратном ходе поршней рабочих цилиндров 1 и 2 к верхней мертвой точке (рис. 6) в течение второго такта в первом рабочем цилиндре 1 закрывается впускной клапан 8 и выполняется

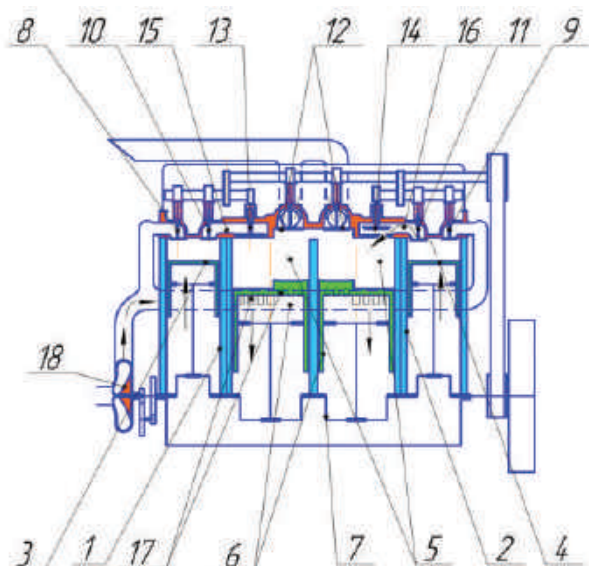


Рис. 6. Кинематическая схема комбинированного компаундного двигателя внутреннего сгорания, осуществляющего такт «сжатие» в первом рабочем цилиндре

процесс сжатия рабочего заряда. В это время в результате нагрева сжатого воздуха давление газов в расширительных цилиндрах 5 существенно повысится и начнется процесс расширения сжатого и нагретого продувочного воздуха, перемешавшегося с продуктами сгорания второго рабочего цилиндра 2. В расширительных цилиндрах 5 эффективно совершается еще один рабочий ход. В результате чего полученная дополнительная полезная работа цикла по расчетам составит 80–90% от работы, полученной в рабочем цилиндре 2 во время такта – рабочий ход при сгорании топлива и расширении нагретых газов. С учетом затрат механической энергии на продувку расширительных цилиндров 5 и дополнительных механических потерь, связанных с работой расширительных цилиндров 5, термический коэффициент полезного действия двигателя внутреннего сгорания повысится на 25–40% при его работе на номинальной мощности.

В конце хода расширительных цилиндров 5 к нижней мертвой точке (рис. 7) первыми откроются выпускные клапаны 12, и холодные отработавшие газы покинут расширительные цилиндры 5.

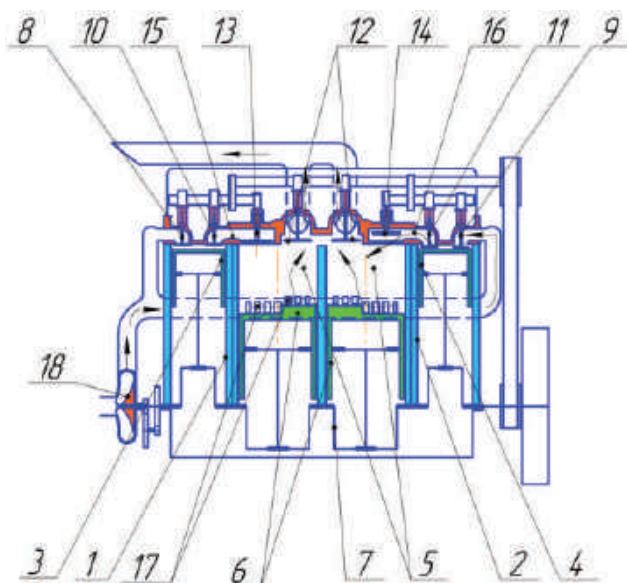


Рис. 7. Кинематическая схема комбинированного компаундного двигателя внутреннего сгорания, выполняющего процесс продувки чистым воздухом расширительных цилиндров

Причем в связи с увеличенной степенью расширения остаточное давление в расширительных цилиндрах 5 в момент открытия выпускных клапанов 12 не превысит 3 кг/см^2 , а газодинамический шум в первом периоде выпуска существенно снижается. Это позволит упростить конструкцию глушителя, снизить его гидравлическое сопротивление, уменьшить уровень шума в процессе выпуска и ускорить продувку расширительных цилиндров 5.

При приближении поршней 6 расширительных цилиндров 5 к нижней мертвой точке и снижении давления отработавших газов в расширительных цилиндрах 5 до величины атмосферного открываются продувочные окна 17 и холодный продувочный воздух под избыточным давлением, развиваемым продувочным насосом 18, устремится в расширительные цилиндры 5. При этом отработавшие газы через открытые выпускные клапаны 12 вытесняются в выпускной коллектор, а расширительные цилиндры 5 заполняются свежим воздухом. В то же время продувочный воздух через открывшийся впускной клапан 9 поступит в камеру сгорания второго рабочего цилиндра 2 и вытеснит остатки отработавших газов из камеры сгорания через пока открытый клапан 11 в перепускной канал 16 и далее через открытый запорный клапан 14 в выпускной коллектор, обеспечивая тем самым полную очистку рабочего цилиндра 2 от продуктов сгорания.

Наличие большого количества свободного кислорода в составе отработавших газов повышает эффективность использования каталитических нейтрализаторов, увеличивает срок службы последних и позволяет на всех режимах работы двигателя внутреннего сгорания обеспечить химическую полноту сгорания топлива до безвредных для человека и окружающей среды конечных компонентов сгорания топлива CO_2 и H_2O . Вместе с тем во избежание образования большого количества оксидов азота NO_x топливо в камере сгорания рабочих цилиндров 1 и 2 сгорает с некоторым дефицитом свободного кислорода при приближении состава смеси к стехиометрическому ($\alpha = 1$), что характеризуется увеличенным содержанием продуктов неполного сгорания и первичных частиц сажи в рабочих газах при их расширении [5]. Наличие свободного кислорода в продувочном воздухе, сжатом в перепускном канале 15, и высокой температуры рабочих газов в рабочем цилиндре (более 1100°C) обеспечит полное дожигание продуктов неполного сгорания и первичных частиц сажи в конечной фазе сгорания при вытеснении продувочного воздуха из расширительных цилиндров 5 в рабочий цилиндр 1 или 2.

На втором обороте вала двигателя и движении поршней 3 и 4 рабочих цилиндров 1 и 2 к нижней мертвой точке (рис. 8) в первом рабочем цилиндре 1 в течение третьего такта выполняется рабочий ход при закрытых клапанах 8 и 10, во втором рабочем цилиндре 2 – процесс наполнения рабочим зарядом (описан выше). Параллельно с этим в расширительных цилиндрах 5 завершается продувка, при этом первыми закроются выпускные клапаны 12, а продувочные окна 17 еще некоторое время остаются открытыми, позволяя продувочному воздуху поступать в расширительные цилиндры 5, что увеличит массу воздуха в расширительных цилиндрах 5, подвергаемого сжатию. Далее продувочные окна 17 закрываются и в расширительных цилиндрах 5 вновь производят сжатие продувочного воздуха, необходимого для утилизации тепловой энергии отработавших газов путем передачи ее от одного рабочего тела ко второму, имеющему более низкую температуру.

При достижении величины давления сжатия продувочного воздуха в расширительных цилиндрах 5 равной давлению продуктов сгорания в рабочем цилиндре 1 открываются перепускной 10 и запорный 13 клапаны, и конструктивно возможная часть сжатого воздуха вытесняется поршнями 6 в рабочий цилиндр 1 для нагрева и дожигания компонентов не успевшего сгореть топлива. Вместе с воздухом из расширительных цилиндров 5 сжатый и прогретый воздух, оставленный в перепускных каналах 15 при предыдущем сжатии продувочного воздуха, также вытеснится в рабочий цилиндр 1. Небольшая часть сжатого продувочного воздуха, зажатая в перепускном канале 16 в момент прохождения поршнями расширительных цилиндров 5 верхней мертвой точки, будет заперта запорным клапаном 14 и будет нагреваться за счет охлаждения тарелки перепускного клапана 11 и перепускного канала 16, аккумулируя тепло, которое в традиционном двигателе уходит в систему охлаждения. После прохождения поршнями мертвых точек и изменения направления движения в первом рабочем цилиндре 1, во время последнего четвертого такта рабочего цикла, осуществляется расширение продуктов сгорания и перемешавшегося с ними нагретого продувочного воздуха в расширительных цилиндрах 5. При этом вновь, второй раз за один рабочий цикл двигателя, в расширительных цилиндрах 5 выполнится «рабочий ход» и трансформируется поло-

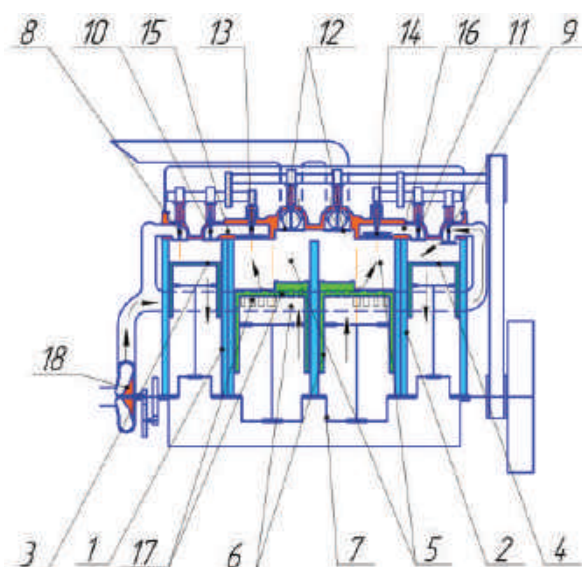


Рис. 8. Кинематическая схема комбинированного компаундного двигателя внутреннего сгорания, осуществляющего такт «рабочий ход» в первом рабочем цилиндре и сжатие воздуха в расширительных цилиндрах

жительная работа газовой смеси. После открытия выпускных клапанов *12* и продувочных окон *17* производится выпуск отработавших газов и продувка расширительных цилиндров *5*. В это же время в течение четвертого такта во втором рабочем цилиндре *2* закрывается перепускной клапан *11*, выполняется процесс сжатия рабочего заряда и завершается полный четырехтактный цикл.

Итак, за два оборота коленчатого вала в рабочих цилиндрах *1* и *2* совершается по одному четырехтактному рабочему циклу, а в расширительных цилиндрах *5* – по два двухтактных рабочих цикла. Необходимо отметить, что топливо сжигается только в рабочих цилиндрах предлагаемого двигателя. Следовательно, две цикловые подачи топлива выполняют четыре рабочих хода. Работа расширительных цилиндров в режиме двухтактного двигателя обеспечивается нагревом рабочего тела (сжатого воздуха) непосредственно в основных рабочих цилиндрах, за счет снижения внутренней энергии отработавших газов рабочих цилиндров, дожигания углеводородов, которые не сгорели в рабочем цилиндре двигателя в процессе сгорания, охлаждения перепускного канала, деталей камеры сгорания и перепускных клапанов.

Особенностью эксплуатации автомобильных двигателей является сравнительно редкое использование полных мощностей. Последние развиваются только при движении автомобиля с максимальной скоростью, при достижении максимальных ускорений или в моменты преодоления наибольших сопротивлений дороги. Для уменьшения мощности, развиваемой бензиновым двигателем, прикрывают воздушную заслонку, затрудняя тем самым проход горючей смеси в рабочие цилиндры. В результате этого снижается вес смеси, поступающей в рабочие цилиндры, что влечет за собой уменьшение давления отработавших газов в конце расширения. В действительном рабочем цикле давление отработавших газов в конце процесса расширения в рабочих цилиндрах на холостом ходу мало отличается от давления воздуха в окружающей среде. Следовательно, трансформация накопленной сгоревшими газами внутренней энергии в механическую работу завершена. При этом температура отработавших газов превышает 1000°C , а их теплосодержание достигает 50% от всей энергии сгорания топлива. Отработавшие газы должны освободить рабочий цилиндр, а дальнейшее их расширение приведет к дополнительным механическим затратам (основной недостаток прототипа). Эти тепловые потери принято именовать принципиально неустранимыми потерями теоретического цикла. В известных компаундных двигателях на режимах частичных нагрузок и холостом ходу продолжение расширения отработавших газов с давлением меньше 3 кг/см^2 в расширительных цилиндрах приводит к увеличению расхода топлива. В предлагаемом комбинированном компаундном двигателе внутреннего сгорания в рабочий цилиндр в конце осуществления в нем рабочего хода перемещается большая масса сжатого в расширительных ци-

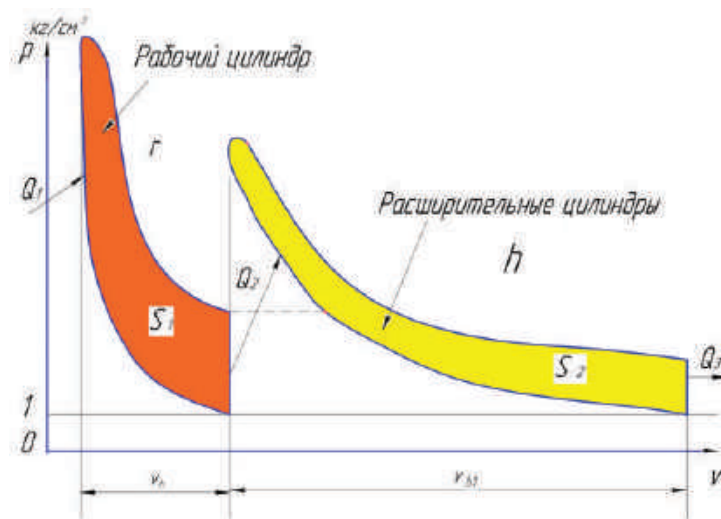


Рис. 9. Индикаторные диаграммы рабочих и расширительных цилиндров предлагаемого комбинированного компаундного двигателя

линдрах свежего атмосферного воздуха, имеющего невысокую температуру (около 200°C), которая при перемешивании с горячими отработавшими газами нагревается до 600°C и увеличивает свою внутреннюю энергию и давление в рабочем цилиндре до 5 кг/см^2 . Очевидно, что накопленную тепловую энергию легко трансформировать в механическую работу с высоким КПД.

Суммируя вышеизложенное, можно утверждать, что предлагаемый комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания позволяет увеличить процент тепла, превращаемого в полезную работу за счет использования тепловой энергии, которая по второму закону термодинамики должна быть передана холодному источнику. Интересно отметить, что в данном случае «холодный источник» – это сжатый продувочный воздух, при расширении которого и происходит утилизация теплоты отработавших газов и снижение удельного расхода топлива в автомобильном двигателе внутреннего сгорания.

Рабочие циклы (рис. 9) рабочих цилиндров (диаграмма r) осуществляются в течение двух оборотов коленчатого вала, а рабочий цикл расширительных цилиндров (диаграмма h) осуществляется за один оборот коленчатого вала, используя тепловую энергию отработавших газов, которая по второму закону термодинамики неизбежно должна быть передана холодному источнику. Из рассмотрения площади представленных индикаторных диаграмм несложно прийти к заключению, что, используя предлагаемый способ утилизации теплоты отработавших газов, заключающийся в передаче тепла отработавших газов Q_2 другому рабочему телу, теплоиспользование тепла Q_1 , выделяющегося при сгорании топлива, возрастает. Конечная температура нового рабочего тела существенно ниже температуры отработавших газов в традиционном двигателе, работающем по циклам Дизеля и Отто. Вместе с тем снижаются и потери тепла, уносимого с охлаждающей жидкостью, и уменьшается тепловая напряженность основных деталей рабочих цилиндров (поршни, клапаны, форсунки). Наибольшую убедительность и наглядность дает сравнение циклов и их диаграмм. Работа газов в цилиндрах рассматриваемого двигателя эквивалентна площади индикаторных диаграмм, и совершенно очевидно, что количество тепла, уносимого с отработавшими газами и охлаждающей жидкостью Q_3 ($Q_2 \geq Q_3$), в предлагаемом двигателе снижается, а термический коэффициент полезного действия возрастает.

Заключение

Предлагаемый способ работы двигателя внутреннего сгорания с утилизацией теплоты отработавших газов и малотоксичным рабочим процессом позволит обеспечить существенное снижение вредных выбросов и повышение экономичности за счет продувки расширительных цилиндров атмосферным воздухом, его последующим сжатием, перемешиванием с отработавшими газами

непосредственно в рабочих цилиндрах двигателя в конце рабочего хода и сжигания промежуточных горючих компонентов несгоревшего топлива, в том числе и мельчайших частиц сажи, а также увеличения внутренней энергии сжатого продувочного воздуха за счет охлаждения наиболее нагретаемых деталей камеры сгорания и перепускных каналов, и трансформации тепловой энергии нового рабочего тела в механическую работу и крутящий момент на валу двигателя при обратном ходе поршней расширительных цилиндров к нижней мертвой точке.

Предлагаемый комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания имеет высокий коэффициент теплоиспользования и практически не имеет вредных выбросов. Высокая экономичность и экологическая безопасность позволит в будущем использовать его в составе силовых установок автотракторной техники, электрогенераторов и другой экономичной, экологически безопасной мобильной техники, эксплуатируемой с переменной нагрузкой. Изложенный в этой статье материал может служить основой для теоретических исследований малотоксичного рабочего процесса, а также обеспечить основу для дальнейших разработок по повышению экономичности и снижению вредных выбросов в двигателях внутреннего сгорания.

Список использованных источников

1. Компаундный двигатель внутреннего сгорания: заявка DE 3121301 A1, МПК F02B 41/08. – 1983.
2. Двигатель внутреннего сгорания с утилизацией теплоты отработавших газов : пат. ЕАПО 036869 B1 / А. Н. Антоненко, А. А. Антоненко – Оpubл. 30.12.2020.
3. Способ работы двигателя внутреннего сгорания : патент ВУ 8639 C1, М F02B 41/02 / А. Н. Антоненко. – Оpubл. 30.12.2006.
4. Комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания : заявка ВУ а 20210054 / А. Н. Антоненко. – Оpubл. 30.10.2022.
5. Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : «Колос», 1994. – С. 52–59.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

Д. И. Комлач, А. Н. Юрин

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

ЛИНИЯ СОРТИРОВКИ И ФАСОВКИ ЯБЛОК ЛСП-4 И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЁ ИСПЫТАНИЙ

Аннотация. В данной статье приведены результаты приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, проходивших в производственных условиях ОАО «Остромечево» Брестского района, и экономическая эффективность её применения.

Ключевые слова: Линия сортировки яблок, транспортер, лоток, система технического зрения, дефект плода, механические повреждения, испытания, комплекс уборки веток, валкователь веток, измельчитель веток, экономическая эффективность, агротехнические требования.

D. I. Komlach, A. N. Yurin

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus*

APPLE SORTING AND PACKAGING LINE LSP-4 AND THE RESULTS OF ITS TESTS

Abstract. This article presents the results of acceptance tests of the technological line for sorting and packing apples LSP-4, which took place under the production conditions of OJSC Ostromechevo, Brest region, and the economic efficiency of its use.

Keywords: tests, branch harvesting complex, branch raker, branch shredder, economic efficiency, agrotechnical requirements.

Введение

Потери плодов от уборки и до момента поступления к конечному потребителю составляют до 30 %, что вызывает потребность в их сортировании. В настоящее время процесс сортировки плодов – мало механизированный процесс, и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки этих плодов.

Сортировка плодов в соответствии с СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» имеет целью разделение плодов на фракции, относящиеся по характеристикам к высшему, первому и второму сорту, а также отделение нестандартных плодов.

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

При ручном сортировании данную работу может качественно выполнить опытный специалист-сортировщик. Однако производительность работ при ручной сортировке на три товарных сорта составляет 40–70 кг/ч, плоды при этом 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, очевидно, что необходимо внедрение в производство средств механизации, облегчающих или полностью исключаящих ручной труд при сортировке плодов.

Существует и сортировка плодов по показателям качества поверхности с частичным применением механизмов и машин, которые осуществляют доставку продукции к рабочему и её отвоз после сортировки. Осмотр продукции, частичная манипуляция и принятие решения о качестве плодов осуществляется человеком. Производительность работника при такой сортировке составляет до 300 кг/ч [3].

Дальнейшее повышение производительности труда на сортировании возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Автоматизированная сортировка осуществляется сканирующим устройством без участия или с частичным участием человека. Оно производит фото- или видеосъемку плода, распознавание его, присвоение плоду соответствующего сорта и выдачу управляющего сигнала для рабочего органа, осуществляющего непосредственное выделение (извлечение) плода из общего потока.

Для этого используются системы технического зрения (СТЗ), однако известные технические средства с СТЗ позволяют качественно осуществлять сортировку плодов только по размеру и цвету. Сортировка же по наличию повреждений (вредителей, болезней и механического воздействия) не осуществляется, что снижает качество конечного продукта, а также требует дополнительного контроля качества выходной продукции операторами-сортировщиками.

Поэтому создание технического средства с СТЗ, позволяющего определить качество поверхности плода с учетом повреждений аналогично тому, как это делает человек [4–8], является важной агроинженерной задачей.

Основная часть

На основе проведенных исследований по обоснованию параметров системы технического зрения для распознавания дефектов плодов в 2019 году была разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4.

Линия состоит из транспортера приемного 1, модуля разгрузочного 2, ролинга 3, лотка 4, опоры 5, ванны 6, горки 7, сушики 8, водовода 9, опоры 10, линии сортировки 11, конвейеров 12 и 13, каретки 14, стола 15, системы технического зрения (СТЗ) 16 (рис. 1, 2).

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является система технического зрения (далее – СТЗ) (рис. 3), расположенная на основном конвейере 11 (рис. 2).

СТЗ представляет собой сложное техническое устройство, состоящее из двух основных корпусных элементов, задающих внешние габариты всего изделия (рис. 3):

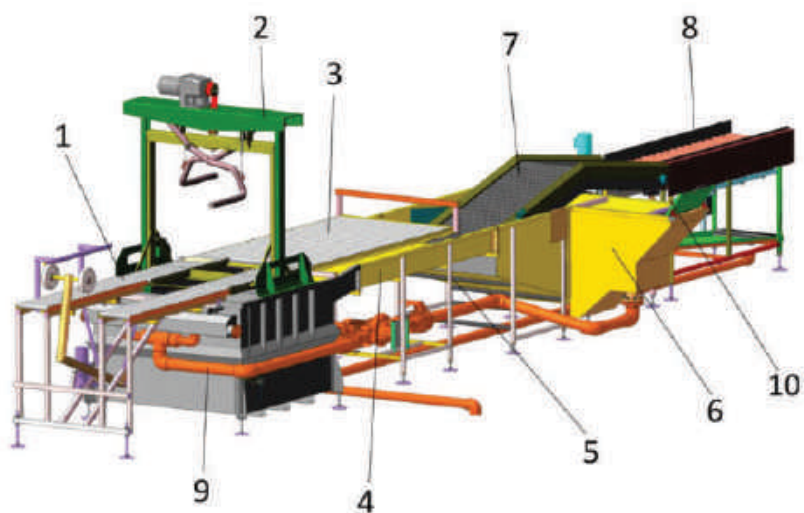


Рис 1. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (приемная часть): 1 – транспортер приемный, 2 – модуль разгрузочный, 3 – ролинг, 4 – лоток, 5 – опора, 6 – ванна, 7 – горка, 8 – сушка, 9 – водовод, 10 – опора

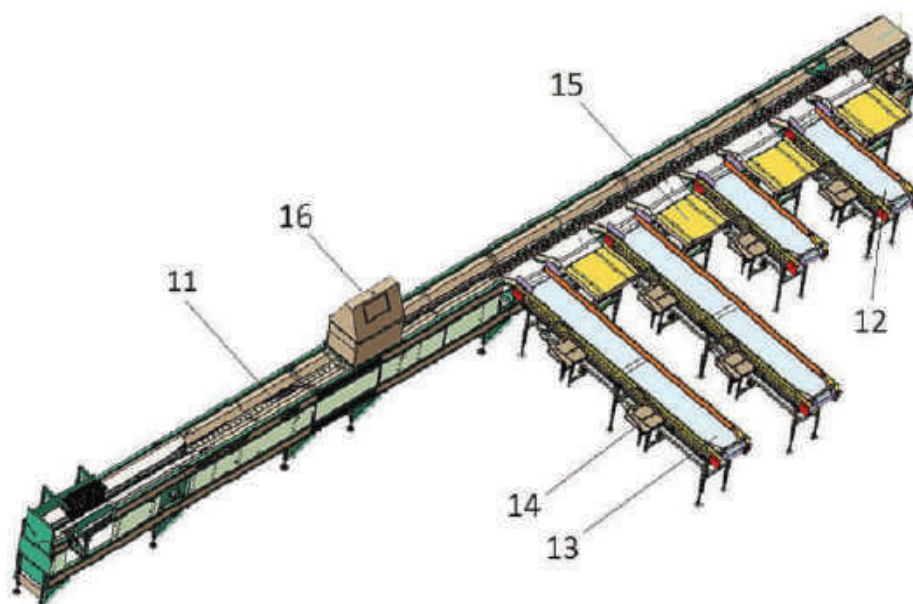


Рис. 2. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (сортирующая часть): 11 – основной конвейер, 12 и 13 – конвейер, 14 – каретка, 15 – стол, 16 – оптический сортировщик



Рис. 3. Система технического зрения СТЗ линии сортировки ЛСП-4

- механического защищённого корпуса видеокамерой и структурированной подсветкой;
- электрического шкафа управления с вычислительным модулем и сенсорным монитором.

В основу работы СТЗ положен принцип визуального анализа данных, согласно которому полученные с видеокамеры изображения движущихся по конвейеру плодов обрабатываются и формируются в образы с последующей их классификацией и выдачей соответствующего управляющего сигнала блоку управления, который активизирует исполнительное устройство в виде приводимого в движение электричеством рабочего органа, установленного на транспортёре. Далее исполнительное устройство воздействует на ложемент транспортера, в котором находится соответствующий плод, и подает его на поперечный (упаковочный) конвейер соответствующего сорта.

Технологический процесс сортировки осуществляется следующим образом.

Перед началом сортировки оператор линии включает электропитание линии и через графическую панель управления СТЗ заполняет паспортные данные сортируемых плодов, устанавливает параметры сортируемых плодов и задает конвейеры, которые будут принимать отсортированные плоды высшего, первого и второго сорта.

Далее оператор линии включает привод толкателя, который перемещает контейнер в модуль разгрузочный. Далее оператор включает лифтовое устройство модуля разгрузочного и притапливает контейнер с плодами в ванне с водой. Когда плоды всплывают на поверхность воды, оператор включает насос водовода, горку и сушку. Поток воды, поступающий из передней стенки модуля разгрузочного, транспортирует яблоки к горке и сушке, где они высушиваются при контакте с фетровыми барабанами машины.

После завершения подготовительных работ контейнер с плодами подается автопогрузчиком на транспортер приемный 1 (рис. 1) и устанавливается на роликовые направляющие.

Далее оператор включает привод линии сортировки, плоды поступают на линию сортировки, где попадают в индивидуальные каретки, закрепленные на приводной цепи. Проходя через СТЗ, плоды фотографируются. Далее изображение передается в вычислительный модуль СТЗ, где программное обеспечение классифицирует поступающие плоды согласно заданным параметрам.

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу исполнительному устройству управляющего сигнала сбрасывателям, осуществляющим опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

Рабочие за конвейерами принимают отсортированные плоды и укладывают их в коробки.

По мере сортировки плодов автопогрузчиком устанавливается новый контейнер с плодами на приемный транспортер. После освобождения контейнера от плодов оператор поднимает его лифтовым устройством модуля разгрузочного и, перемещая новый контейнер с плодами в модуль разгрузочный, сталкивает опорожнённый контейнер на ролинг, где с него стекает вода. Далее пустой контейнер снимается автопогрузчиком с ролинга и транспортируется на место их сушки и хранения.

Технические характеристики технологической линии приведены в табл. 1.

Линия обеспечивает сортировку яблок в зависимости от качества на три товарных сорта: высший, первый и второй в соответствии с агротехническими требованиями, указанными в табл. 2.

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» в Брестском районе, аг. Остромечево в 2020–2021 годах. По результатам приёмочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 получен протокол № 004-1/3-2022 от 25.02.2022 [8].

Анализ проведенных испытаний показал, что технологическая линия в целом 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 % (не менее 80 % по ТЗ). Некоторое снижение точности сортирования по отношению к техническому заданию объясняется наличием в сортируемых плодах большого количества яблок, имеющих значительные механические повреждения (более 20 % поверхности) и плоды с обширной, более ½ площади плода, гнилью, поступление которых запрещено ТЗ.

Таблица 1. Технические характеристики линии ЛСП-4

Наименование показателя	Значение
Масса линии, кг	8000
Габаритные размеры, мм:	
– длина	13400
– ширина	12600
– высота	3380
Количество отводящих конвейеров, шт.	4
Скорость движения сортировальных кареток, м/с	0,10–0,78
Производительность за час основного времени, т*	2,5, не более
Параметры, по которым осуществляется сортировка	размер, механические повреждения, повреждения от вредителей
Обслуживающий персонал, чел.	8
Вид сортируемой продукции	яблоки
Точность сортирования, %, не менее	80
Допустимое отклонение по наибольшему диаметру яблок, находящихся в одной и той же таре, не более	10 мм

* Зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов.

Таблица 2. Агротехнические требования на сортировку плодов

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	2см 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	н/д	н/д
– «сетка»	н/д	до ¼ поверхности	допускается
– «парша»	н/д	до 2 см ²	2см ² –¼ поверхности

Примечание: *** Размеры плодов, а также наличие повреждений для высшего, первого и второго сортов могут быть изменены по желанию потребителя.

При этом производительность линии за час основного времени составила 1,76–1,80 т/ч, а удельный расход электроэнергии – 2,59–2,8 кВт*ч/т, что полностью соответствует требованиям технического задания.

Функциональные, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления линии приведены в табл. 3.

Таблица 3. Функциональные, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления технологической линии

Наименование показателя	Значение показателя		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
		фон 1	фон 2
Вид работы	Сортировка и фасовка яблок сферической формы	Сортировка и фасовка яблок сферической формы	
Место проведения испытаний	–	ОАО «Остремчево» Брестского района	
Дата проведения испытаний	–	06.10.2021	27.12.2021
Режим работы:			
Скорость движения главного транспортера, м/с	–	0,68	0,68
Функциональные показатели:			
Повреждение продукции линией после сортировки, %	10,0, не более	8,4	1,3

Наименование показателя	Значение показателя		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
		фон 1	фон 2
Точность сортирования, %	80,0, не менее	56,0	73,1
Точность сортирования с допустимым отклонением по наибольшему диаметру, %	80,0, не менее	–	75,4
Эксплуатационно-технологические показатели:			
Производительность, т/ч:			
– за час основного времени	2,5, не более	1,76	1,80
– за час сменного времени	1,87, не более	1,20	1,21
– за час эксплуатационного времени	–	1,20	1,21
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:			
– технологического обслуживания	0,98, не менее	1,0	1,0
– надежности технологического процесса	0,98, не менее	1,0	1,0
– использования сменного времени	0,67, не менее	0,68	0,67
– использования эксплуатационного времени	0,62, не менее	0,68	0,67
Удельная масса, кг*ч/т	–	4545	4444
Показатели энергопотребления:			
Напряжение питающей сети, В	–	412/237	
Установленная мощность, кВт	18,00, не более	14,11	
Потребляемая мощность, кВт	–	4,66	
Удельный расход энергии, кВт*ч/т	5,0, не более	2,59	2,80

Расчет экономических показателей использования линии сортировки яблок ЛСП-4 производился в сравнении с импортным аналогом – линией сортировки яблок «Rollerstar CV-C3 1-7+1» фирмы «Aweta», Голландия.

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [9] с использованием нормативно-справочных материалов и действующих тарифных ставок оплаты труда механизаторов и стоимости топлива.

Исходные данные к расчету сравнительной экономической эффективности комплекса приведены в табл. 4, а показатели сравнительной экономической эффективности – в табл. 5.

В результате расчета сравнительных показателей экономической эффективности при работе линии установлено, что годовой приведенный экономический эффект от применения линии составляет 97 142,50 руб., а срок окупаемости – 4,59 года.

Таблица 4. Исходные данные к расчету экономической эффективности линии сортировки яблок ЛСП-4

Наименование показателя	Значение по машине	
	Разрабатываемый	
Вид операции	сортировка яблок	
Марка агрегата	Технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4	Линия сортировки яблок «Rollerstar CV-C3 1-7+1» («Aweta», Голландия)
Обслуживающий персонал, чел., по категориям:	8	8
– водитель погрузчика (количество/разряд)	1/IV	
– сортировщики-укладчики (количество/разряд)	6/IV	
– оператор (количество/разряд)	1/IV	
Производительность, т/ч		
– сменного времени	1,21	1,21
– эксплуатационного времени	1,21	1,21
Расход электроэнергии, кВт ч./т	2,8	2,8
Цена электроэнергии, руб./кВт ч.	0,45	0,45

Наименование показателя	Значение по машине	
	Разрабатываемый	Иностраный аналог
Балансовая цена (без НДС), руб.	250000,00	463500,00
Коэффициент отчислений на:		
– амортизацию	0,125	0,125
– текущий ремонт и периодическое техническое обслуживание	0,13	0,13
Годовая загрузка, ч	140	140
Годовая наработка, т	169,4	169,4
Затраты труда, чел. ч/т	6,61	6,61
Прямые эксплуатационные затраты (себестоимость), руб./т по элементам:		
– зарплата	25,7	25,7
– амортизация	184,47	342,02
– ремонт и техническое обслуживание	191,85	355,70
– электроэнергия	1,27	1,27
– всего	403,21	724,67
Удельные капитальные вложения, руб./т	295,16	547,23
Сумма приведенных затрат (с учетом экономического коэффициента эффективности $E=0,2$), руб./т	698,37	1271,90

Таблица 5. Показатели сравнительной экономической эффективности линии

Наименование показателя	Значение
Годовой приведенный экономический эффект, руб.	97142,50
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб.	54442,50
Степень снижения себестоимости механизированных работ, %	44,35
Срок окупаемости абсолютных (дополнительных) капитальных вложений, лет	4,59
Капитализированная стоимость новой техники, руб.	548900,00

Полученные результаты позволяют констатировать, что применение линии сортировки яблок ЛСП-4 для проведения технологической операции сортировки плодов выгодно для сельскохозяйственных производителей Беларуси.

На основании полученного протокола приемочных испытаний Приемочная комиссия Актом от 6 апреля 2022 г. № 22-01 установила, что опытный образец линии сортировки яблок ЛСП-4 соответствует требованиям технического задания, и рекомендовала к постановке на производство.

На основании решения комиссии были утверждены технические условия ТУ ВУ 100230575.518-2022 на линию сортировки яблок.

Заключение

1. В результате проведения приемочных установлено, что линия сортировки яблок ЛСП-4 в целом соответствует требованиям технического задания и другой технической нормативной документации.

2. Годовой приведенный экономический эффект от применения линии составляет 97142,50 руб., а срок окупаемости капиталовложений – 4,59 года, что позволяет говорить о высокой эффективности линии.

Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Черноград, 2004. – 19 с.

2. 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.

3. 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.

4. 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 // Agr. Engineering Intern.: CIGR J. – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 171–178.

5. Lu, Y. 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)] / Y. Lu, R. Lu // Trans. of the ASABE. – 2017. – Vol. 60, N 4. – P. 1379–1389.

6. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А. С. Гордеев ; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.

7. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и технико-экон. исслед. по инженер.-техн. обеспечению агропром. комплекса ; подгот.: М. И. Куликов [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2012. – 164 с.

8. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 99 с.

9. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008 (02150). – Введ. 01.02.09 (взамен ОСТ 10.2.18 2001). – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 20 с.

УДК 001.2

Поступила в редакцию 07.10.2022

Received 07.10.2022

Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, П. П. Бегун

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

ТЕРМИНОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА БИОЛОГИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ

Аннотация. Статья посвящена общим вопросам методологии (стратегии) передачи решений от биологии к инженерии для решения конкретных технических задач. В статье на основании знакомства с зарубежными работами, существующими стандартами и открытыми онлайн-ресурсами выполнен обзор терминологии бионики для правильного ее применения при решении задач инженерного проектирования, в том числе в области земледельческой механики.

Ключевые слова: проектирование, инженерия, биология, бионика, терминология, биоинспирация, биомимикрия, биологически вдохновленный дизайн.

D. I. Komlach, V. V. Goldyban, P. P. Behun

RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

THE BASIC TERMINOLOGY OF ENGINEERING DESIGN, BASED ON A BIOLOGICAL APPROACH

Abstract. The article is devoted to general issues of methodology (strategy) of transferring solutions from biology to engineering to solve specific technical problems. In the article, based on acquaintance with foreign works, existing standards and open online resources, a review of the terminology of bionics for its correct application in solving engineering design problems, including in the field of agricultural mechanics, is carried out.

Keywords: design, engineering, biology, bionics, terminology, bio inspiration, biomimicry, biologically inspired design.

Введение

В последнее время в области земледельческой механики сформировалось новое научное направление, заключающееся в бионическом подходе к созданию сельскохозяйственных машин и рабочих органов. Наука, возникшая на стыке биологии и технологии, – бионика применяет принципы и методы, абстрагированные для передачи знаний от биологических систем к инженерному проектированию.

Появление бионики как науки способствовало терминологической модернизации: возник новый тезаурус терминов и определений, вводимых инженерами-проектировщиками с одной стороны и биологами с другой. Не владея этой специальной лексикой, невозможно применить бионические подходы к проектированию сельскохозяйственных машин. Поэтому нам кажется целесообразным привести здесь основные определения бионики для грамотного их применения при решении задач инженерного проектирования.

Предлагаемая в статье терминология бионики представлена на основании знакомства с зарубежными работами, существующими стандартами и открытыми онлайн-ресурсами.

Основная часть

Существует несколько терминов для описания процесса «обучения у природы»: биоинспирация; биомимикрия; биомиметика; бионика; биологически вдохновленный дизайн.

Для описания методологии передачи биологических знаний инженерам и проектировщикам эти определения используют взаимозаменяемо. Но при рассмотрении соответствующих областей применения каждого слова и процессов разработки возникают различия.

Для лучшего понимания этих различий рассмотрим основные определения терминов, предложенные Комитетом по биомиметике и отраженные в стандарте ISO 18458:2015 «Биомиметика – терминология, понятия и методология» [1]:

– биомимикрия – философия и междисциплинарные подходы к проектированию, использующие природу в качестве модели для решения задач устойчивого развития (социального, экологического и экономического);

– биомиметика – междисциплинарное сотрудничество биологии и технологий или других областей инноваций с целью решения практических задач посредством функционального анализа биологических систем, их абстрагирования в модели и переноса в эти модели и применения их для решения;

– бионика – техническая дисциплина, которая стремится воспроизвести, увеличить или заменить биологические функции их электронными и/или механическими эквивалентами» (рис. 1).



Рис. 1. Взаимосвязь основной терминологии процесса передачи знаний из биологии к технике

Как промежуточные, существуют термин «биоинспирация» и прилагательное «биоинспирированный» (bioinspired), означающий вдохновленный или основанный на биологических структурах или процессах. Автор работы [2] дает определение этому термину как «открытие фундаментальных биологических принципов и аналоговая их передача инженерам для проектирования потенциально лучше, чем природа».

Биомиметика занимается реализацией процессов и принципов природы в технологических приложениях и устройствах, т. е. происходит передача (знаний) от биологии к технологии. Стоит отметить, что непосредственное копирование от природы к технологии в биомиметике невозможно. Вместо этого биомиметика включает в себя творческое преобразование в технологию, которая часто основана на различных этапах абстракций и модификаций, то есть на независимой последовательной конструкции, которая является скорее «новым изобретением», чем проектом природы.

Биомимикрия – это подход к инновациям, который ищет устойчивые решения человеческих проблем, эмулируя проверенные временем модели и стратегии природы. Президент института биомимикрии Джанин Бениус определяет биомимикрию как науку, которая изучает модели природы, а затем имитирует или черпает вдохновение из этих конструкций и процессов для решения человеческих проблем [3]. Короче говоря, биомимикрия – это процесс применения явлений, существующих в природе, для создания различных технологий.

Термин «бионика», связанный с копированием, подражанием и изучением биологии, был придуман Джеком Стил из ВВС США в 1960 году на встрече базы ВВС Райт Паттерсон в Дейтоне, штат Огайо, а Отто Х. Шмитт придумал термин «биомиметика» в 1969 году. Одно из первых упоминаний термина «биомимикрия» можно найти в диссертации по химии Меррилла К. Л. в 1982 году [4].

Бабицкий Л.Ф., говоря о бионике, отмечает: «Родившаяся на стыке биологических, физико-математических и технических наук, бионика ставит своей задачей использование принципов организации и функциональных схем биологических систем разного уровня при решении инженерно-технических задач» [5].

Промышленный дизайнер, профессор и исследователь в области бионики Лодато Ф. в своей работе [6] представляет два определения бионики, которые соответствуют одному девизу «природа как инструмент инноваций». Согласно первому определению, «бионика – это усвоение инженерных принципов, используемых в естественных системах, и применение этих принципов при проектировании или совершенствовании технологических или материальных систем». Во втором утверждении он говорит, что «бионика – это техническая трансформация и применение эволюционных структур, методов и принципов, исходящих из биологических систем; междисциплинарная область исследований, сочетающая биологию с инженерией, архитектурой и математикой». Он связывает исследования и поиск решений в природной среде с эволюцией и изменениями в связи с инновациями и интеграционным процессом, связанным с хорошо известной концепцией промышленного дизайна как междисциплинарной, где бионические исследователи рассматривают биологию как основу промышленного дизайна.

Ф. Адан в работе [7] излагает следующее определение: «Бионика – это изучение биологических прототипов при проектировании искусственных систем, то есть речь идет об изучении фундаментальных принципов природы и применении этих принципов и процессов к потребностям человечества». В дополнение к его определению следует, что работа бионического дизайнера имеет сильный исследовательский компонент, необходимый для того, чтобы иметь возможность проектировать новые объекты или промышленные приложения, при этом весьма важным остается понимание природы, а не прямое ее копирование, что, с другой стороны, может привести к неудаче.

Как отмечает Литинецкий [8], «бионика – это междисциплинарная наука или наука-перекресток. Она сформирована на основе естественных и технических наук. По сути, она синтезирует накопленные знания в области биологии, кибернетики, физики, психологии, биофизики, строительства и т. д.».

Большинство исследователей в своих работах все же используют терминологию, предложенную стандартом ISO 18458:2015, о котором мы упоминали выше.

На примере выполняемого в настоящее время нами задания «Исследование износостойких биоинспирированных рабочих поверхностей стрелчатых лап культиваторов для ухода за посадками овощных культур» в рамках ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы рассмотрим применимость терминологии Международного стандарта ISO 18458:2015.

На основании микроскопических исследований поверхности мандибул (жвал) черного садового муравья *Lasius niger* предложена концепция упрочнения культиваторных лап [9]:

– наиболее нагруженную рабочую кромку культиваторной лапы упрочнить твердосплавными вставками с зубчатой рабочей кромкой;

– зубчатая поверхность в отличие от основного материала лапы должна иметь более высокую износостойкость.

В данном случае междисциплинарное сотрудничество специалистов лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов и кафедры биологии Белорусского государственного университета по поиску аналогий и переносу биологических принципов в земледельческую механику относится к области биомиметики. Модифицированная режущая кромка культиваторной лапы может характеризоваться понятием «биоинспирированный», так как спроектирована на основе биологических принципов сопротивления абразивному износу, реализованных в нижних жвалах садового муравья. Область науки, в которой проводятся эти междисциплинарные исследования, называется бионикой.

Заключение

Уверенное владение основным лексиконом такой молодой области знаний как бионика выступает показателем терминологической грамотности и компетенции, а его активное применение в общении среди специалистов способствует взаимопониманию и сотрудничеству в научной сфере.

Список использованных источников

1. Биомиметика. Терминология, понятия и методология : ISO 18458:2015. – Введ. впервые. – 32 с.
2. Sharma, S. Biomimicry: Exploring Research, Challenges, Gaps and Tools / S. Sharma, P.Sarkar // Research into Design for a Connected World. – 2019. – PP. 87–97.
3. What is biomimicry [Electronic resource] // Biomimicry Institute. – Mode of access: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>. – Date of access: 15.09.22.
4. Merrill, C. L. Biomimicry of the Dioxygen Active Site in the Copper Proteins Hemocyanin and Cytochrome Oxidase / Doctoral thesis, Chemistry, Rice University, Houston, TX. – 1982.
5. Научная школа «Механико-бионические основы разработки почвообрабатывающих машин» / Л. Ф. Бабицкий. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2017. – 44 с.
6. Lodato, F. Biónica: La naturaleza como herramienta de innovación / F. Lodato. – Experimenta: ediciones de diseño. – 2000. – № 31. – PP. 46–51.
7. Adan, F. S. Diseño industrial: desarrollo del producto / F. S. Adan, J. L. Izquierdo // Madrid: International Thomson Editores Spain Paraninfo, – 2002. – 168 p.
8. Litinetski, I. B. Iniciación a La Biónica. – Barcelona: Barral, 1974. – 288 p.
9. Исследование мандибул черного садового муравья в качестве бионической модели для повышения надежности культиваторных лап / В. В. Голдыбан [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. 251–258.

Д. И. Комлач, А. Н. Юрин

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

ОПРЫСКИВАТЕЛЬ ДВУХРЯДНЫЙ ДЛЯ ЯГОДНИКОВ ОД-2 И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ИСПЫТАНИЙ

Аннотация. В данной статье приведены результаты приемочных испытаний опрыскивателя двухрядного для ягодников ОД-2, проходивших в производственных условиях ФХ «Мой сад» и РУП «Толочинский консервный завод», а также экономическая эффективность его применения.

Ключевые слова: опрыскиватель двухрядный, распылитель, штанга, кусты, смородина, испытания, экономическая эффективность, агротехнические требования.

D. I. Komlach, A. N. Yurin

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus*

DOUBLE-ROW SPRAYER FOR BERRIES OD-2 AND THE RESULTS OF ITS TESTS

Abstract. This article presents the results of acceptance tests of the double-row sprayer for berry growers OD-2, which took place under the production conditions of the farm “My Garden” and RUE “Tolochin Cannery”, as well as the economic efficiency of its use.

Keywords: double-row sprayer, sprayer, boom, bushes, currant, tests, economic efficiency, agrotechnical requirements.

Введение

Садоводство является важнейшей отраслью сельского хозяйства, которая обеспечивает население плодами и ягодами – одними из основных источников витаминов, минеральных веществ и биологически активных соединений, крайне необходимых для нормального функционирования человеческого организма. В то же время на одного жителя республики производится только 30–50 кг плодов и ягод при научно обоснованной медицинской норме 98 килограммов. В результате республика ежегодно импортирует от 150 до 300 тыс. тонн плодово-ягодной продукции.

Важным агротехническим приемом по уходу за садом является защита насаждений от вредителей и болезней. За один сезон количество химических обработок может достигать 10–17.

В настоящее время для обработки садов рабочими растворами ядохимикатов применяются вентиляторные опрыскиватели. Основным недостатком таких опрыскивателей является низкая производительность труда, так как во время их работы производится обработка раствором пестицида только 2 полурядов, вследствие чего хозяйствам требуется большое количество таких опрыскивателей.

В последнее десятилетие за рубежом создается все больше многорядных опрыскивателей, способных вести обработку 2 рядов за один проход [1–7]. Принцип действия таких машин заключается в том, что осевой вентилятор нагнетает воздух в воздухопроводы, проложенные по периметру порталов, расположенных с трех сторон насаждений. Благодаря этому обработка растений происходит со всех сторон одновременно, что обеспечивает высокую равномерность нанесения препарата, снижает его потери и позволяет повысить производительность труда в 2 раза.

Таким образом, актуальным в настоящее время является создание в республике двухрядного опрыскивателя для ягодников, позволяющего в 2 раза повысить производительность труда, повысить качество химической защиты ягодников.

Основная часть

На основе проведенных исследований в 2021 году РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был разработан двухрядный опрыскиватель для ягодников ОД-2, предназначенный для химической обработки от вредителей и болезней кустов ягодников, используемых в системе механизированной уборки ягод.

Опрыскиватель (рис. 1–2) состоит из следующих сборочных единиц и узлов: рамы со сцепным устройством, колесного хода, системы распределения воздуха (вентилятор, делитель воздушного потока, воздухопроводы, диффузоры), системы распределения рабочей жидкости (основной бак, насос, фильтр, регулятор давления, трубопровод, распылители), гидросистемы, опоры и электрооборудования.



Рис. 1. Общий вид опрыскивателя ОД-2 в рабочем положении

Технологический процесс, выполняемый опрыскивателем, заключается в следующем.

На месте проведения работ опрыскиватель переводится из транспортного положения в рабочее. Осуществляется заправка опрыскивателя рабочей жидкостью и химикатами через заправочную горловину емкости и перемешивание. При подъезде опрыскивателя к началу рабочего прохода, в момент достижения требуемой рабочей скорости, включается ВОМ трактора, поток мощности передается на вал насоса и входной вал вентилятора.



Рис. 2. Опрыскиватель ОД-2 в агрегате с трактором «Беларус-921.3» на химической обработке кустов смородины

Жидкость всасывается из бака через фильтр и подается к регулятору давления, который сбрасывает часть жидкости обратно в бак, а остальную направляет к распылителям. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, транспортирует распыленные капли на кустарниковые насаждения, обрабатывая одновременно два ряда как с боков, так и сверху.

Технические характеристики опрыскивателя приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики опрыскивателя

Наименование показателя	Значение
Марка опрыскивателя	ОД-2
Тип опрыскивателя	Полуприцепной вентиляторный
Агрегатирование	«Беларус-921.3»
Вместимость бака, л	
– основного	2000
– промывочного	120
– для не питьевой воды	17
Масса опрыскивателя (без рабочей жидкости), кг	870
Размер колес, мм	1580
Количество обрабатываемых рядков, шт.	2
Количество распылителей, шт.	20
Производительность насоса, л/мин	118,4
Рабочая ширина захвата, м	7–8
Рабочая скорость движения, км/ч	4,0–8,0
Транспортная скорость движения, км/ч	
– с незаполненным баком	25,0
– с заполненным баком	10,0

Испытания опрыскивателя в производственных условиях проводились в КФХ «Мой сад» Столбцовского района Минской области и РУП «Толочинский консервный завод» Толочинского района Витебской области в агрегате с трактором «Беларус-921.3». Условия и режимы испытаний соответствовали требованиям технического задания, за исключением ширины междурядий кустарниковых насаждений, которая составляла 4,0 м (по ТЗ – 3,0–3,5 м). По результатам приёмочных испытаний опрыскивателя получен протокол № 024-1/2-2022 от 28 сентября 2022 года [8].

В результате эксплуатационно-технологической оценки, проведенной на обработке кустарников химическими препаратами с минеральными смесями и внесении фунгицидов, установлено, что производительность опрыскивателя за час основного времени составила 4,32 га и 4,80 га, за час сменного времени 2,90 га и 3,22 га, а за час эксплуатационного времени 2,85 га и 3,16 га, что полностью соответствует ТЗ.

Удельный расход топлива за сменное время составил 2,5 кг/га и 2,2 кг/га, что соответствует требованиям ТЗ (не более 2,5 кг/га).

Функциональные, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления опрыскивателя приведены в табл. 2 и 3.

Анализ проведенных испытаний показал, что опрыскиватель обеспечивает заданные требованиями технического задания отклонение фактической нормы вылива от заданной, неравномерность расхода рабочей жидкости между распылителями, средневзвешенный медианно-массовый диаметр капель и густоту покрытия каплями обрабатываемой поверхности, обеспечивая качественную химическую защиту многолетних ягодников.

Расчет экономических показателей использования опрыскивателя ОД-2 проведен по результатам эксплуатационно-технологической оценки на внесении фунгицидов в сравнении с импортным аналогом Agrola 1500 HST (Польша).

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [9] с использованием нормативно-справочных материалов и действующих тарифных ставок оплаты труда механизаторов и стоимости топлива.

Таблица 2. Функциональные показатели опрыскивателя

Наименование показателя	Значение		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
Состав агрегата, марка: – опрыскивателя – трактора	ОД-2 Тракторы кл. 1,4	ОД-2 «Беларус-921.3»	ОД-2 «Беларус-921.3»
Вид работы	Химическая обработка ягодников	Обработка кустарников химическими препаратами	Внесение фунгицидов
Место проведения испытаний	–	КФХ «Мой сад» Столбцовского района Минской области	РУП «Толочинский консервный завод» Толочинского района Витебской области
Срок проведения испытаний	–	24.06.2022	11.08.2022
Марка распылителей	Нет данных	НСИ 80015	НСИ 80025
Доза внесения рабочей жидкости, л/га	60–500	250	400
Средневзвешенный медианно-массовый диаметр капель (при расходе 60–500 л/га), мкм: – верхушка – верхний ярус – средний ярус – нижний ярус	200–600	153* 160* 139* 107*	214 143* 148* 71*
Густота покрытия обрабатываемой поверхности каплями, шт./см ² : – верхушка – верхний ярус – средний ярус – нижний ярус	30, не менее	78 71 75 41	97 124 113 63

* Значение показателя не является несоответствием, так как находится в более широком диапазоне значений показателя.

Таблица 3. Эксплуатационно-технологические показатели

Наименование показателя	Значение		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
Состав агрегата, марка: – опрыскивателя – трактора	ОД-2 Тракторы кл. 1,4	ОД-2 «Беларус-921.3»	
Вид работы	Химическая обработка ягодников	Обработка кустарников химическими препаратами	Внесение фунгицидов
Место проведения испытаний	–	КФХ «Мой сад» Столбцовского района Минской области	РУП «Толочинский консервный завод» Толочинского района Витебской области
Сроки проведения испытаний	–	24.06.2022	11.08.2022
Режим работы:			
Скорость движения, км/ч: – рабочая – транспортная	4,0–8,0 10,0, не более	5,4 10,0	6,0
Рабочая ширина захвата, м	7,0	8,0*	
Доза внесения рабочей жидкости, л/га	60–500	250	400
Марка распылителей	Нет данных	НСИ 80015	НСИ 80025
Эксплуатационно-технологические показатели:			
Производительность, га за час времени: – основного – сменного – эксплуатационного	2,79–5,60 1,87–3,75 1,76–3,52	4,32 2,90 2,85	4,80 3,22 3,16

Наименование показателя	Значение		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
Удельный расход топлива за сменное время, кг/га	2,5, не более	2,5	2,2
Количество обслуживающего персонала, чел. (тракторист-машинист)	1	1	1
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:			
– технологического обслуживания	0,94, не менее	0,94	0,94
– надежности технологического процесса	0,94, не менее	0,99	0,99
– использования сменного времени	0,67, не менее	0,67	0,67
– использования эксплуатационного времени	0,63, не менее	0,66	0,66

* Рабочая ширина захвата изменена с учетом ширины междурядий насаждений

Исходные данные к расчету сравнительной экономической эффективности комплекса приведены в табл. 4, а показатели сравнительной экономической эффективности – в табл. 5.

В результате расчета сравнительных показателей экономической эффективности установлено: – годовой приведенный экономический эффект составил 16869,34 руб., годовая экономия себестоимости механизированных работ – 9113,44 руб., что предполагает снижение затрат при использовании опрыскивателя ОД-2 на 40,6 %. Абсолютные капитальные вложения опрыскивателя ОД-2 окупаются через 4,9 года.

Таблица 4. Исходные данные и расчет экономических показателей выполнения процесса с применением опрыскивателя ОД-2 и аналога Agrola 1500 HST (Польша)

Наименование показателя	Значения показателя	
	по новой технике	по иностранному аналогу
Наименование сельскохозяйственной операции	Внесение фунгицидов	
Марка: – опрыскивателя – трактора	ОД-2 «Беларус 921.3»	Agrola 1500 HST «Беларус 921.3»
Обслуживающий персонал, чел.: – тракторист (количество/разряд)	1/VI	
Производительность, га за час времени: – сменного – эксплуатационного	3,22 3,16	
Удельный расход топлива, кг/га	2,20	
Цена топлива с учетом стоимости смазочных материалов, руб./кг	2,71	
Балансовая цена (без НДС), руб.: – опрыскивателя – трактора	45000,00	83777,40
Коэффициент отчислений на: – амортизацию: – по опрыскивателю – по трактору	74010,00 0,125 0,083	
– текущий ремонт и техническое обслуживание: – по опрыскивателю – по трактору	0,11 0,099	
Годовая загрузка, ч: – опрыскивателя – трактора	80 1300	
Годовая наработка, га	252,8	
Затраты труда, чел.-ч/га	0,311	

Наименование показателя	Значения показателя	
	по новой технике	по иностранному аналогу
Прямые эксплуатационные затраты (себестоимость), руб./га по элементам:		
– зарплата	1,65	1,65
– амортизация	23,75	42,92
– ремонт и техническое обслуживание	21,36	38,24
– топливо	5,96	5,96
– всего	52,72	88,77
Удельные капитальные вложения (с учетом нормативного коэффициента эффективности E=0,2), руб./га	39,20	69,88
Сумма приведенных затрат, руб./га	91,92	158,65

Таблица 5. Показатели сравнительной экономической эффективности опрыскивателя ОД-2 в сравнении с аналогом Agrola 1500 HST (Польша)

Наименование показателя	Значение
Годовой приведенный экономический эффект, руб.	16869,34
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб.	9113,44
Степень снижения себестоимости механизированных работ по новой технике, %	40,60
Срок окупаемости абсолютных капитальных вложений, лет	4,90
Капитализированная стоимость новой техники, руб.	96905,66

Полученные значения показателей сравнительной экономической эффективности использования опрыскивателя двухрядного для ягодников позволяют констатировать, что применение ОД-2 для химической защиты ягодников выгодно для сельскохозяйственных производителей Беларуси.

Заключение

1. В результате проведения приемочных испытаний установлено, что двухрядный опрыскиватель для ягодников ОД-2 полностью соответствует требованиям технического задания и другой технической нормативной документации.

2. Годовой приведенный экономический эффект от применения опрыскивателя составляет 16869,34 руб., а срок окупаемости капиталовложений – 4,9 года, что позволяет говорить о высокой его эффективности.

Список использованных источников

1. Sprayers Bargam [Electronic resource]. – Mode of access: <http://bargam.portalservices.it/en/prodotti.asp>. – Date of access: 17.07.2020.
2. 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.
3. Разработка камерного (туннельного) опрыскивателя для виноградников [Electronic resource]. – Mode of access: <https://vinograd-vino.ru/nauchnye-razrabotki/386-razrabotka-kamernogo-tunnelnogo-opryskivatela-dlya-vinogradnikov.html>. – Date of access: 31.10.2021.
4. VariMAS Orchard Sprayer [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.munckhof.org/en/machine/varimas-orchard-sprayer/>. – Date of access: 31.10.2021.
5. Догода, А. П. Состояние и перспективы развития машин для безопасной технологии химической защиты многолетних насаждений / А. П. Догода // Наукові праці Південного філіалу Національного Університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. – Сімферополь, 2009. – Вип. 122. – С. 121–126.
6. Виноградарство Крыма : учеб.-справ. пособие / А. П. Дикань [и др.]. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2001. – 408 с.
7. Догода А. П. Результаты полевых исследований опытного образца камерного опрыскивателя ОКВ и их математическая обработка / А. П. Догода // Наукові праці Південного філіалу Національного Університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. – Сімферополь, 2011. – Вип. 138. – С. 10–18.
8. Протокол приемочных испытаний опрыскивателя двухрядного для ягодников ОД-2 от 28 сентября 2022 года № 024-1/2-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 112 с.
9. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008 (02150). – Введ. 01.02.09 (взамен ОСТ 10.2.18 2001). – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 20 с.

А. Н. Перепечаев, Е. В. Кислов, А. И. Тарима, С. П. Колешко

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЬНОЗАВОДОВ

Аннотация. В статье приводится анализ обеспеченности льнозаводов техникой для основной и предпосевной подготовки почвы, внесения удобрений, посева и ухода за посевами льна в республике. Приводится техника, разработанная Центром для механизации основных процессов.

Ключевые слова: лен, агрегат, возделывание, уборка, посев, основная подготовка почвы, предпосевная обработка, уход за посевами, уборка льна.

A. N. Perepechaev, E. V. Kislov, A. I. Tarima, S. P. Koleshko

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

TECHNICAL SUPPORT OF FLAX PLANTS

Abstract. The article provides an analysis of the provision of flax mills with equipment for basic and pre-sowing soil preparation, fertilization, sowing and caring for flax crops in the republic. The technique developed by the center for the mechanization of the main processes is given.

Keywords: flax, aggregate, cultivation, harvesting, sowing, basic soil preparation, pre-sowing treatment, crop care, flax harvesting.

Введение

Одним из факторов, влияющих на качественное и своевременное проведение полевых работ в агропромышленном комплексе страны, является достаточная обеспеченность хозяйств республики высокопроизводительной техникой. Нарушение агротехнических сроков, недостаточная обеспеченность и низкая надежность работы изношенной техники приводят к резкому снижению эффективности полевых работ, потерям урожая и снижению эффективности последующего производства и переработки. Необходимо не только принять меры, связанные с заменой тракторов, сельхозмашин и специализированной техники на новые, с улучшенными техническими характеристиками, но и обеспечить разработку и производство более совершенных технических средств, которые позволят обеспечить существенный рост производительности труда, экономию топлива и энергии, в результате чего будут созданы условия для производства конкурентоспособной продукции.

Основная часть

Для механизации процессов возделывания и уборки льна в республике создан и осуществляется выпуск базового комплекса машин для обработки почвы, посева, внесения минеральных удобрений, ухода за посевами и уборки к тракторам различных тяговых классов.

Для агрегатирования машин в льносеющих предприятиях республики используется 725 ед. тракторов различной мощности двигателя при технологической потребности в них 791 ед. (обеспеченность – 91,7 %), из них 196 ед. тракторов с мощностью двигателя 250 и более л.с. при технологической потребности в них 294 ед. (обеспеченность – 66,6 %).

Для основной обработки почвы с участием РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [1] создано и освоено производство типоразмерного ряда плугов для гладкой

вспашки (от 3 до 12 корпусов) к тракторам различных тяговых классов. В льносеющих предприятиях республики в настоящее время их используется 157 ед. при технологической потребности 214 ед. (обеспеченность – 74,9 %), а также 109 ед. дискаторов-луцильников различных марок при технологической потребности в них 181 ед. (обеспеченность – 60,2 %).

Для предпосевной подготовки почвы с участием РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» создано семейство комбинированных почвообрабатывающих агрегатов типа АКШ шириной захвата от 3,6 до 9 метров, которых в льносеющих хозяйствах используется 192 ед. при технологической потребности в них 292 ед. (обеспеченность – 65,7 %). В то же время данные агрегаты не имеют отдельной модификации для финишной подготовки почвы под лен и другие мелкосемянные культуры, а модернизация имеющихся не производилась с середины 2000 годов.

Для внесения твердых минеральных удобрений под посев льна используется 175 ед. машин центробежного типа при технологической потребности в них 320 ед. (обеспеченность – 54,7 %). В НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства создан штанговый распределитель минеральных удобрений РШУ-18, обеспечивающий высокую равномерность внесения удобрений (неравномерность внесения – 3–7 %). Однако серийный выпуск этих машин до настоящего времени не осуществлен.

Для посева льна в льносеющих предприятиях используются почвообрабатывающе-посевные агрегаты с активными рабочими органами, механической системой высева семян и применением комплектующих фирмы «Лемкен» (Германия) ВМРЗ-300, а также сеялки СЗТМ-4 с механической системой высева семян производства ОАО «Витебский мотороремонтный завод», с пневматической системой высева АПП-6АБ-Л и АППМ-6Л производства ОАО «Брестский электромеханический завод» с применением комплектующих фирмы «Квернеланд» (Норвегия). Всего применяется 128 ед. посевных машин при технологической потребности в них 152 ед. (обеспеченность – 84,2 %). Основным недостатком используемых посевных машин является неравномерное распределение семян льна по площади питания и глубине их заделки. Кроме того, использование посевных агрегатов с пневматической системой высева ведет к снижению полевой всхожести семян льна на 10...20 %. Срок эксплуатации этих машин достиг 9–10 лет, их модернизация предприятиями-изготовителями с 2009–2010 годов не велась.

НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства совместно с ОАО «Оршаагропромаш» создан почвообрабатывающе-посевной агрегат АПЛ-4, обеспечивающий за один проход оптимальную предпосевную подготовку почвы и механический высев семян льна ленточным способом с одновременным внесением стартовой дозы гранулированных минеральных удобрений. Однако производство их не налажено. Проведенная ГУ «Белорусская МИС» сравнительная оценка посевов льна агрегатами АПП-6АБ-АЛ и АПЛ-4 показала, что урожайность льноволокна составила соответственно 5,3 т/га и 5,9 т/га при среднем номере длинного волокна – 11,0 и 11,5 соответственно. Фактически за счет использования посевного агрегата АПЛ-4 может быть получена дополнительная прибыль с 1 га в сумме 50–70 руб., что делает его окупаемым за 1,1–1,5 года.

Для внесения химических средств защиты растений на посевах льна используется 129 ед. опрыскивателей различных типов при технологической потребности в них 201 ед. (обеспеченность – 64,2 %).

Для механизации процессов уборки товарных посевов льна без очеса коробочек используются теребилки ТСЛ-2,4 производства ОАО «Щучинский ремзавод» с применением комплектующих фирмы «Depoortere» (Бельгия) и «Лида-GE220» производства ОАО «Лидаагропромаш» с применением комплектующих фирмы «Union» (Бельгия). Всего в льносеющих предприятиях используется 169 ед. льнотеребилок при потребности в них 214 ед. (недостает 45 ед.). В 2020 году ОАО «Щучинский ремзавод» проведены испытания отечественного аналога теребилки ТСЛ-2,4. Применение самоходных машин экономически целесообразно на высокоурожайных участках. В связи с различными условиями произрастания льна в республике необходимо применение теребилок прицепного (навесного) типа.

Для механизации уборки семенных посевов льна в качестве основной машины используется прицепной комбайн ЛК-4А производства ОАО «Бежецксельмаш» (Тверская область, РФ) и его аналог «Двина-4» производства ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод»

в количестве 360 ед. Кроме того, используются самоходные однопоточные комбайны КЛС-3,5 (РУП «Гомельский завод сельскохозяйственного машиностроения ПО «Гомсельмаш») в количестве 64 ед. и 4 единицы двухпоточных комбайнов «Лида-У30» (ОАО «Лидагропроммаш») с применением комплектующих фирмы «Union». Общий парк льноуборочных комбайнов составляет 428 единиц при потребности в них 273 ед. (превышает потребность на 155 ед.). В то же время износ льноуборочных комбайнов типа ЛК-4А составляет около 90 процентов, поэтому требуется их замена.

Для приготовления льнотресты используются однопоточные самоходные оборачиватели ОЛЛ-1 (ГП «Экспериментальный завод») в количестве 105 ед. и ОСЛ-1 (ДП «Щучинский ремонтный завод») в количестве 195 ед., а также двухпоточные оборачиватели «Лида-GE240» (ОАО «Лидагропроммаш») в количестве 20 ед. Используется 320 единиц различных типов оборачивателей при технологической потребности в них 393 ед. (недостает 73 ед.). Применяются также вспушиватели лент льна ВЛН-4,5 (ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш») в количестве 177 ед. Однако применение вспушивателей ВЛН-4,5 не обеспечивает выполнение агротехнических требований механизированной уборки льнотресты при урожайности свыше 3,0 т/га.

Для повышения качества и производительности работ на вспушивании льна в НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства совместно с ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод» ведется освоение производства ворошилки-вспушивателя лент льна ВВЛ-3, обеспечивающей обработку одновременно трех лент за один проход независимо от сформированных лент шириной 1,2–1,5 метра.

Для прессования льнотресты используется 742 ед. пресс-подборщиков, из которых 100 самоходные, при потребности в них 181 ед. (недостает 81 ед.). Прицепные пресс-подборщики в количестве 642 ед. представлены моделями ПРЛ-150 (582 ед.), ППЛ-1 (20 ед.) производства ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш» и ППУ-165 (40 ед.) СООО «Ферабокс»; самоходные – ПРС-1 производства НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства совместно с компанией «Dehondt Technologies» (Франция) (83 ед.), ПЛС-1,5 ДП «Щучинский ремонтный завод» с использованием машинокомплектов компании «Deroortere» (Бельгия) (15 ед.) и 2 ед. пресс-подборщика фирмы «Deroortere» (Бельгия). Кроме этого, в НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства разработан самоходный пресс-подборщик льна ПЛС-1, обеспечивающий формирование рулонов льнотресты с требуемой линейной плотностью. Совместно с ОАО «Гомсельмаш», ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш», ОАО «Калинковичский РМЗ» и другими заинтересованными начато освоение его производства.

Выводы и предложения

1. Применяемый парк машин для основной и предпосевной подготовки почвы, внесения удобрений, посева и ухода за посевами льна в республике в основном сформирован, но требует дальнейшего совершенствования.

Основными энергосредствами для агрегатирования сельхозмашин на льнозаводах являются трактора Беларус-1221 и Беларус-3022. Поэтому требуется разработка нового поколения комбинированных почвообрабатывающих агрегатов для предпосевной подготовки почвы (типа АКШ) к данным тракторам, а также прицепной широкозахватной специализированной сеялки к тракторам Беларус-3022.

2. Требуется освоение производства почвообрабатывающе-посевого агрегата АПЛ-4, обеспечивающего оптимальное качество предпосевной подготовки почвы и посева льна, а также других мелкосемянных культур с одновременным внесением стартовой дозы удобрений. Одновременно необходима разработка к тракторам Беларус-3022 аналогичного почвообрабатывающе-посевого агрегата шириной захвата 6 метров взамен применяемых в настоящее время с истекшим или истекающим сроком эксплуатации.

3. С целью снижения стоимости механизированных работ целесообразна разработка двухпоточной теребилки льна к реверсивным тракторам типа Беларус-1221, оборудованной гидроприводом ее рабочих органов, для применения её на полях с урожайностью до 3,5–4,0 т/га.

4. Необходимо создание нового поколения прицепного льнокомбайна для уборки семеноводческих посевов с возможностью оперативного изменения скоростных режимов работы их теребильных аппаратов, а также создание нового поколения самоходного двухпоточного комбайна.

5. Необходим дальнейший выпуск ворошилок-вспушителей лент льна ВВЛ-3, обеспечивающих качественное вспушивание трех лент льна за один проход агрегата, а также освоение производства отечественного самоходного пресс-подборщика ПЛС-1, оборудованного системами гидропривода и оперативного управления рабочим процессом.

Список использованных источников

1. Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belagromech.by>. – Дата доступа: 24.06.2022.

УДК 631.333

Поступила в редакцию 05.10.2022
Received 05.10.2022

Э. В. Дыба¹, В. В. Микольский¹, Л. И. Трофимович¹, А. И. Пунько², А. Ч. Свидович²

¹ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: dibua-18@mail.ru

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: punko@tut.by

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МЕЛИОРАНТОВ

Аннотация. В статье изложены результаты расчетов и конструктивных и кинематических параметров конструкции для обоснования комбинированного рабочего органа к отечественной транспортно-технологической системе СТТ-25.

Ключевые слова: кислотность почвы, известкование, мелиоранты, сыромолотый доломит, дефекаат, разбрасыватель органических удобрений, рабочие органы.

E. V. Dyba¹, V. V. Mikulski¹, L. I. Trofimovich¹, A. I. Punko², A. C. Svidovich²

¹ RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: dibua-18@mail.ru

² EI "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: punko@tut.by

JUSTIFICATION OF THE MAIN STRUCTURAL AND KINEMATIC PARAMETERS OF A COMBINED WORKING BODY FOR MELIORANT APPLICATION

Abstract. The article describes the results of calculations and structural and kinematic parameters of the structure to justify the combined working body to the domestic transport and technological system of the STT-25.

Keywords: soil acidity, liming, meliorants, raw ground dolomite, defecate, organic fertilizer spreader, working organs.

Введение

Целью выполняемого научного проекта является обоснование конструктивных и кинематических параметров комбинированного рабочего органа, обеспечивающих агротехнические требования внесения новых видов мелиорантов (сыромолотого доломита, дефеката).

Техническая сущность модернизации комбинированного рабочего органа транспортно-технологической системы СТТ-25 заключается в использовании на бiteraх сегментов с фрезерными зубьями для более качественного измельчения любых сельскохозяйственных материалов, а также изменение конструкции шибера разбрасывателя для обеспечения подачи как твёрдых органических удобрений, так и известковых материалов.

Основная часть

Для выполнения поставленных задач – внесения таких мелиорантов, как сыромолотый доломит и дефекат – предложена новая конструкция комбинированного рабочего органа.

В соответствии с рис. 1 он состоит из фрезерного агрегата 1, дискового распределителя 2, клапана 3, предохранительного щитка 4 с левым и правым талрепами 5 и ограничителя распределения материалов 6, который приводится в движение от гидросистемы трактора через гидроцилиндр 7. Предохранительный щиток служит для предохранения от попадания в комбинированный рабочий орган крупных посторонних предметов. Осуществляется данный процесс путём откидывания щитка в момент удара постороннего предмета о внутреннюю часть самого предохранительного щитка. После вылета постороннего предмета закрытие щитка производится автоматически посредством пружин 8.

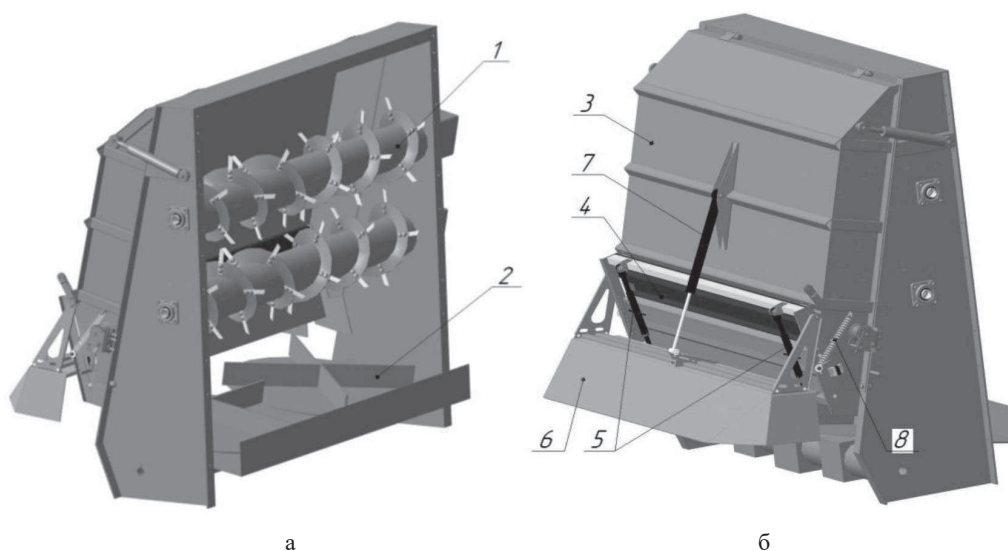


Рис. 1. Схема комбинированного рабочего органа для внесения мелиорантов:
а – вид сзади; б – вид спереди; 1 – фрезерный агрегат; 2 – дисковый распределитель; 3 – клапан;
4 – предохранительный щиток; 5 – талрепы; 6 – ограничитель распределения; 7 – гидроцилиндр; 8 – пружины предохранительные

Привод комбинированного рабочего органа для внесения мелиорантов осуществляется от ВОМ трактора. Регулировка зазора между нижней частью предохранительного щитка и верхней частью лопатки диска осуществляется ручным способом при помощи левого и правого талрепов 5.

Форма лопаток, а также форма сегментов фрезерного агрегата и их количество будут определены экспериментально.

Технологический процесс работы системы с комбинированным рабочим органом для внесения мелиорантов протекает следующим образом: при поступательном движении агрегата верхняя ветвь транспортера, перемещаясь с небольшой скоростью назад вдоль кузова, подводит слой удобрений к вращающимся шнековым барабанам. Нижний измельчающий барабан шнековой лентой с прерывистым зубчатым профилем разрыхляет, измельчает массу и ровным слоем перебрасывает через себя. Верхний разбрасывающий барабан, вращаясь в том же направлении, что и нижний, принимает от него удобрения, выравнивает, дополнительно измельчает, подаёт на разбрасывающие диски, которые распределяют удобрения по поверхности поля.

Рассмотрим совместную технологическую схему работы фрезерного агрегата и подающего транспортера (рис. 2).

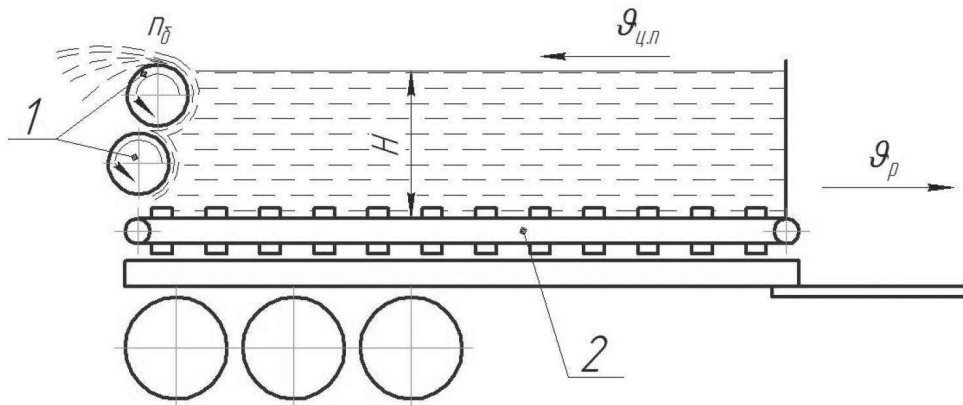


Рис. 2. Технологическая схема работы фрезерного агрегата и подающего транспортера:
1 – фрезерный агрегат; 2 – подающий цепочно-планчатый транспортёр

Из рис. 2 видно, что скорость движения транспортера необходимо определять исходя из секундной подачи материала [1]. В свою очередь, масса сброшенных на поле материалов в секунду составит:

$$Q_{ц.п.} = \vartheta_{ц.п.} \cdot H \cdot L_{\delta} \cdot \gamma \cdot k, \quad (1)$$

где $\vartheta_{ц.п.}$ – скорость перемещения транспортера, м/с; H – высота слоя материала на цепочно-планчатом транспортере, м; L_{δ} – длина шнекового барабана, м; γ – насыпная плотность материала, кг/м³; k – поправочный коэффициент.

Норма внесения материала Q_n на единицу площади находится в прямой зависимости от секундного расхода:

$$Q_n = \frac{Q_{ц.п.}}{B_p \cdot \vartheta_p}, \quad (2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата машины, м; ϑ_p – рабочая скорость агрегата, м/с.

Принимая во внимание выражение (1) и подставляя значение $Q_{ц.п.}$ в формулу (2), получим:

$$Q_n = \frac{\vartheta_{ц.п.} \cdot H \cdot L_{\delta} \cdot \gamma \cdot k}{B_p \cdot \vartheta_p}.$$

Для определённых марок машин величины H , L_{δ} , B_p постоянны, поэтому их можно выразить в виде постоянного коэффициента

$$C = \frac{H \cdot L_{\delta}}{B_p}. \quad (3)$$

Тогда норма внесения может быть определена следующим образом:

$$Q_n = C \frac{\vartheta_{ц.п.} \cdot \gamma \cdot k}{\vartheta_p}. \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что количество материала, вносимого на поле, можно регулировать, изменяя скорость движения транспортера и машины. Кроме того, это количество зависит от насыпной плотности материала, на которую влияют влажность и состав материала. Отсюда следует, что регулировка необходима в каждом отдельном случае при изменении влажности и других физико-механических свойств материала, включая липкость.

Работу комбинированного рабочего органа можно представить как работу дозатора, в котором процесс перемещения материала совмещен с расходом (дозированием) по его длине через распределяющие диски, расположенные в нижней части комбинированного рабочего органа. При этом происходят три взаимосвязанных поочередных процесса: приём материала, перемещение его внутри комбинированного рабочего органа и дозирование, – характеризующихся производительностью подающего цепочно-планчатого транспортера – $Q_{ц.п.}$, измельчающих винтовых барабанов – $Q_{б.}$ и распределяющих дисков – $Q_{д.}$ соответственно. В этом случае для обеспечения достаточного заполнения распределяющих дисков необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$Q_{ц.п.} \leq Q_{б.} \leq Q_{д.}, \quad (5)$$

В связи с тем, что любая машина должна обеспечивать внесение материала в широком диапазоне доз, дальнейшую взаимоувязку параметров выполним, исходя из условия обеспечения внесения максимальной погектарной дозы.

Суммарная производительность распределяющих дисков определяется по формуле:

$$Q_{ц.п.} = 10^{-4} D_{\max.вн.} \cdot B_p \cdot \vartheta_p, \quad (6)$$

где $D_{\max.вн.}$ – максимальная доза внесения материала, кг/га.

Подставив в формулу (5) формулы (1) и (6), получим:

$$\vartheta_{ц.п.} \cdot H \cdot L_{б.} \cdot \gamma \cdot k \leq 10^{-4} D_{вн.} \cdot B_p \cdot \vartheta_p$$

Откуда скорость перемещения цепочно-планчатого транспортера, с учетом формулы (3), при которой будет обеспечиваться максимальная требуемая производительность $Q_{ц.п.}$:

$$\vartheta_{ц.п.} \leq \frac{10^{-4} D_{\max.вн.} \cdot \vartheta_p}{C \cdot \gamma \cdot k}.$$

Производительность измельчающих барабанов определяется по формуле:

$$Q_{б.} = b \cdot h \cdot \vartheta_0 \cdot \gamma, \quad (7)$$

где b – ширина захвата массы шнековым барабаном, м; h – высота захвата массы шнековым барабаном, м; ϑ_0 – окружная скорость шнекового барабана, м/с.

Окружную скорость шнекового барабана можно определить по формуле

$$\vartheta_0 = \frac{\pi \cdot n_{б.} \cdot d_{б.}}{60},$$

где $n_{б.}$ – частота вращения шнекового барабана, мин⁻¹; $d_{б.}$ – диаметр шнекового барабана, м.

Тогда, подставляя значение ϑ_0 в формулу (7), с учетом неравенства (5) и преобразований получим:

$$n_{б.} \geq \frac{3600 \cdot \vartheta_{ц.п.} \cdot H \cdot L_{б.} \cdot k}{b \cdot h \cdot \pi \cdot d_{б.}},$$

где высоту захвата массы шнековым барабаном (рис. 2) можно определить по формуле

$$h = \sqrt{4 \cdot \left[\left(\frac{d_{б.}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{б.}}{2} - a \right)^2 \right]},$$

где a – длина выхода ножа, м.

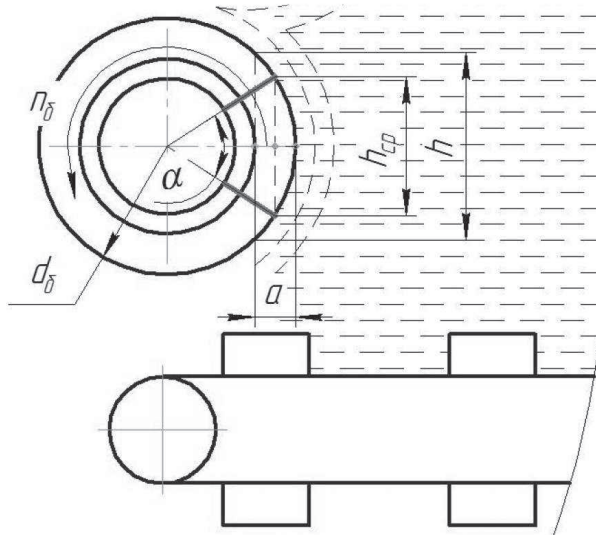


Рис. 3. Схема взаимодействия шнекового барабана и подаваемого материала

Для обеспечения непрерывного, равномерного срезания и измельчения материала фрезерным агрегатом необходимо, чтобы каждый последующий нож шнекового барабана входил в материал после выхода предыдущего. Таким образом, следующим параметром, подлежащим определению, является шаг расстановки ножей S на шнековом барабане. Для последующего удобства расчета необходимого количества ножей на барабане шаг расстановки ножей целесообразнее определять через центральный угол, образованный режущими кромками смежных ножей на шнековом барабане, который можно определить по известной формуле

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{h}{d_{\delta}}\right). \quad (8)$$

Однако из рис. 3 следует, что при завершении срезания режущей кромкой ножа материала, подаваемого из кузова системы подающим транспортером, последний переместится в сторону шнекового барабана на глубину $a/2$. Причем данное расстояние не может превышать половины выхода ножа из барабана, так как в данном случае при подходе следующего ножа к месту максимального скопления материала длина режущей кромки будет меньше глубины материала, подлежащего срезанию и измельчению. Тогда из приведенного выше рассуждения формулу (8) справедливо записать в следующей редакции:

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{h_{cp}}{d_{\delta}}\right),$$

где h_{cp} – половина высоты захвата массы шнековым барабаном, м, которая определяется по следующей формуле

$$h_{cp} = \sqrt{4 \cdot \left[\left(\frac{d_{\delta}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{\delta}}{2} - \frac{a}{2}\right)^2 \right]}.$$

Тогда, зная количество навивок (шагов $n_{ш.б.}$) на шнековом барабане, можно определить необходимое количество ножей $n_{нож}$ для непрерывного выполнения технологического процесса срезания и измельчения материала, подаваемого из кузова системы

$$n_{нож} = n_{ш.б.} \cdot \frac{360}{\alpha}.$$

Далее рассмотрим параметры дисковых распределяющих рабочих органов комбинированного рабочего органа. Ранее отмечалось, что производители зарубежных универсальных разбрасывателей применяют диски с 4–6 лопатками, которые на диске могут располагаться как радиально, так и под углом к осевой линии, при этом формы лопаток разнообразны. Очевидно, что данные параметры влияют на неравномерность внесения материала, поэтому данные параметры целесообразно определять экспериментальным путем.

Как известно, частота вращения дисков n_o находится в прямой зависимости от частоты вращения шнековых барабанов n_b фрезерного агрегата, и у транспортно-технологической системы данная зависимость характеризуется следующим соотношением:

$$\frac{n_o}{n_b} = 1,134. \quad (9)$$

Тогда из формулы (9) частота вращения дисков n_o равна:

$$n_o = 1,134 \cdot n_b.$$

Рабочую ширину захвата B_p двухдискового центробежного разбрасывателя с достаточно высокой точностью можно определить по следующей формуле [2]:

$$B_p = 2 \cdot X_{\max} + l - \Delta B, \quad (10)$$

где X_{\max} – максимальная дальность полёта частицы материала, м; l – расстояние между центрами дисков, м; ΔB – перекрытие зоны разбрасывания, м.

Дальность полёта частицы материала вычисляется из выражения

$$X_{\max} = \frac{\ln\left(\vartheta_a \cdot K_n \cdot \sqrt{2 \cdot H_o / g} + 1\right)}{K_n}, \quad (11)$$

где ϑ_a – абсолютная скорость частицы материала в момент схода с диска, м/с; K_n – коэффициент парусности частицы материала; H_o – высота установки дисков, м; g – ускорение свободного падения частицы материала, м/с².

Абсолютная скорость частицы материала в момент схода с диска равна

$$\vartheta_a = \sqrt{\vartheta_r^2 + \vartheta_o^2}, \quad (12)$$

где ϑ_r – относительная скорость движения частиц удобрений, м/с; ϑ_o – окружная скорость диска, м/с.

Относительная скорость движения частиц удобрений принимается 6–12 м/с и зависит в основном от частоты вращения диска, которая обычно находится в диапазоне 400–800 мин⁻¹.

Окружная скорость диска определяется по формуле

$$\vartheta_o = \frac{\pi \cdot n_o \cdot d_o}{60}, \quad (13)$$

где d_o – диаметр диска, м.

Следует отметить, что для регулирования неравномерности распределения удобрений по ширине захвата место подачи гранул на диск изменяют. При подаче ближе к оси вращения диска увеличивается количество высеваемого материала по краям захватываемой полосы, при подаче дальше от оси вращения – в средней части захватываемой полосы. С увеличением частоты вращения дисков материал распределяется равномернее, а при увеличении диаметра дисков равномерность ухудшается. Наклон лопастей к радиусу в сторону вращения на 10–12° способствует более равномерному распределению материала.

Таким образом, полученные результаты расчетов позволяют определить основные геометрические, кинематические и технологические параметры комбинированного рабочего органа, при которых будет обеспечено качественное внесение таких мелиорантов, как сыромолотый доломит, дефекал.

Заклучение

В результате расчета основных конструктивных и кинематических параметров комбинированного рабочего органа получены следующие результаты: скорость подающего транспортера $\vartheta_{ц.п.} = 0,012$ м/с, частота вращения шнекового барабана $n_{\sigma} = 11$ мин⁻¹ (принято исходя из технических возможностей привода фрезерного агрегата, системы $n_{\sigma} = 428$ мин⁻¹), количество ножей на шнековом барабане $n_{нож} = 56$ шт, частота вращения дисков $n_{\delta} = 483$ мин⁻¹), количество лопаток на диске 4 шт., рабочая ширина захвата машины $B_p = 10$ м.

Список использованных источников

1. Клочков, А. В. Сельскохозяйственные машины. Теория и расчет: учебное пособие / А. В. Клочков, В. Г. Ковалев, П. М. Новицкий. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – С. 105–108.
2. Бердышев, В. Е. Сельскохозяйственные машины / В. Е. Бердышев [и др.] // 2-е изд. – СПб: Проспект науки, 2018. – С. 51–53.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 25.08.2022
Received 25.08.2022

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин

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

ПОЧВОВЛАГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНЫ ДЛЯ ОСНОВНОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ (ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)

Аннотация. Разработанные РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» машины для основной безотвальной обработки почвы предназначены для почвовлагосберегающей обработки почвы преимущественно на склоновых землях. В статье показаны особенности и преимущества новых машин, приведены сведения об их назначении, устройстве, рабочих органах, результатах испытаний, а также об инновационных решениях, использованных при разработке этих машин, и перспективах их развития.

Ключевые слова: основная обработка почвы, почвовлагосбережение, многофункциональный почвообрабатывающий агрегат, луцильник, агрегат для безотвальной обработки почвы, патенты, рабочие органы.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin

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

SOIL-WATER-SAVING MACHINES FOR THE BASIC DOUBLE-STOPPING SOIL TILLAGE AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT (FOR THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS)

Abstract. The machines for basic non-moldboard tillage developed by RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization” are designed for soil-moisture-saving tillage mainly on sloping lands. The article shows the features and advantages of new machines, provides information about their purpose, device, working bodies, test results, as well as information about innovative solutions used in the development of these machines and the prospect of their development.

Keywords: basic tillage, soil-moisture conservation, multifunctional tillage unit, cultivator, unit for non-moldboard tillage, patents, working bodies.

Введение

Проблемы влагообеспеченности и защиты почвы от эрозии на склоновых землях должны решаться путем использования почвовагосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур, направленных на задержание осадков на месте их выпадения и перевод поверхностного стока во внутрпочвенный. Поскольку наиболее интенсивный смыв и размыв почвы происходит при весеннем стоке талых вод и осенних ливнях, т.е. в период, когда на почве отсутствует (почва подготовлена на зябь) или еще не развилась достаточно мощная растительность (посевы озимых), то основная роль в деле предупреждения и прекращения процессов эрозии принадлежит основной обработке почвы, которая может наиболее существенно изменить агрофизические свойства почвы.

С учетом агрофизических свойств почвы, возделываемых культур, севооборота, угла склона и эрозионной устойчивости почвы для основной обработки склоновых земель могут использоваться отвальный, безотвальный, поверхностный, комбинированный и другие способы обработки почвы. Однако преобладающим является безотвальный способ обработки почвы, включающий такие приёмы обработки, как мульчирование, чизелевание, глубокое рыхление [1].

Для технического обеспечения безотвального способа основной обработки почвы в республике создан новый комплекс высокоэффективных машин, обеспечивающих эти приёмы, в который входит и ряд машин, созданных с участием РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Наиболее значимыми из этих машин являются луцильник дисковый ромбовидный ЛДР-9, агрегат для безотвальной обработки почв АБТ-4 и многофункциональный почвообрабатывающий агрегат АПМ-6 (АПМ-6А).

Цель работы: показать особенности и преимущества указанных машин, дать сведения об их назначении, устройстве, рабочих органах и инновационных решениях, использованных при их разработке, а также показать перспективу развития новых машин для безотвальной обработки почвы.

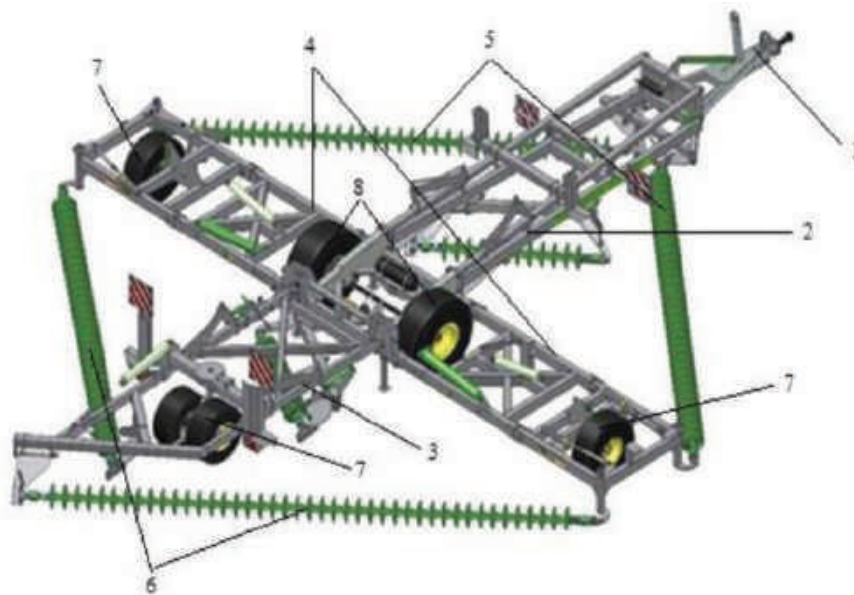
Основная часть

Для выполнения неглубоких (до 12 см) мульчирующих обработок почвы, в том числе и лущения стерни, в республике созданы и широко используются агрегаты с дисковыми рабочими органами, установленными на индивидуальной подвеске. Однако практика их использования показала, что минимальная глубина обработки такими агрегатами составляет 6–8 см. Поэтому при их использовании на лущении стерни, особенно мелкосемянных культур, где минимальная глубина обработки должна составлять 3 см, полностью спровоцировать всходы падалицы не удастся. В результате в посевах основной культуры всходят семена таких предшественников, как рапс и просо. Кроме этого, ширина захвата их не превышает 6–7,5 метра, что растягивает сроки проведения лущения. С учетом сказанного для лущения стерни и других мелких обработок почвы, в том числе и мульчирующих, на основе проведенных исследований и зарубежного опыта РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ОАО «Щучинский ремонтный завод» разработан луцильник дисковый с двухрядным расположением рабочих органов, выполненных по ромбовидной схеме, ЛДР-9.

Луцильник (рис. 1) состоит из снлицы 1, центральной 2 и шарнирно соединенных с ней задней 3 и двух боковых 4 рам, на которых в виде ромба установлены под углом друг к другу две передние 5 и две задние 6 дисковые батареи. Кроме этого, луцильник имеет опорные 7 и опорно-транспортные 8 колеса, оборудован электро- и гидросистемой (не показаны).

Отличительной особенностью луцильника ЛДР-9 является то, что здесь в качестве рабочих органов используются литые сферические диски, имеющие внутри крючок, а снаружи проушину. Это позволяет собирать диски в батареи в виде цепей, которые и обеспечивают равномерную по ширине захвата глубину обработки от 3 см.

Луцильник работает следующим образом. После присоединения снлицы к трактору передние и задние дисковые батареи с помощью гидросистемы переводятся в рабочее положение. Далее при движении луцильника по полю установленные под углом друг к другу две передние и две задние дисковые батареи из шарнирно собранных между собой в виде цепи дисков под собственным



а



б

Рис. 1. Луцильник дисковый ромбовидный ЛДР-9: *а* – схема луцильника; *б* – вид сбоку луцильника; 1 – сница; 2 – центральная рама; 3 – задняя рама; 4 – боковая рама; 5 – передняя дисковая батарея; 6 – задняя дисковая батарея; 7 – опорное колесо; 8 – опорно-транспортное колесо

весом погружаются в почву, разрезают растительные остатки и крошат обрабатываемый слой почвы. При этом шарнирное соединение дисков в дисковых батареях обеспечивает копирование рельефа почвы по ширине захвата луцильника, а следовательно, и подрезание растительных остатков даже при минимальной глубине обработки.

Приемочные испытания луцильника ЛДР-9, проведенные ГУ «Белорусская МИС» [2], показали, что его рабочая скорость составляет 10,1–14,9 км/ч, глубина обработки – 3,1–6,3 см, подрезание растительных остатков (за один проход) – 91,4–95,3 %, гребнистость поверхности почвы – 2–4 см, крошение почвы (содержание комков размером до 25 мм) – 81,9–89,7 %, производительность за 1 час основного времени – 9,81–13,41 га, удельный расход топлива за сменное время – 5,0–6,7 кг/га, коэффициент надежности технологического процесса – 0,98–0,99. Себестоимость механизированных работ при использовании луцильника ЛДР-9 по сравнению с импортным аналогом Kelly МРН-9000 (Австралия) снижается на 47,1 %.

Конструкция луцильника ЛДР-9 защищена патентом Республик Беларусь [3].

Наряду с агрегатами с дисковыми рабочими органами для более глубоких обработок (15–30 см) в республике освоено производство чизельных и чизельно-дисковых агрегатов. Одним из таких агрегатов является агрегат АБТ-4 (рис. 2), который предназначен для безотвальной обработки почвы на глубину до 30 см с мульчированием, выравниванием и прикатыванием поверхности поля. Используется при обработке почвы по следующим агрофонам: стерня озимых и яровых культур; осенняя зябь; при полупаровой обработке почвы; поля после уборки кукурузы, свеклы, картофеля; весенняя зябь.

Агрегат имеет ширину захвата 4 м и агрегатируется с тракторами мощностью 300–350 л.с. Агрегат выполнен в полунавесном варианте и состоит из следующих основных сборочных еди-



Рис. 2. Агрегат для безотвальной обработки почвы АБТ-4

ниц: центральной рамы, снлицы, ловителя, оси, колесного хода, одиннадцати рыхлительных рабочих органов, четырех секций дисковых батарей, трех опорно-прикатывающих катков с амортизирующим устройством, гидросистемы и световозвращателей.

Испытания агрегата, проведенные ГУ «Белорусская МИС» [4], показали, что он обеспечивает глубину обработки до 30 см, полное подрезание растительных остатков (100 %), гребнистость поверхности поля 4–6 см, крошение почвы (содержание комков почвы размером до 50 мм) – 93,9–98,4 %, производительность за 1 час основного времени при глубине обработки 30 см – 3,0 га, удельный расход топлива за сменное время: при глубине 20 см – 13,3 кг/га, и при глубине 30 см – 16,9 кг/га, коэффициент надежности технологического процесса – 0,98.

Проведенный по результатам эксплуатационно-технологической оценки расчет экономических показателей использования агрегата АБТ-4 показал, что себестоимость механизированных работ по сравнению с использованием импортного аналога SL 400 фирмы «Simba» (Великобритания) снижается на 24,4 %.

По результатам испытаний агрегат поставлен на производство в ОАО «Витебский мотороремонтный завод».

Новизна технических решений, примененных в агрегате, защищена патентом Республики Беларусь [5] и евразийскими патентами [6, 7, 8].

Одним из направлений создания почвообрабатывающей техники на современном этапе является их универсальность и многофункциональность, которая достигается за счет использования сменных рабочих органов и блочно-модульной конструкции. Это позволяет путем несложной перестановки блоков рабочих органов местами или замены их сменными блоками составлять технологические схемы агрегата, наиболее полно отвечающие технологическим процессам обработки различных агрофонов.

С учетом этих подходов в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан и освоен в производстве ОАО «Бобруйсксельмаш» почвообрабатывающий многофункциональный агрегат АПМ-6 (АПМ-6А) к тракторам мощностью 300–350 л.с. (рис. 3).

Схемы комплектации сменными блоками рабочих органов для выполнения различных технологических процессов обработки почвы в системе традиционного и почвозащитного земледелия представлены на рис. 4.

Новый агрегат прошел приемочные испытания в ГУ «Белорусская МИС» [9]. При этом было установлено, что на мульчирующей обработке почвы (6–12 см) агрегат обеспечивает полное подрезание сорняков (100 %) с сохранением на поверхности поля и в слое 0–8 см до 68 % растительных и пожнивных остатков, гребнистость поля – до 3 см, крошение почвы (содержание комков до 25 мм) – 88,8–91,2 %, производительность за 1 час основного времени – 5,84–6,36 га, удельный расход топлива за сменное время – 9,26–9,32 кг/га, коэффициент технологической надежности – 0,99.

При глубине обработки от 12 до 25 см агрегат обеспечивает полное подрезание сорняков и растительных остатков, гребнистость поверхности почвы – 3–4 см, крошение почвы (содержание комков размером до 25 мм) – 87–98 %, производительность за 1 час основного времени – 3,88–5,24 га, удельный расход топлива за сменное время – 12,08–15,0, коэффициент надежности технологического процесса – 0,97–0,99 [10].

В зависимости от сопоставляемого комплекса машин степень снижения себестоимости механизированных работ составляет от 24,3 до 49,3 %.



Рис. 3. Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6 в комплектации с дисковыми и лаповыми рабочими органами

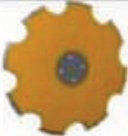


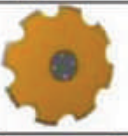


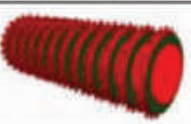






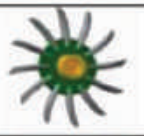



№	Технологический процесс	Схема расстановки секций рабочих органов			
В системе традиционного земледелия					
1	Лущение жнивья, обработки пласта трав, сидератов и промежуточных культур (глубина обработки 6-12 см)				
		сферический диск	волнистый диск	каток с зубчатыми дисками	
2	Обработка полей на зябь, а также зяби под посев пропашных: свеклы, картофеля, кукурузы (глубина обработки 12-25 см)				
		сферический диск	рыхлительная лапа	выравниватель	каток с зубчатыми дисками
3	Послеуборочная обработка агрофонов высокостебельных культур: кукурузы, рапса, зеленых удобрений				
		спирально-ножевой каток		сферический диск	спирально-планчатый каток
В системе почвозащитного земледелия					
1	Для послеуборочной мульчирующей обработки почвы на глубину 8-10 см, а также обработки почвы по мере прорастания сорняков или предпосевной обработки на глубину 6-8 см				
		волнистый диск		игольчатый диск	спирально-планчатый каток
2	Для мульчирующей обработки стерневых агрофонов на зябь (глубина обработки 12-25 см)				
		игольчатый диск	рыхлительная лапа	выравниватель	спирально-планчатый каток
3	Послеуборочная обработка агрофонов высокостебельных культур: кукурузы, рапса, зеленых удобрений	Схема расстановки секций рабочих органов та же, что и в системе традиционного земледелия (№ 3)			

Рис. 4. Схема комплектации агрегата АПМ-6 (АПМ-6А)

Новые технические решения, примененные в агрегате, защищены патентами Республики Беларусь [11, 12, 13].

Несмотря на определенные преимущества универсальных многофункциональных агрегатов, заключающиеся в основном в увеличении их загрузки в течение года и сокращении парка почвообрабатывающих машин, они имеют также недостатки, которое можно устранить при дальнейшем совершенствовании их конструкции. Так, на известных многофункциональных агрегатах, в том числе и на АПМ-6, собранные в блоки и установленные на модулях рабочие органы в зависимости от выполняемого ими приёма обработки почвы будут проводить её обработку на разную глубину. Поэтому при неизменной ширине захвата агрегат не обеспечивает оптимальную загрузку трактора одной мощности, т.к. с изменением глубины обработки, даже с учетом интервала агротехнически допустимых скоростей движения, тяговое сопротивление агрегата будет изменяться. Следовательно, при установке модулей с почвообрабатывающими органами, обеспечивающими различную глубину обработки, требуются трактора различной мощности, что увеличивает парк и марочность тракторов в хозяйстве и снижает их загрузку. Поэтому перспективным является создание универсального многофункционального почвообрабатывающего агрегата для безотвальной обработки почвы с заменяемыми почвообрабатывающими органами, обеспечивающими различную глубину обработки почвы, способного увеличить загрузку трактора одной мощности за счет постоянства его тягового сопротивления, которое будет обеспечиваться изменением ширины захвата данного агрегата.

Заключение

1. Для повышения качества лущения стерни, а также выполнения других мелких, в т.ч. мульчирующих обработок почвы разработан лущильник дисковый ЛДР-9, в котором дисковые батареи, собранные из соединенных между собой с помощью шарниров дисков, позволяют обеспечить требуемое качество выполнения указанных операций.

2. Для обеспечения глубоких (15–30 см) обработок почвы разработан агрегат для безотвальной обработки почвы АБТ-4, включающий дисковые и чизельные рабочие органы и обеспечивающий безотвальную глубокую чизельную обработку почвы с одновременным мульчированием, выравниванием и прикатыванием поверхности поля.

3. Разработан новый почвообрабатывающий многофункциональный агрегат АПМ-6, новизна конструкции которого заключается в том, что в целях расширения функциональности и универсальности он создан на основе блочно-модульного принципа, что позволяет путем несложной перестановки местами блоков рабочих органов или замены их сменными блоками составлять технологические схемы агрегата, наиболее полно соответствующие технологическим процессам обработки почвы в севообороте.

4. Перспективным является создание многофункционального почвообрабатывающего агрегата с изменяемой шириной захвата, позволяющего обеспечить постоянство тягового сопротивления независимо от глубины обработки и увеличить тем самым загрузку трактора одной мощности.

Список использованных источников

1. Лепёшкин, Н. Д. К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) / Н. Д. Лепёшкин, В. В. Мижурин, Д. В. Зубенко // 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. 131–137.

2. Протокол № 118 Б 1/2-2018 приемочных испытаний лущильника дискового ромбовидного ЛДР-9 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2018. – 81 с.

3. Лущильник дисковый : пат. 11901 ВУ, МПК А01В 7/00, А01В 21/08 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20180088 ; заявл. 02.04.2018 ; опубл. 28.02.2019.

4. Протокол № И 047 (184) Б 1/2-2012 приемочных испытаний агрегата безотвальной обработки почвы АБТ-4 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2012. – 80 с.

5. Комбинированное почвообрабатывающее орудие: пат. 7723 ВУ, МПК А01В 49/00 / Н. Д. Лепешкин, И. И. Федорович, А. Н. Юрин, Н. И. Стасюкевич, Н. С. Высоцкая ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20110251 ; заявл. 06.04.2011 ; опубл. 30.10.2011.

6. Плоскорезущий рабочий орган: евразийский патент 026487, МПК А01В 35/20, А01В 39/20 / Н. Д. Лепешкин, И. И. Федорович, Н. С. Высоцкая, А. В. Китун, А. В. Чернуха; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № 201200366; заявл. 03.02.2012; опубл. 28.04.2017.

7. Амортизирующее устройство опорно-прикатывающего катка почвообрабатывающего агрегата: евразийский патент 030162, МПК А01В 71/02, А01В 29/04 / Н. Д. Лепешкин, И. И. Федорович, Н. С. Высоцкая, А. В. Чернуха; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № 201300181; заявл. 05.01.2013; опубл. 29.06.2018.

8. Опорно-прикатывающий каток почвообрабатывающего агрегата: евразийский патент 026011, МПК А01В 29/04 / Н. Д. Лепешкин, И. И. Федорович, Н. С. Высоцкая; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № 201200729; заявл. 16.04.2012; опубл. 28.02.2017.

9. Протокол № 144 Б 1/2-2011 приемочных испытаний агрегата почвообрабатывающего многофункционального АПМ-6А / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2014. – 75 с.

10. Протокол № 306 Б 1/2-2011 приемочных испытаний агрегата почвообрабатывающего многофункционального АПМ-6 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2011. – 79 с.

11. Почвообрабатывающий многофункциональный агрегат: пат. 7168 ВУ, МПК А01В 49/00 / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, Н. С. Высоцкая, А. В. Шевченко, В. В. Добрян; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20100771; заявл. 10.09.2010; опубл. 30.04.2011.

12. Почвообрабатывающий рабочий орган: пат. 7214 ВУ, МПК А01В 35/00, А 01В 39/00 / Н. Д. Лепешкин, А. Л. Медведев, Ю. Л. Салапура; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20100846; заявл. 11.10.2010; опубл. 30.04.2011.

13. Почвообрабатывающий каток: пат. 11273 ВУ, МПК А01В 29/04 / Н. Д. Лепешкин, В. П. Чеботарев, Н. С. Козлов; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20160198; заявл. 30.06.2016; опубл. 28.02.2017.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 30.08.2022
Received 30.08.2022

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин

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

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Аннотация. В статье представлены патенты Республики Беларусь на полезные модели, которые позволяют по сравнению с известными машинами для безотвальной обработки почвы, в том числе и на склонах, расширить их функциональные возможности, повысить влагонакопление и влагозадержание, а также техническую и технологическую надежность.

Ключевые слова: патент, влагонакопление, влагозадержание, глубокорыхлитель, комбинированный почвообрабатывающий агрегат, склоновые земли.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin

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

NEW TECHNICAL SOLUTIONS FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE SAVING ON SLOPE LANDS

Abstract. The article presents the patents of the Republic of Belarus for utility models, which allow, in comparison with well-known machines for non-moldboard tillage, including on slopes, to expand their functionality, increase moisture accumulation and moisture retention, as well as technical and technological reliability.

Keywords: patent, moisture accumulation, moisture retention, subsoiler, combined tillage unit, sloping lands.

Введение

Причинами недостаточной увлажненности почвы на склоновых землях являются не только недостаток осадков, но и их потери на сток. Поэтому при применении обычных приёмов обработки почвы на склоновых землях развивается водная эрозия от стока талых и ливневых вод, в результате которой с этих земель смывается большое количество органических и минеральных веществ и ценной для растений влаги. Вопросы защиты почв от водной эрозии разработаны наукой достаточно широко, выявлена противоэрозионная эффективность ряда агротехнических приёмов, в том числе и приёмов безотвальной обработки почвы. Однако эти приёмы в республике внедряются крайне недостаточно. Одной из причин является то, что наша промышленность выпускает еще мало машин для этих целей, к тому же они в некоторых случаях не обладают многофункциональностью, недостаточно надежны, а в случаях их закупки или воспроизводства по импортным аналогам – не полностью отвечают зональным агротехническим требованиям [1–4]. Поэтому новые и, в первую очередь, запатентованные технические решения позволяют добиться значительного эффекта в деле предупреждения и прекращения процессов эрозии, а следовательно, сохранения влаги.

Целью данной статьи является популяризация и внедрение в производство новых технических решений, обеспечивающих влагонакопление и влагозадержание на склоновых землях.

Основная часть

Для расширения функциональных возможностей, повышения влагонакопления и влагозадержания, а также технической и технологической надежности известных машин для безотвальной обработки почвы, в том числе и на склонах, нами подготовлены и получены ряд патентов на полезные модели, которые могут представлять практический интерес для специалистов в области сельхозмашиностроения. Результаты двух наиболее значимых патентов [5, 6] приводятся ниже.

Одним из путей накопления влаги и предотвращения стока на склонах является безотвальная послойная обработка почвы, при проведении которой должен формироваться влагонакопительный и влагосберегающий слой почвы, состоящий из мульчированного растительными остатками и почвой верхнего слоя с плотностью γ_1 , хорошо разрыхленного и подуплотненного среднего слоя с плотностью γ_2 и разрыхленного нижнего подпахотного слоя с плотностью γ_3 , на дне которого должны присутствовать гребни. При этом плотность в слоях должна распределяться следующим образом: $\gamma_1 < \gamma_2 > \gamma_3$. Для формирования влагонакопительного и влагосберегающего слоя с указанными параметрами, а также обеспечения высокой надежности выполнения технологического процесса предлагается комбинированный почвообрабатывающий агрегат, представленный в патенте [5].

В соответствии с патентом, комбинированный почвообрабатывающий агрегат содержит (рис. 1) раму 1, навеску 2, опорные колеса 3 с механизмами регулировки 4, последовательно установленные в два ряда подпружиненные диски 5, стойки 7 с лапами 6 (рис. 2, а), в задней части агрегата к раме 1 присоединены каток 9 и лопастной барабан 10.

При этом диски 5 выполнены волнистыми, а лапы 6 выполнены в виде односторонних треугольных клиньев и установлены на боковых поверхностях стойки 7 с возможностью их регулировки по вертикали, а на конце стойки 7 установлено долото 8. Кроме этого, каток 9 выполнен в виде пустотелого цилиндра 11 (рис. 2, б), на наружной поверхности которого установлены зубчатые диски 12, с установленными между ними чистиками 13, а лопасти лопастного барабана 10 (рис. 2, в) выполнены в виде планок 14 и наклонены к горизонту в продольном на угол α и поперечном на угол β направлениях.

Работа комбинированного почвообрабатывающего агрегата осуществляется следующим образом. После начала движения и заглубления стоек 7 диски 5 внедряются в почву и режущими кромками волн разрезают и измельчают растительные остатки, а волны при вращении дисков 5 производят рыхление и увеличение обрабатываемой полосы перед стойками 7. Это улучшает качество подготовки верхнего мульчирующего слоя почвы и устраняет нависание растительных остатков на стойки 7. Стойки 7 нарезают вертикальные щели, а установленные на боковых поверхностях стойки 7 лапы 6, выполненные в виде односторонних треугольных клиньев, за счет подъема почвы вверх и последующего его опускания (падения) вниз крошат почву в среднем слое.

При этом одновременно с крошением почвы происходит уплотнение среднего слоя снизу вверх. Одновременно расположенное внизу стойки 7 долото 8 производит рыхление нижнего слоя с формированием в его нижней части гребней, которые препятствуют почвенному стоку в направлении склона. При необходимости изменения соотношения глубины обработки среднего и нижнего слоя производится регулировка лап 6 по вертикали стойки 7.

Затем каток 9 заглубляется зубчатыми дисками 12 в почву и перекатывается. Поскольку взрыхленная дисками 5 и стойками 7 с закрепленными на них лапами 6 почва содержит комки, то при перекатывании каток 9 раздробляет их на меньшие частицы и уплотняет средний слой. При этом уплотнение среднего слоя происходит сверху вниз. Налипшая на пустотелый цилиндр 11 катка 9 почва очищается установленными между зубчатыми дисками 12 чистиками 13. Боковые и наружные поверхности зубчатых дисков 12 самоочищаются за счет трения и разности окружных скоростей по отношению к пустотелому цилиндру 11. Далее лопастной барабан 10, лопасти которого выполнены в виде планок 14, крошит верхний слой почвы. За счет наклона планок 14 под углом α в продольном направлении происходит подуплотнение верхнего слоя, а за счет наклона планок под углом β в поперечном направлении – выравнивание. Одновременно при вращении лопастного барабана 10 планки 14 выбрасывают почву и растительные остатки, покрывая поверхность сплошным мульчированным слоем.

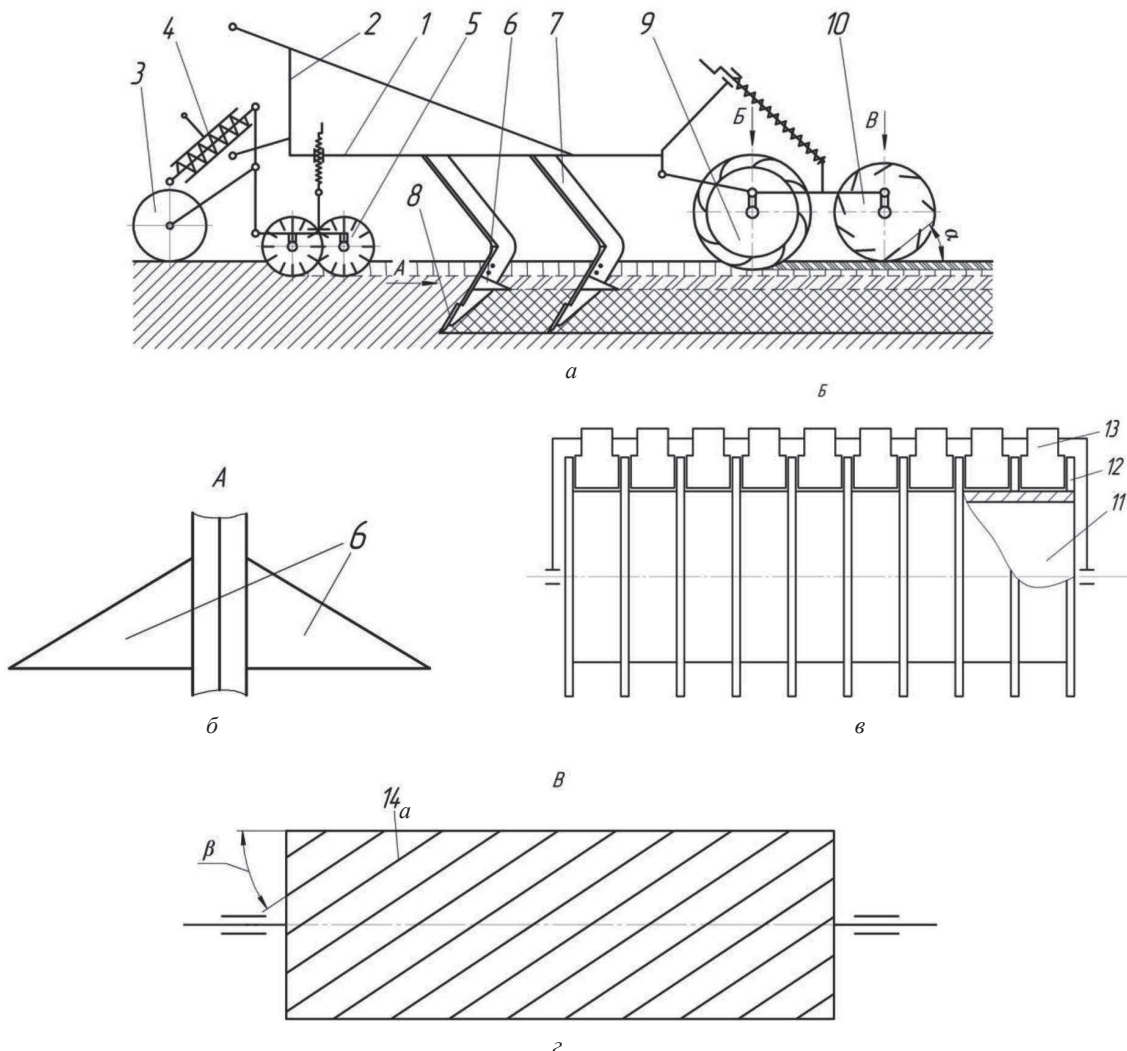


Рис. 1. Схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: а – вид агрегата сбоку; б – вид А; в – вид Б; г – вид В; 1 – рама; 2 – навеска; 3 – опорные колеса; 4 – механизм регулировки; 5 – диск; 6 – лапа; 7 – стойка; 8 – долото; 9 – каток; 10 – лопастной барабан; 11 – пустотелый цилиндр; 12 – зубчатый диск; 13 – чистик; 14 – планка

Актуальность патента [6], в котором предлагается новый глубокорыхлитель, обусловлена тем, что существенным недостатком известных конструкций глубокорыхлителей является их низкая функциональная возможность, так как они предназначены в основном для рыхления только подпахотного горизонта, которое производится раз в 3–4 года. Кроме того, в данных глубокорыхлителях не исключена возможность выноса на дневную поверхность почвы из подпахотного слоя, а в случае преодоления препятствий они имеют низкую надежность. Исключить эти недостатки можно при использовании патента [6].

Согласно патенту, глубокорыхлитель состоит из рамы 1 с кронштейнами 2 и лап-рыхлителей (рис. 2, а). Лапы-рыхлители состоят из стойки 3, наральяника 4 и съемных боковых ножей 5. Лапы-рыхлители закреплены в кронштейнах 2 рамы 1 при помощи осей 6 и предохранительных разрушающихся элементов, выполненных преимущественно в виде срезных болтов 7. Кронштейны 2 рамы 1 состоят из двух пластин, между которыми расположены лапы-рыхлители. Каждая пластина имеет одно отверстие для оси 6 и как минимум два отверстия 8 под срезные болты 7 для регулировки углов наклона наральяника 4 к горизонту α_1 и α_2 .

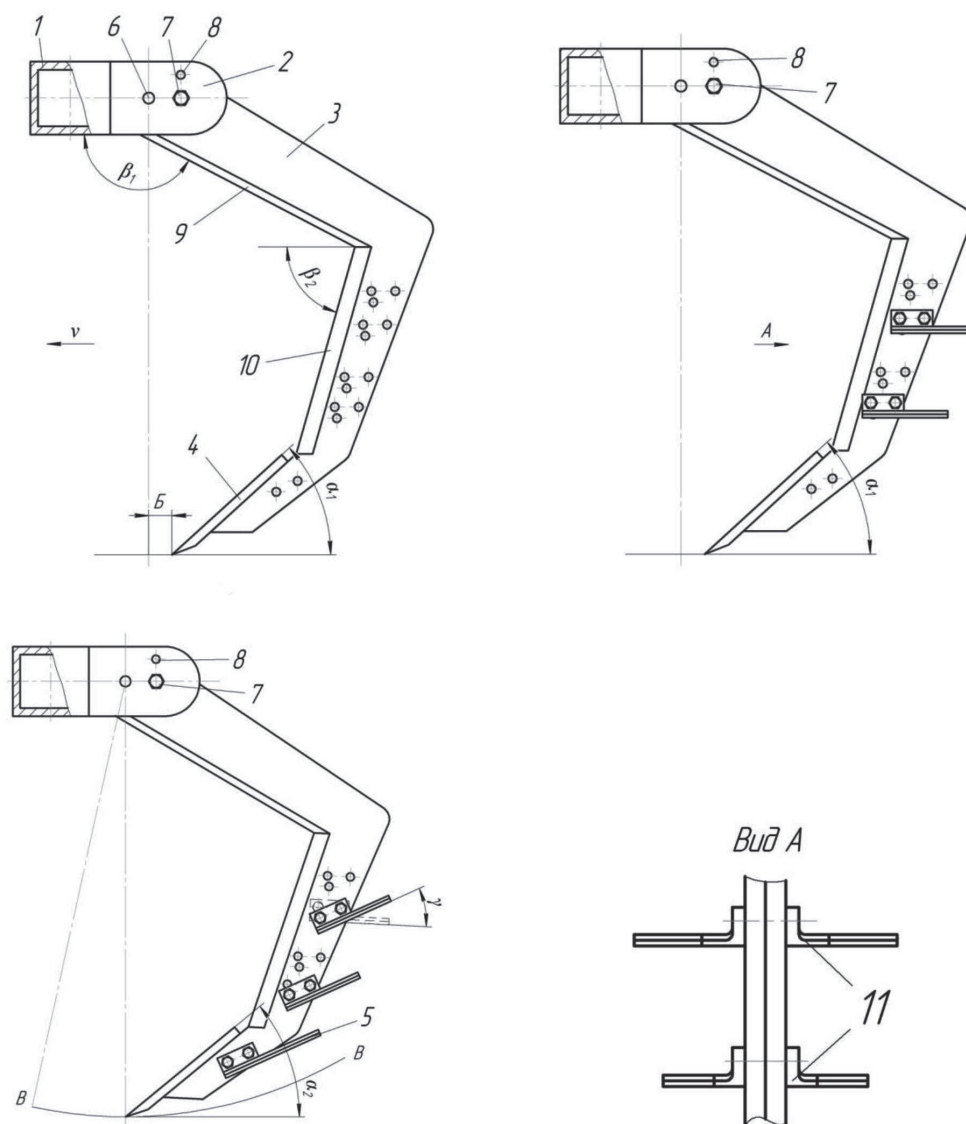


Рис. 2. Схема глубокорыхлителя: а – при рыхлении подпахотного слоя почвы, вид сбоку; б – при выполнении рыхления пахотного слоя, вид сбоку; в – при выполнении рыхления подпахотного и пахотного слоя, вид сбоку; г – вид А; 1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – стойка; 4 – наральяник; 5 – боковой нож; 6 – ось; 7 – срезной болт; 8 – отверстие; 9, 10 – режущая кромка; 11 – Г-образный боковой нож

Стойка 3 выполнена разнонаклонной к направлению движения v , с тупым углом β_1 в верхней части и острым углом β_2 в нижней, а центр оси b крепления лап-рыхлителей по горизонтали вынесен вперед на расстояние B (рис. 2, *a*) или находится на одном уровне (рис. 2, *в*) с носком наральника 4. Наряду с этим фронтальная поверхность верхней и нижней частей стойки 3 имеет режущие кромки 9, 10, а на ее боковых поверхностях установлены дополнительные съемные Г-образные боковые ножи 11 (рис. 2, *г*). Г-образные боковые ножи 11 установлены с возможностью регулировки их угла наклона к горизонту γ и их расположения на стойке 3 по вертикали.

Глубококорыхлитель работает следующим образом. При настройке глубококорыхлителя на рыхление подпахотного слоя (рис. 2, *a*) на стойку 3 устанавливается только наральник 4. Путем перестановки срезных болтов 7 в соответствующие отверстия 8 кронштейнов 2 рамы 1 устанавливается угол наклона наральника 4 к горизонту α_1 .

При движении глубококорыхлителя режущие кромки 9, 10 стойки 3 разрезают вертикально пахотный и подпахотный слой почвы вместе с растительными остатками и корнями. При этом выполнение стойки 3 разнонаклонной к направлению движения v , с тупым углом β_1 в верхней части и острым углом β_2 в нижней, а также установка наральника 4 под углом α_1 (оптимальным для данной операции) позволяет увлекать в образованную стойкой 3 щель растительные остатки и корни, а следовательно, самоочищать стойку 3, что исключает ее забивание. Это приводит к повышению качества крошения подпахотного слоя, а также исключает неблагоприятно влияющий на прорастание семян вынос нижних слоев почвы на поверхность.

При настройке глубококорыхлителя на одновременное рыхление подпахотного и пахотного слоя (рис. 2, *б*) на боковой поверхности нижней части стойки 3 устанавливаются дополнительные Г-образные боковые ножи 11. Здесь при движении глубококорыхлителя наряду с рыхлением подпахотного слоя происходит интенсивное рыхление с помощью Г-образных боковых ножей 11 пахотного слоя. Требуемое качество рыхления данного слоя обеспечивается путем регулирования угла наклона Г-образных боковых ножей 11 к горизонту γ и расположением их на стойке 3 по вертикали.

При настройке глубококорыхлителя на рыхление пахотного слоя (рис. 2, *в*) на боковые поверхности стойки 3 устанавливаются боковые ножи 5 и Г-образные боковые ножи 11. Требуемое качество рыхления почвы в данном случае обеспечивается путем установки требуемых углов наклона α_2 наральника 4 и углов наклона γ Г-образных боковых ножей 11.

При наезде на препятствие и продолжении движения глубококорыхлителя вперед происходит разрушение срезного болта 7. В это время носок наральника 4 стойки 3 пройдет по дуге $B - B$, следовательно, стойка 3 повернется на оси b без подъема всего глубококорыхлителя, что повышает надежность стойки 3 и установленных на ней боковых ножей 5 и Г-образных боковых ножей 11.

Заключение

1. Популяризация и внедрение патентов является одним из основных факторов успеха многих преуспевающих заводов-изготовителей сельскохозяйственной техники.

2. Применение запатентованного комбинированного почвообрабатывающего агрегата для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях позволит выполнять технологический процесс с высокой технологической надежностью, т.е. без забивания растительными остатками и почвой рабочих органов, повысить влагосбережение и влагонакопление при послойной безотвальной обработке суглинистых и глинистых почв на склоновых землях.

3. Применение запатентованного глубококорыхлителя позволит производить качественное раздельное или одновременное рыхление подпахотного и пахотного слоев почвы, что расширит его функциональные возможности, при этом будет обеспечиваться высокая надежность защиты лап-рыхлителей во время преодоления препятствий.

Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Зубенко // 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. 131–137.

2. Лепешкин, Н. Д. Механизация почвозащитного земледелия / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, А. Ф. Черныш // Наука и инновации. – 2014. – № 10. – С. 26–28.

3. Лепешкин, Н. Д. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. научн. ст. по материалам XXV Междунар. научн.-практ. конф. (Гродно, 23 марта 2022 г.) – Гродно: ГГАУ, 2022. – С. 89–91.

4. Лепешкин Н. Д. Технологии и средства механизации обработки склоновых земель, подверженных водной эрозии / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, Д. В. Заяц, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. научн. ст. по материалам XVIII Междунар. научн.-практ. конф. (г. Гродно, 27 марта, 15 мая 2015 г.) – Гродно: ГГАУ, 2015. – С.117–120.

5. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.

6. Глубокорыхлитель: пат. 12817 ВУ / Н.Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210214 ; заявл. 16.08.2021 ; опубл. 28.02.2022.

УДК 631.3.072

Поступила в редакцию 29.08.2022

Received 29.08.2022

А. В. Ленский, А. А. Жешко

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Аннотация. Рассмотрены особенности разработки алгоритма рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы.

Ключевые слова: тяговое сопротивление, комплектование машинно-тракторных агрегатов, основная обработка почвы, алгоритм.

A. V. Lenski, A. A. Zheshko

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

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR RATIONAL ACQUISITION OF MACHINE-TRACTOR UNITS FOR BASIC TILLAGE

Abstract. The features of the development of an algorithm for the rational acquisition of machine-tractor units for basic tillage are considered.

Keywords: traction resistance, acquisition of machine-tractor units, basic tillage, algorithm.

Введение

Основными этапами вычислений, направленных на рациональное комплектование машинно-тракторных агрегатов, являются расчет диапазона крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей, определение вариации крюковой мощности. После выполнения данных этапов производится построение результирующей таблицы и теоретической потенциальной характеристики. Выполнение названных этапов подробно описано в исследованиях в работе [1]. С целью использования результатов построения потенциальной характеристики в программном модуле для комплектования машинно-тракторных агрегатов необходимо адаптировать существующие методики расчета для их использования в программных модулях.

Также для точного комплектования машинно-тракторных агрегатов необходимо обладать информацией о тяговом сопротивлении существующих рабочих органов для основной обработки почвы. Наиболее совершенным инструментом для определения тягового сопротивления по результатам вычислений являются математические модели, построенные на основании полевых и лабораторных исследований рабочих органов и их комбинаций.

Основная часть

Для определения крюковых усилий, развиваемых трактором, необходимо располагать данными о передаточных числах трансмиссии для каждой ступени. Подобные показатели являются строго индивидуальными для любой модели трактора, что существенно усложняет порядок сбора исходной информации. В связи с этим на основании анализа диапазона вариации передаточных чисел, для использования в качестве адаптированной для последующего программирования методики расчета, был принят базовый ряд от 5 до 305 (31 ступень) с шагом 5 ед.

Особенности расчета диапазона крюковых усилий. Крюковые усилия трактора на каждой передаче для всего диапазона крутящего момента определяются по формулам (1) и (2) для условий достаточного и недостаточного сцепления:

– достаточное сцепление:

$$P_{кр} = \frac{M_d \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{1000 \cdot r_k} - P_f, \quad (1)$$

где M_d – крутящий момент двигателя, Нм; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии (с достаточной точностью может быть принято постоянной величиной в связи с относительно небольшими пределами изменения скоростей поступательного движения); $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии, $\eta_{тр} = 0,95$; r_k – радиус качения, м; P_f – потери на перекачивание, кН;

– недостаточное сцепление:

$$P_{кр} = \mu \cdot \lambda \cdot G_{тр} - P_f, \quad (2)$$

где μ – коэффициент сцепления движителей с почвой для расчетных условий движения [2]; λ – коэффициент догрузки ведущих колес (за исключением техники с колесной формулой 4К2, для которой коэффициент $\lambda = (0,75-0,85)$ [3]; $G_{тр}$ – вес трактора, кН.

Поскольку конструктивные схемы ходовой части большинства современных моделей тракторов предполагают привод на все колеса, радиус качения предлагается рассчитывать исходя не только из типа и параметров установленных шин, но и распределения нагрузки по осям:

$$r_k = Q_1 \cdot r_{k1} + Q_2 \cdot r_{k2}, \quad (3)$$

где Q_1, Q_2 – нагрузка на переднюю и заднюю оси соответственно, % от общей массы трактора, кН; r_{k1}, r_{k2} – радиус качения колес передней и задней осей, м,

$$r_{k1} = r_{01} + k_{yc} \cdot h_{пр1}, \quad (4)$$

$$r_{k2} = r_{02} + k_{yc} \cdot h_{пр2},$$

где r_{01}, r_{02} – радиус посадочной окружности передней и задней осей соответственно, м; k_{yc} – коэффициент усадки шины, $k_{yc} = 0,75$; $h_{пр1}, h_{пр2}$ – высота поперечного профиля шины передней и задней осей соответственно, м.

Исключением в зависимостях (3) и (4) являются гусеничные тракторы и тракторы с колесной формулой 4К2, для которых расчет радиуса качения выполняется по радиусу ведущей звездочки либо ведущего колеса без учета распределения нагрузки. Величина потерь на перекачивание определяется по формуле

$$P_f = \frac{m_{тр} \cdot f \cdot 9,8}{1000}, \quad (5)$$

где $m_{тр}$ – масса трактора, кг; f – коэффициент сопротивления качению для расчетных условий [3].

Расчет диапазона буксования. Экспериментальные исследования свидетельствуют, что потери мощности на буксование двигателей до определенного предела возрастают практически пропорционально крюковому усилию. При дальнейшем его увеличении потери от буксования начинают возрастать быстрее и протекают по кривой второго порядка. Наилучшим образом теоретическое значение буксования двигателей может быть описано следующим аналитическим уравнением [4]:

$$\delta = \frac{1}{b} \cdot \ln \left(\frac{a}{\mu - \left(\frac{P_{кр}}{\lambda \cdot G_{тр}} \right)} \right), \quad (6)$$

где a, b – экспериментальные коэффициенты для расчетных условий движения [5].

Расчет диапазона рабочих скоростей движения и диапазона вариации крюковой мощности. Для каждой передачи в полном диапазоне оборотов коленчатого вала двигателя выполняется расчет рабочих скоростей движения трактора по формуле

$$V_{раб} = \frac{0,377 \cdot n \cdot r_k}{i_{тр}} \left(1 - \frac{\delta}{100} \right), \quad (7)$$

где n – число оборотов коленчатого вала двигателя, мин^{-1} .

Для каждого расчетного значения рабочей скорости и крюкового усилия определяется соответствующая им крюковая мощность:

$$N_{кр} = 0,278 \cdot P_{кр} \cdot V_{раб}. \quad (8)$$

Формирование результирующей таблицы. Максимальные значения крюковой мощности для каждой передачи записываются в результирующую таблицу, из которой также выбираются соответствующие им показатели крюкового усилия, рабочей скорости и удельного расхода топлива [6]:

$$g_e = \frac{0,73 \cdot 1000 \cdot G_{час}}{N_{кр}}, \quad (9)$$

где $G_{час}$ – часовой расход топлива при оборотах коленчатого вала двигателя, соответствующих $N_{кр}$, л/ч.

Расчетный диапазон результирующей таблицы выбирается исходя из соображений допустимого относительного превышения максимального значения крюковой мощности над ее текущим значением. Оно не должно превышать 20 % в сторону увеличения крюкового усилия (работа в режиме перегрузки) или 50 % в сторону уменьшения крюкового усилия (работа в режиме недогрузки двигателя).

Значения рабочего диапазона крюковых усилий условного трактора тягового класса 2 при эксплуатации его по стерне нормальной влажности и с учетом указанных ограничений находятся в пределах от 9,2 до 29,9 кН.

Методика расчета, выполненная по формулам (1)–(9), адаптирована для интеграции в программный модуль. В частности, алгоритмизированы методики расчета диапазонов крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей и вариации крюковой мощности.

Для выявления взаимосвязей между параметрами и динамическими переменными, входящими в формулы (1)–(9), построена графическая интерпретация, представленная на рис. 1.

Как видно из рис. 1, для формирования результирующей таблицы выполнение расчетов диапазона крюковых усилий, буксований, рабочих скоростей и крюковой мощности осуществляется последовательно.

На рис. 2 и 3 приведены блок-схема последовательности и алгоритм рационального формирования машинно-тракторного агрегата, включающая модуль расчета тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственной машины по эмпирическим моделям. Алгоритм включает в себя несколько последовательных этапов, основанных на классической теории эксплуатации МТА.

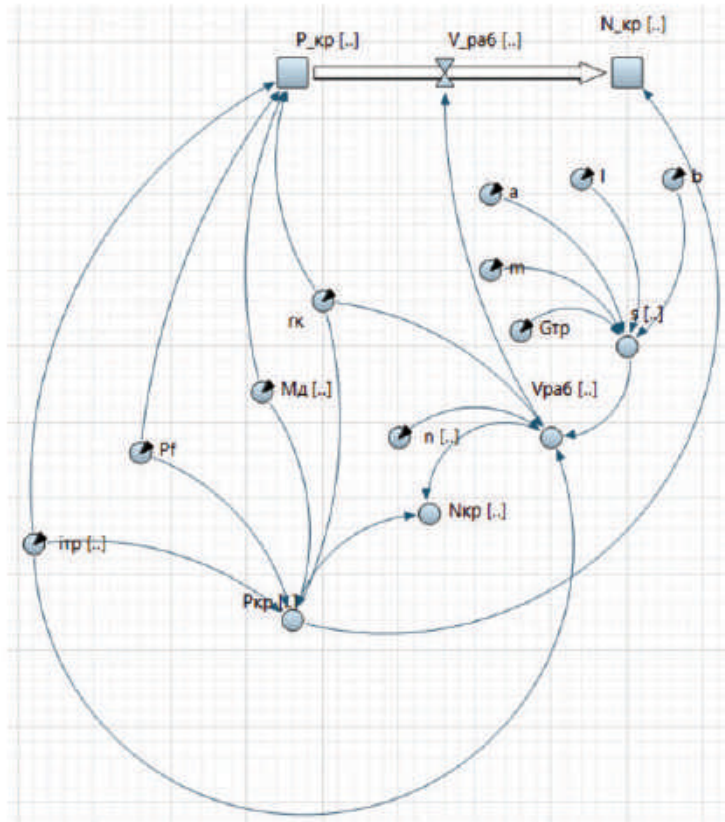


Рис. 1. Графическая интерпретация методики расчета диапазонов крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей и вариации крюковой мощности

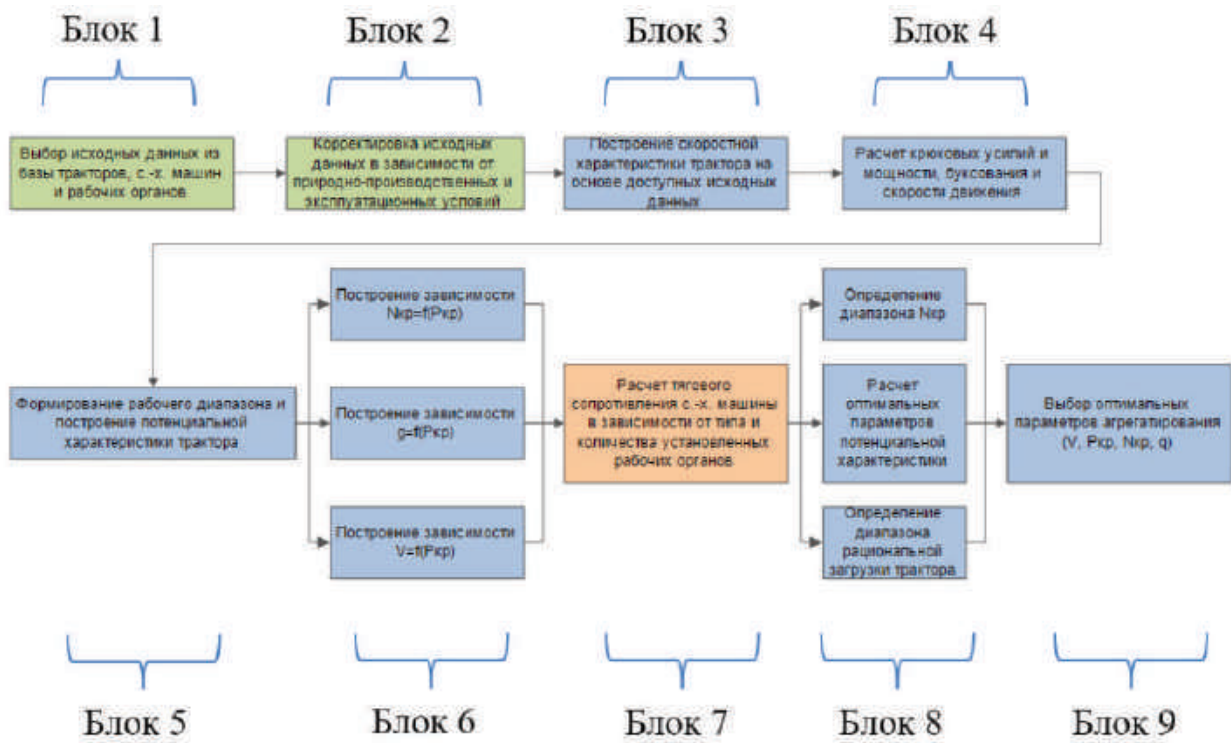


Рис. 2. Блок-схема последовательности рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

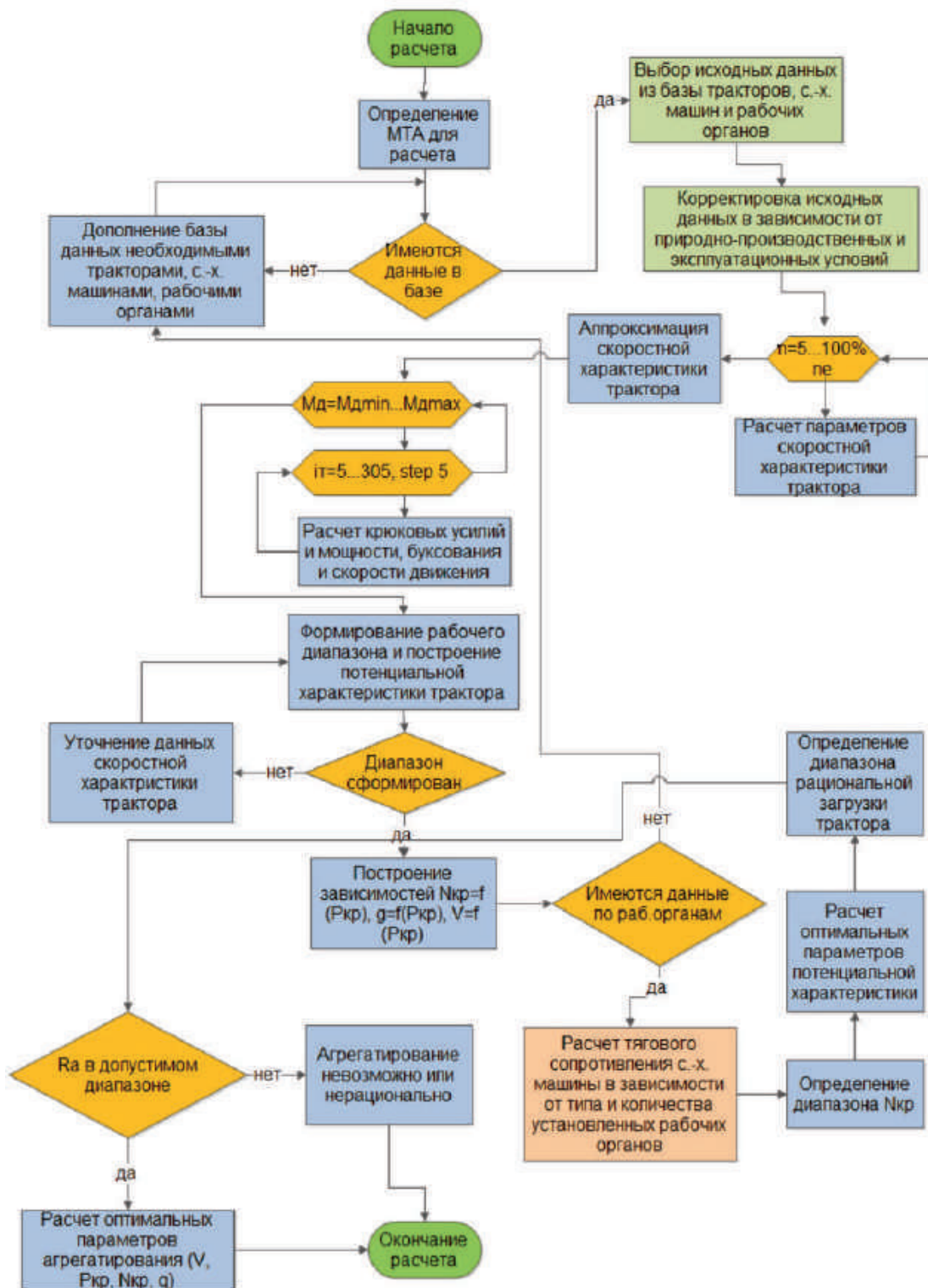


Рис. 3. Блок-схема алгоритма рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

На начальных этапах (блоки 1 и 2, рис. 2) осуществляется выбор необходимых исходных данных, включающих технико-эксплуатационные параметры машин и оборудования, а также характеристики природно-производственных условий.

Важным моментом для выполнения расчетов является построение скоростной характеристики двигателя трактора, которая выступает в качестве основы для моделирования потенциальной характеристики трактора (блок 3). При этом нами использованы теоретические наработки для ап-

проксимации параметров скоростной характеристики с требуемой точностью, используя общедоступную информацию с сайтов заводов-изготовителей тракторной техники.

Расчет параметров потенциальной характеристики осуществляется по разработанному ранее алгоритму, который предполагает выполнение теоретических вычислений крюковых усилий, буксования, скорости движения и расхода топлива в широком диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя и передаточных чисел трансмиссии (блок 4). В дальнейшем осуществляется анализ полученных результатов и формирование рабочего диапазона крюковой мощности, на основании чего производится построение теоретической потенциальной характеристики трактора (блок 5).

Потенциальная характеристика включает в себя зависимости крюковой мощности, удельного расхода топлива и скорости движения от тягового усилия. В предлагаемом алгоритме формирование указанных зависимостей осуществляется автоматически (блок 6).

Наиболее ответственным этапом при комплектовании МТА является расчет тягового сопротивления сельскохозяйственной машины в зависимости от эксплуатационных условий, типа и количества установленных на ней рабочих органов (блок 7). Для выполнения такого расчета необходимо располагать достоверными математическими моделями, отражающими зависимость тягового сопротивления каждого типа рабочего органа от эксплуатационных параметров (в частности, скорости и глубины обработки).

После расчета тягового сопротивления машины выполняется сопоставление динамики его изменения с потенциальной характеристикой трактора, на основании чего осуществляется выбор оптимальных параметров агрегатирования (блоки 8 и 9).

Заключение

В результате проведенных исследований по разработке алгоритма автоматизированного комплектования машинно-тракторных агрегатов получены следующие результаты:

1) адаптирована методика расчета диапазонов крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей и вариации крюковой мощности для интеграции в программный модуль. Определено, что для формирования результирующей таблицы выполнение расчетов диапазона крюковых усилий, буксований, рабочих скоростей и крюковой мощности осуществляется последовательно;

2) адаптирован расчет параметров потенциальной характеристики, при этом расчеты выполняются в пять этапов: инициализация данных о максимальном и минимальном тяговом сопротивлении машины, вычисление по уравнениям значений для построения потенциальной характеристики, определение диапазона рациональной загрузки, поиск точки пересечения прямой сопротивления и кривой скорости, анализ расположения прямых тягового сопротивления и получение вывода о рациональности комплектования трактора и сельскохозяйственной машины;

3) построены адекватные нелинейные модели зависимости тягового сопротивления основных рабочих органов для обработки почвы от параметров обработки – глубины и скорости движения рабочего органа; расчеты, проведенные на примере дисковой бороны, показывают, что максимальные отклонения расчетных и фактических значений не превышают 6 % (среднее значение – 3,5 %), что вполне достаточно для применения модели в качестве инструмента прикладного прогнозирования;

4) предложен алгоритм автоматизированного комплектования машинно-тракторных агрегатов, структура которого аргументирована и представлена в виде блок-схемы.

Список использованных источников

1. Ленский, А. В. Формирование эффективной системы машин для механизации растениеводства / А. В. Ленский. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. – 377 с.
2. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: метод. указания / А. П. Карабаницкий [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Маслова. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – С. 64.
3. Львов, Е. Д. Теория трактора / Е. Д. Львов. – 5-е изд., перераб. и сокр. – М.: Машгиз, 1960. – С. 136.
4. Юров, М. Д. Тяговый расчет и построение теоретической тяговой характеристики сельскохозяйственного трактора с использованием ЭВМ: метод. указания / М. Д. Юров. – Липецк: ЛГТУ, 2007. – С. 8–9.

5. Колобов, Г. Г. Тяговые характеристики тракторов / Г. Г. Колобов, А. П. Парфенов. – М.: «Машиностроение», 1972. – С. 135–139.

6. Ленский, А. В. Методы определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин / А. В. Ленский, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 188–198.

УДК 636.036.1/636.934.57

Поступила в редакцию 11.10.2022

Received 11.10.2022

**И. В. Паркалов, Е. Л. Жилич, С. А. Цалко, О. Л. Екельчик,
Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук**

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

ЭКСТРУДИРОВАННАЯ УГЛЕВОДНАЯ ДОБАВКА В РАЦИОНАХ КОРМЛЕНИЯ ПУШНЫХ ЗВЕРЕЙ

Аннотация. Общий объем мирового производства шкурок норки с 2000 года по 2015 год увеличился в 2,5 раза и в 2015 году составил более 80 млн шкурок. Однако пандемический кризис с 2020 года и закрытие звероводства в Дании (до 2022 г.) способствовало снижению производства шкурок норки в мире до 20 млн штук. К декабрю 2020 г. цены на шкурки норки повысились от 50 до 100 %. В Беларуси с 2000 по 2021 гг. производство шкурок норки снизилось до 0,6 млн штук в год. Одним из факторов, повлиявших на данное сокращение, стали корма и их ценовая доступность. Экономические условия на сегодняшний день требуют использования высокоэффективных энергосберегающих технологий безотходного производства. Наиболее актуальной задачей данного направления является внедрение безвредных методов переработки биологических отходов, отходов от переработки овощей, фруктов и других культур, которые представляют собой ценное вторичное сырье для производства кормов.

Ключевые слова: экструзия, добавка, углеводная, рацион, переработка, отходы.

I. V. Parkalov, E. L. Zhilich, S. A. Tsalko, O. L. Ekelchik, Yu. N. Rogalskaya, V. V. Nikonchuk

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

EXTRUDED CARBOHYDRATE SUPPLEMENT IN THE FEEDING DIETS OF FUR-BEARING ANIMALS

Abstract. The total volume of world production of mink skins from 2000 to 2015 increased 2,5 times and in 2015 amounted to more than 80 million skins. However, the pandemic crisis from 2020 and the closure of fur farming in Denmark (until 2022) contributed to a decrease in the production of mink skins in the world to 20 million pieces. By December 2020, prices for mink skins have increased from 50 % to 100 %. In Belarus, from 2000 to 2021, the production of mink skins decreased to 0,6 million pieces per year. One of the factors that influenced this reduction was feed and their affordability. Economic conditions, today, require the use of highly efficient energy-saving technologies of waste-free production. The most urgent task of this direction is the introduction of harmless methods of processing biological waste, waste from processing vegetables, fruits and other crops that represent it is a valuable secondary raw material for the production of feed.

Key words: extrusion, additive, carbohydrate, diet, processing, waste.

Введение

Главным источником углеводов в рационах пушных зверей служат зерновые корма, из которых чаще всего используют зерно злаковых культур: ячменя, пшеницы, кукурузы и др. [1]. Вместе

с тем рынки кормового зернофуража столкнулись с трудностями. Увеличились производственные затраты. Производители и покупатели зерна готовятся к высоким ценам. По информации генерального директора ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности» В. А. Афанасьева, цены на фуражное зерно за 2021 год выросли на 24–25 %, при этом кукуруза подорожала почти на 40 %, пшеница – на 25 % [2]. Тенденция повышения цен сохраняется.

В связи с этим для частичной замены зерновой группы кормов в рационах кормления животных целесообразно использовать отходы технических производств, такие как отходы свеклового производства (жом, патока), спиртового и пивоваренного производства (барда, дробина) и отходы от переработки плодовой и овощной продукции.

В мире сокращается потребление овощей и фруктов в переработанном виде. Эта тенденция характерна и для России и Беларуси.

При обработке до конечного продукта плодоовощной продукции отходы составляют, от их общего веса: картофеля 30–40 %, свеклы – 20 %, моркови – 10 % (50 % при изготовлении сока). В пищевой промышленности, как правило, используется кукуруза, переработанная на стадии молочной зрелости. Она дает 75 % отходов, богатых белками, целлюлозой, жирами.

Плодоовощное сырье по усредненным нормативам используется переработчиками с коэффициентом 0,79. Это означает, что в среднем 21 % сырья неизбежно перейдет в группу отходов [3]. Все эти отходы могут быть использованы в качестве источников углеводов в рационах кормления пушных зверей и других животных.

Традиционные методы переработки биологических отходов практически исчерпали свои внутренние ресурсы. Сегодня в наиболее экономически развитых государствах (США, Японии, Германии и др.) наиболее приоритетным направлением в переработке биоотходов стали экструзионные технологии [4]. Это один из наиболее простых и эффективных способов повышения питательной ценности и стерилизации корма. Его сущность заключается в том, что продукт подвергается кратковременному, но очень интенсивному механическому и баротермическому воздействию за счет высокой температуры (130–170 °С) и давления (около 50 атм.). В результате структурно-механический и химический состав исходного сырья меняется.

Сложные структуры белков и углеводов распадаются на более простые, клетчатка – на вторичный сахар, крахмал – на простые сахара. За короткое время обработки сырья белок не успевает коагулировать. В процессе экструзии происходит стерилизация и инактивация находящихся в экструдированном сырье токсических веществ.

Цель исследований – разработать нормативные требования к кормлению норок в условиях Республики Беларусь.

При выполнении намеченной цели ставились следующие задачи:

- разработать рецепт смеси углеводной добавки оптимальной влажности, поддерживающий необходимый процесс экструзии;
- включить в состав рецепта для производства углеводной добавки один из плодоовощных продуктов, максимально доступных в условиях хозяйства;
- изучить содержание питательных веществ в смеси углеводной добавки до экструзии и после экструзии.

Эффективность поставленной цели определяли решением проблем:

- 1) уменьшение удельного веса зерна в комбикормах;
- 2) использование новых доступных источников углеводов в виде новых кормовых продуктов от экструзии отходов переработки овощей, фруктов, корнеклубнеплодов и бахчевых культур, применение которых позволит увеличить биологическую ценность комбикормов и снизить себестоимость кормления животных.

Материал и методы исследований

Исследования проводили в Пинском производственном участке УП «Белкоопмех», Республика Беларусь с 9 по 15 сентября 2021 г. Предметом исследований были технологическая линия комплекта оборудования производства комбикормов для пушных зверей, фуражный ячмень и тыква.

Определение содержания питательных веществ в углеводной добавке выполнено в лаборатории технологии кормопроизводства и биохимических анализов РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». Величину валовой энергии в углеводной добавке рассчитывали по энергетическим коэффициентам путем умножения их на содержание сырых питательных веществ, в килокалориях (ккал) или по Международной системе единиц (СИ) в килоджоулях (кДж) и мегаджоулях (1 МДж = 1000 кДж). Одна килокалория равна 4,19 кДж. Для получения результатов валовой энергии в килокалориях применяли энергетические коэффициенты: для протеина (белка) – 5,7, для жира – 9,5, для безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – 4,5. Для расчета содержания в углеводной (зерноовощной) добавке обменной энергии (ОЭ) в ккал использовали следующие энергетические коэффициенты: для протеина – 4,5, жира – 9,3, углеводов (БЭВ) – 4,1.

Содержание сырых БЭВ определяли по формуле: БЭВ = сухое в-во – сырой протеин – сырой жир – сырая клетчатка – сырая зола.

Результаты и обсуждение исследований

Началом решения данной задачи послужила научно-техническая программа Союзного государства «Разработка инновационных энергосберегающих технологий и оборудования для производства и эффективного использования биобезопасных комбикормов для ценных пород рыб, пушных зверей и отдельных видов животных» («Комбикорм-СГ»). Утверждена программа постановлением Совета Министров Союзного государства от 08.12.2017. Выполнение данной программы в условиях Республики Беларусь возложено на РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

В течение второй половины 2018 г. сотрудниками научно-практического центра подготовлен проект технического задания на комплект оборудования, выполнен монтаж и запуск линии в работу. С 2021 г. налажено производство комбикормов для пушных зверей в Пинском производственном участке УП «Белкоопмех». На рис. 1 показана технологическая линия по производству комбикормов для пушных зверей.

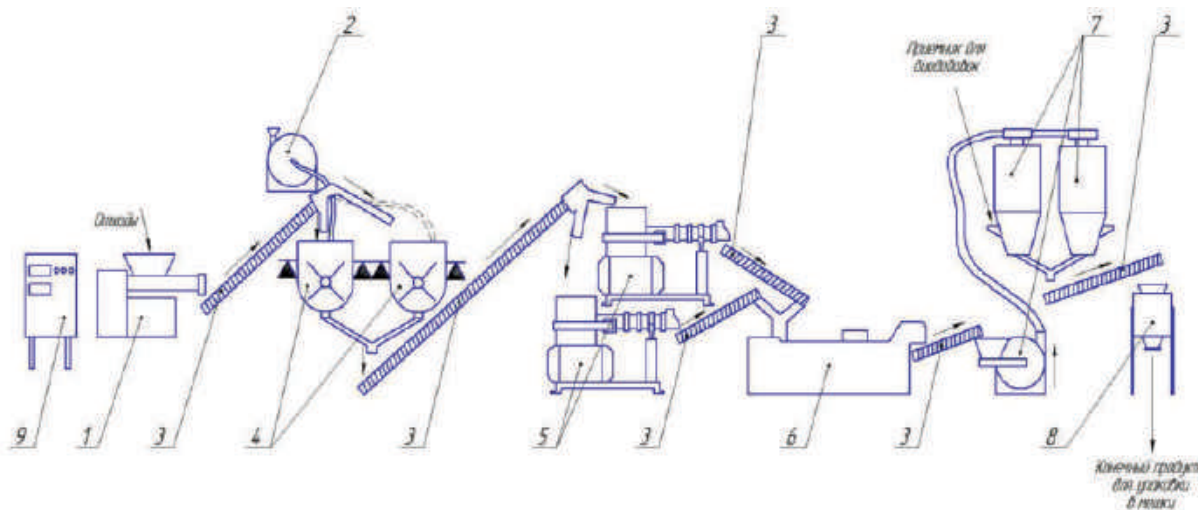


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема комплекта оборудования для производства высокоэффективных комбикормов для пушных зверей: 1 – мясорубка ИК-5; 2 – дробилка ДПМ-22; 3 – конвейер винтовой; 4 – смеситель; 5 – экструдер; 6 – охладитель; 7 – мини комбикормовый завод; 8 – дозатор; 9 – шкаф управления

Были разработаны рецепты и технология производства белковых комбикормов-концентратов для пушных зверей. В состав комбикормов включались боенские отходы, отходы от переработки рыбы, тушки пушных зверей и фуражный ячмень. Нами впервые предложен способ экструзии – как основной для получения углеводной добавки, используя отходы плодоовощной продукции с зерновым наполнителем. В научных публикациях исследований по данной теме нами не установлено.

В состав рецепта углеводной добавки входили тыква (30 %) и измельченный фуражный ячмень (70 %). Предварительно тыква измельчалась до пастообразного состояния. Полный технологический процесс приготовления углеводной добавки включал следующие основные операции: измельчение, смешивание, экструзия, охлаждение (рис.1). Измельченный продукт подавали поочередно в один из смесителей. Основным условием при переработке некондиционных сочных кормов является процесс смешивания их с сухим наполнителем. Влажность смеси до экструдирования довели до 30 %. Фактическое содержание смеси углеводной добавки в смесителе составило 1120 кг, в том числе: тыквы – 340 кг (33,4 %), фуражного ячменя – 780 кг (69,6 %). Процесс экструзии проводили при температуре в стволе экструдера 130–140 °С. После экструдирования углеводная добавка приобрела приятные органолептические качества.

В результате получено 980 кг экструдированной углеводной добавки.

В табл. 1 приведены результаты содержания питательных веществ в готовом продукте.

Проведенные нами анализы на содержание питательных веществ в углеводной (зерноовощной) добавке до процесса экструзии и после экструзии показали, что готовый продукт после экструзии содержит на 0,37 % меньше сырого протеина и на 2,36 % меньше сырого жира. При этом доля сырой клетчатки и сырой золы сократилась на 0,8 %.

Таблица 1. Результаты содержания питательных веществ

Наименование показателей, ед. измерения	ТНПА, устанавливающий метод испытания	Фактическое значение	
		до экструзии	после экструзии
*М.д. сух. вещ-ва, %		70,90	82,60
М.д. общей влаги, %	ГОСТ 13496.3-92 п.2	29,10	17,40
Массовая доля в сухом веществе, %			
Азота	ГОСТ 13496.4-2019 п.2	2,09	2,03
Сырого протеина	ГОСТ 13496.4-2019 п.2	13,06	12,69
Сырого жира	ГОСТ13496.15-2016 п.9.1	3,15	0,79
Сырой клетчатки	ГОСТ 13496.2-91	5,20	4,40
Сырой золы	ГОСТ 26226-95 п.1.4	4,10	3,30

* М.д. сух. вещ-ва – массовая доля сухого вещества

Процесс экструзии позволил увеличить долю сырых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) до 61,42 % (82,6 – 12,69 – 0,79 – 4,4 – 3,3), что на 35 % выше содержания их в углеводной смеси до экструзии – 45,44 (70,9 – 13,06 – 3,1 – 5,2 – 4,1). При этом содержание валовой энергии в углеводной (зерноовощной) добавке составило 358,22 ккал или 1,5 МДж. Применяя средний коэффициент переваримости валовой энергии 0,75, получим, что 100 г углеводной добавки содержит 270 ккал ОЭ или 1,13 МДж.

По данным А. П. Каледина, Н. А. Балакирева и др. [5], в 100 г экструдированного ячменя содержится 276 ккал (1,15 МДж). При этом содержание обменной энергии в ячмене фуражном проваренном составляет только 202 ккал обменной энергии или 0,85 МДж [1].

Заключение

По рекомендованным нормам затрат кормов на выращивание 1 головы «делового молодняка» норок требуется 7,6 кг кормов зерновой группы [6]. Это соответствует 1535 (7,6 × 202) ккал ОЭ проваренного фуражного ячменя, что равнозначно 5,7 кг (1535 / 270) углеводной (зерноовощной) экструдированной добавки. При этом доля фуражного зерна в добавке составляет 4,0 кг (70 %). Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о возможности сократить долю кормов зерновой группы в рационах кормления пушных зверей до 50 % путем экструзионной переработки отходов плодоовощной продукции с зерновым наполнителем. Для производства углеводных добавок можно использовать кабачки, тыкву, капусту, несортовой картофель и другие продукты с растительным наполнителем. Исследования будут продолжены.

Список использованных источников

1. Балакирев, Н. А. Кормление норок : монография / Н.А. Балакирев. – М. : Научная библиотека, 2015. – 247 с.
2. Обзор российского и мирового рынков комбикормов по состоянию на 23.04.2021 г. [Электронный ресурс] / Бизнес-конференция «Индустрия мяса и комбикормов» // Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр. – Режим доступа : http://www.kaicc.ru/sites/default/files/kombikorma_rf_i_mir_23.04.2021.pdf. – Дата доступа : 10.12.2021.
3. Отходы овощей и фруктов: виды, переработка и повторное использование [Электронный ресурс] // Все о переработке вторсырья и утилизации отходов. – Режим доступа : <https://tcycle.net/othody/pishhevye/ovoshhej-i-fruktovrererabotka-ispolzovanie>. – Дата доступа : 10.12.2021.
4. Паркалов, И. В. Переработка биоотходов для использования в звероводстве / И. В. Паркалов, М. В. Навныко, Э. В. Дыба // Комбикорма. – 2019. – № 5. – С. 31–35.
5. Кормление охотничьих животных : монография / Каледин А. П. [и др.] ; под общей редакцией профессора А. П. Каледина. – Реутов, Московская область : Изд-во охотничьей лит. ЭРА, 2021. – 495 с.
6. Нормы кормления и нормативы затрат кормов для пушных зверей и кроликов / Под. ред. Балакирева Н. А., Кладовщикова В. Ф. – М. : Россельхозакадемия, 2007. – 185 с.

УДК 637.112

Поступила в редакцию 11.10.2022
Received 11.10.2022

Ю. Н. Рогальская

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДОИЛЬНОГО СТАКАНА

Аннотация. Современная доильная техника должна быть не только высокопроизводительной, но и отвечающей физиологическим потребностям животных, обеспечивая полный вывод молока. Серийные доильные аппараты не в полной мере выполняют вышеуказанные функции. Применение существующей технологии доения коров, а также доильных аппаратов не позволяет полностью адаптировать процесс доения к физиологическим потребностям и особенностям животных. Наиболее актуальной и при этом сложно-реализуемой является задача по устранению наползания и спадания доильных стаканов, так как оба эти явления нарушают процесс доения, требуют дополнительных затрат труда и нередко сопровождаются снижением продуктивности. Конструкция современного доильного стакана далека от идеальной. Этот узел является наиболее важным в доильном оборудовании, поскольку непосредственно контактирует с коровой, являясь границей между физиологией животного и технологией.

Ключевые слова: доильный стакан, сосковая резина, патрубков, присосок, калиброванное отверстие, удерживающая камера, вакуум, сосок, вымя, доильный аппарат, диаметр, длина, толщина.

Yu. N. Rogalskaya

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

THEORETICAL PREREQUISITES FOR THE JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE MILKING CUP

Abstract. Modern milking equipment should not only be high-performance, but also meet the physiological requirements of animals, ensuring complete milk withdrawal. Serial milking machines do not fully perform the above functions. The use of the existing technology of milking cows, as well as milking machines, does not allow fully adapting the milking process to the physiological requirements and characteristics of animals. The most difficult and important task can be considered to eliminate the creeping and falling of milking cups, since both of these phenomena disrupt the milking process, require excessive labor costs and are often accompanied by a decrease

in productivity. The design of a modern milking cup is far from ideal. This node is the most important in milking equipment, since it is in direct contact with the cow, being the boundary between the physiology of the animal and technology.

Keywords: milking cup, nipple rubber, nozzle, sucker, calibrated hole, holding chamber, vacuum, nipple, udder, milking machine, diameter, length, thickness.

Введение

Доильный стакан является главным элементом доильного аппарата, поскольку непосредственно соприкасается с сосками коровы. На сегодняшний день, стремясь разработать щадящий или стимулирующий доильный стакан, ученые и практики вводят в его конструкцию дополнительные устройства, применение которых не всегда дает положительный эффект, а зачастую и наоборот, негативно сказывается на здоровье животных [1]. Необходимо отметить, что влияние стакана на нервные окончания соска и вымени коровы исключительно велико, поскольку высокий вакуум под соском и жесткое воздействие сосковой резины на сосок тормозят рефлекс молокоотдачи, а также снижают количество и качество выдаиваемого молока.

Основная часть

Наиболее ответственной деталью доильного стакана является сосковая резина, непосредственно участвующая в процессе доения. Диаметр, длина и толщина стенок сосковой резины имеют большое значение для процесса доения. Также очень важна конструкция верхней части сосковой резины, так называемого присоска или колпака, поскольку от его формы, размеров и эластичности зависит ряд показателей машинной технологии доения коров [2].

Первым и наиболее важным конструктивным параметром сосковой резины является ее диаметр, который должен соответствовать диаметру сосков. Это требование основано на том, что при доении разность давлений должна воздействовать не на всю поверхность соска, а только на его кончик, так как действие разрежения на всю поверхность соска вызывает у коров болезненные ощущения.

Воздействие разрежения только на кончик соска возможно, если внутренний диаметр сосковой резины равен диаметру соска или меньше его. Однако, необходимо отметить, что слишком малый диаметр резины может вызвать сужение или даже перекрытие канала соска, что негативно скажется на скорости процесса доения и приведет к «нечистому» выдаиванию коровы.

Следует также учитывать и то, что не только резина приспосабливается к соску, но и сосок в процессе доения приспосабливается к сосковой резине. Как показывает практика, сосковая резина диаметром 22 мм может быть пригодна для сосков диаметром от 22,3 до 38,9 мм, то есть для 85,1 % коров. Этому способствует в известной мере и постепенное уменьшение диаметра соска при его удлинении в процессе выдаивания. Преобладание в стадах коров с сосками большого размера заставляет производителей доильного оборудования изменять диаметры сосковой резины в сторону увеличения [2]. Диаметры сосковой резины, используемые в современных доильных аппаратах, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Диаметры сосковой резины современных доильных аппаратов

Наименование	Внутренний диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм
ДА-3	22	27	2,5
ДА-3А	23	28	2,5
Alfa Laval	26	31	2,5
DeLaval	25/22*	31/28*	3,0
DIABOLO MANUS SALLE DE TRAITE	30/24*	35/29*	2,5
Impuls	24	28	2,0
SIMPLEX	30/18,5*	36/24,5*	3,0
Gascoigne Melotte	22; 28/25*	26; 33/30*	2,0; 2,0/2,5
Пределы колебаний	22–30	26–36	2,0–3,0

* Конусные детали

Вторым и не менее важным параметром сосковой резины является ее длина, которая должна соответствовать длине сосков. Для правильной работы доильного аппарата конец соска во время такта сжатия должен находиться примерно в середине рабочей длины сосковой резины, иначе сжатие произойдет недостаточно полно или совсем не произойдет и конец длинного соска будет плохо защищен от действия на него постоянного разрежения, что в результате может привести к заболеванию маститом. Если же соски очень длинные и концы их при такте сосания упираются в дно доильного стакана, то процесс доения нарушается еще больше. Исходя из этих соображений, рабочую длину сосковой резины нужно делать в 3 раза большей, чем средняя длина сосков (между доениями) у коров данного стада [2–4].

Однако сильно удлинять сосковую резину нельзя по экономическим соображениям, так как стоимость доильных стаканов при увеличении их длины повышается. Удлинение стаканов ограничивается также высотой расположения вымени от пола и их весом. Наибольший допустимый вес подвесной части доильного аппарата не должен превышать 3,3 кг.

Для обоснования выбора длины сосковой резины приводим данные по измерению длины сосков. Измерения проводились при помощи специального инструмента в интервалах между доениями. Самый длинный сосок в несколько раз превосходит самый короткий. Наиболее распространенные значения длины сосков (83,5 % от общего количества измеренных сосков) находятся в пределах 40–79 мм.

Анализ теоретических исследований отечественных и зарубежных ученых позволяет сделать вывод о том, что рабочая длина сосковой резины должна составлять около 200 мм. Однако в современных доильных аппаратах различных производителей имеются значительные отступления от этого размера в меньшую сторону (табл. 2), что зачастую приводит к обратному оттоку молока.

Таблица 2. Длины сосковой резины современных доильных аппаратов

Наименование	Общая длина сосковой резины (с присоском), мм	Рабочая длина сосковой резины, мм
ДА-3	152	145
ДА-3А	155	152
Alfa Laval	137	120
DeLaval	155	137
DIABOLO MANUS SALLE DE TRAITE	156	153
Impuls	180	164
SIMPLEX	129	127
Gascoigne Melotte	120/140	105/135
Пределы колебаний	105–180	120–164

Уменьшение длины сосковой резины в некоторых случаях экономически обосновано или компенсировано дополнительными устройствами. Однако значительное уменьшение длины сосковой резины проявляется как отрицательный фактор, способствующий заболеванию коров маститом и другими заболеваниями [2].

Третьим немаловажным параметром сосковой резины является толщина ее стенок. При использовании очень тонкой сосковой резины ее действие на соски при такте сжатия мало отличается от действия при такте отдыха. Также тонкая сосковая резина очень недолговечна и не защищает стенки соска от расширяющего действия разрежения при такте сосания, что приводит к болезненным ощущениям. По этой причине производители доильного оборудования повсеместно применяют сосковую резину с толщиной стенок от 2,0 до 3,5 мм. Срок эксплуатации такой сосковой резины составляет от 3 до 6 месяцев, что экономически вполне приемлемо. Однако защитные свойства толстой сосковой резины при такте сжатия несравненно хуже: при толщине стенок 2,5–3,5 мм такт сжатия не аналогичен такту отдыха, поэтому доильные аппараты с такой сосковой резиной небезвредны. Особенно большой вред наносится при так называемом «холостом» доении. Если же стенки будут еще толще, то резина совсем не будет сжиматься, вследствие чего будет происходить непрерывное отсасывание молока. Отсюда можно сделать вывод, что характер такта сжатия можно изменять, меняя толщину стенок сосковой резины и ее эластичность [2, 5].

Помимо диаметра, длины и толщины, важным параметром сосковой резины является конструкция присоска, так как от него в значительной степени зависят удержание доильных стаканов на сосках в процессе доения, а также чистота выдаивания коров.

Исследования показывают, что спадание и наползание доильных стаканов на вымя в процессе доения любыми доильными аппаратами – явление довольно частое. Исходя из этого, многие производители включают в комплект доильного аппарата шнур для подвязывания доильных стаканов на корове во время доения, поскольку перерывы во время доения, вызываемые спаданием доильных стаканов, отрицательно влияют на процесс доения. Кроме того, доильные стаканы, упавшие на грязную подстилку, могут засосать в молоко грязь, поэтому их нельзя надевать на соски без промывки. Это в значительной степени отражается на эффективности процесса доения и на трудозатратах. Однако следует учесть и то, что хорошая конструкция присоска с точки зрения удержания доильных стаканов может негативно сказаться на чистоте выдаивания вследствие того, что доильный стакан слишком сильно наползает на сосок и, не дав корове полностью выдоиться, пережимает его. Разумеется, удержание доильных стаканов на сосках коровы во время доения происходит в первую очередь в результате действия вакуума, который создает силу, действующую на доильные стаканы вверх, но эта сила иногда бывает недостаточной [2].

В трехтактных доильных аппаратах сила присасывания действует периодически, во время такта отдыха она отсутствует, и, следовательно, в это время может происходить спадание доильных стаканов [6]. Однако в действительности доильные стаканы не падают, так как они удерживаются силой трения соска о резину и действием присоска. Это действие состоит в том, что в верхнем конце сосковая резина имеет больший диаметр, а потому здесь вакуум действует непрерывно и увеличивает диаметр соска. Такое утолщение соска у основания расположено ниже соскового отверстия в резине, и поэтому стаканы не спадают. Вакуум в присоске не снижается до нуля даже при такте отдыха. Утолщение соска у его основания может быть болезненным для коровы, если длина утолщенного участка слишком велика. Но оно может быть и недостаточно эффективным в отношении надежного удерживания доильного стакана на соске, если его длина мала. Возможно, размер присоскового пространства оказывает существенное влияние на наползание доильных стаканов, однако этот вопрос до конца не изучен. Попытки увеличить вакуум в присосках путем непосредственного их питания от пульсатора не дали хороших результатов, так как с повышением вакуума края присоска сближаются и рабочая поверхность его уменьшается [2, 6].

В ходе проведения аналитических исследований конструкций доильных стаканов, а также теоретического обоснования величин вакуумметрических давлений было предложено несколько конструкций доильных стаканов, теоретически влияющих на полноту выдаивания и обеспечивающих повышенное удержание на вымени при исключении систематического сползания их с сосков вымени. Конструктивные схемы предлагаемых доильных стаканов представлены на рис. 1.

В данных конструктивных схемах удерживающая камера образована при помощи уплотнительного кольца (колец), что позволяет образовать воздушную камеру вокруг соска и, соединив ее с атмосферой посредством калиброванного отверстия, получить удерживающую камеру с постоянным атмосферным давлением, которая опоясывает сосок животного и плотно прижимает сосковую резину к соску.

Крепление патрубка переменного давления во всех трех вариантах предложено выполнить под уплотнителем, а не снизу корпуса, как в существующих доильных стаканах, что позволит подавать атмосферный воздух в камеру переменного давления не снизу вверх под сосок, а прямо на сосок.

На рис. 2 представлен макетный образец одного из экспериментальных доильных стаканов. Работоспособность макетного образца проверялась на доильной установке с доильным оборудованием Westfalia Surge с рабочей величиной вакуума 42 кПа с помощью установки «искусственное вымя», представленной на рис. 3.

Установка уплотнителя внутри оголовка, под камерой присоска сосковой резины, позволяет образовать вокруг соска воздушную камеру с постоянным атмосферным давлением, которая плотно прижимает сосковую резину к соску, не давая ей возможности наползать или сползть с соска в процессе доения, что помогает устранить травмирование сосков вымени и усилить рефлекс молокоотдачи. Также, в качестве альтернативы, вместо уплотнительного кольца как отдельного

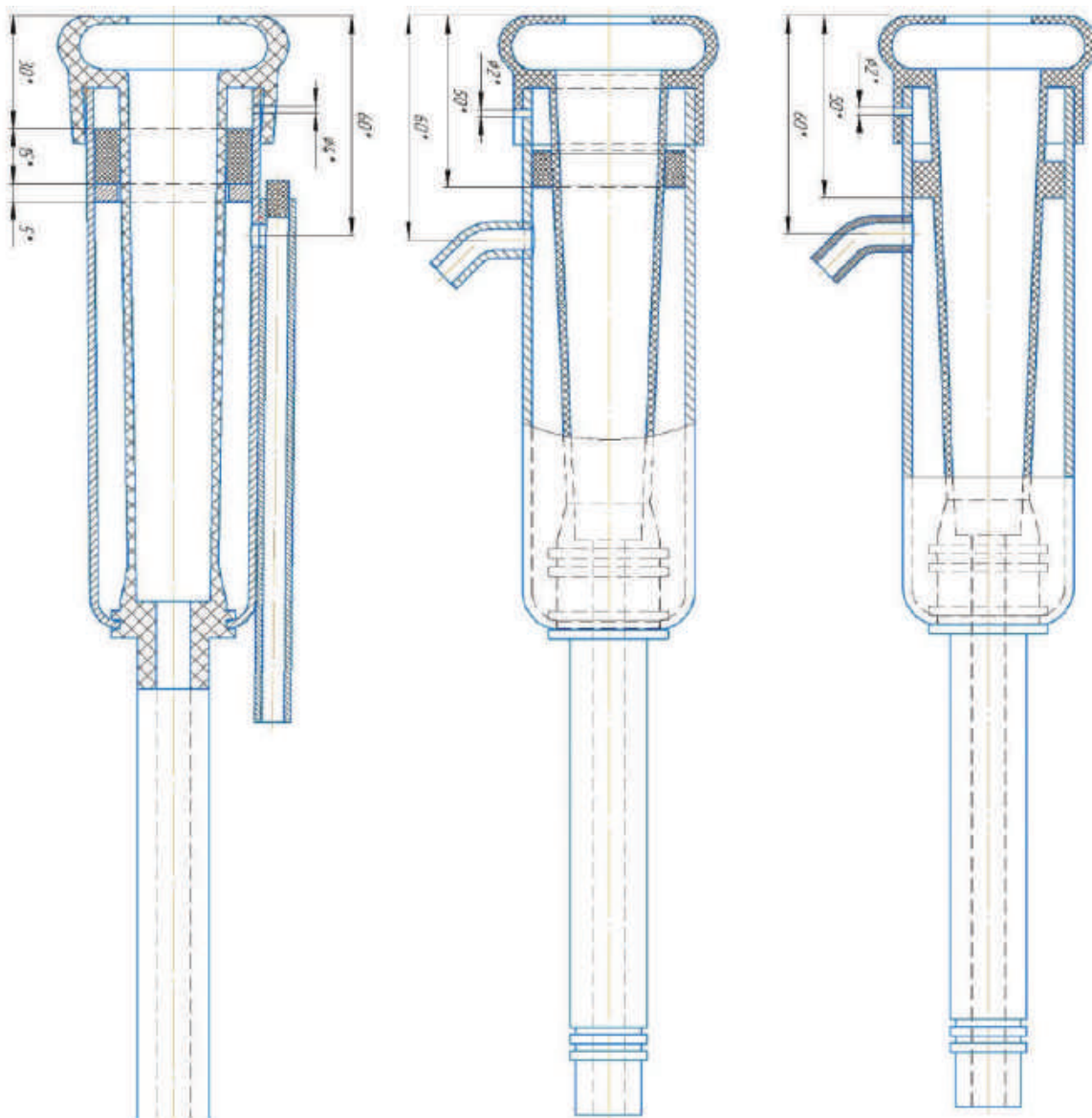


Рис. 1. Конструктивные схемы усовершенствованных доильных стаканов



Рис. 2. Общий вид экспериментального доильного стакана



Рис. 3. Доильная установка Westfalia Surge с установкой «искусственное вымя»

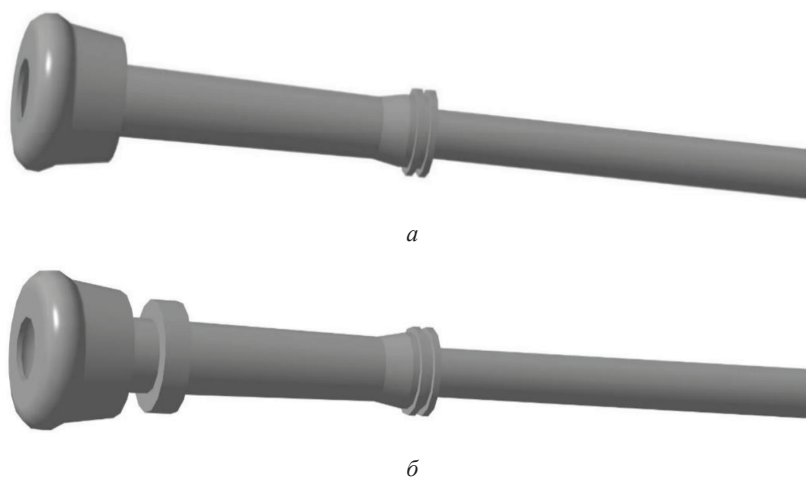


Рис. 4. Сосковая резина: *а* – без уплотнительного элемента; *б* – с уплотнительным элементом

элемента предпочтительней изготавливать сосковую резину с литым уплотнительным кольцом, которое будет плотно прилегать к доильному стакану, образуя удерживающую камеру (рис. 4). Использование литой резины с уплотнением позволит снизить затраты труда при обслуживании доильного оборудования, связанные с периодической заменой сосковой резины, поскольку ее замена будет происходить гораздо быстрее.

Заключение

Помимо конструктивных особенностей доильного стакана, необходимо учитывать, что для разных видов сельскохозяйственных животных существуют свои параметры уровня вакуума, частоты и фазы пульсации. Именно поэтому необходимо грамотно подходить не только к конструктивным особенностям доильного стакана, но также к выбору величины вакуумметрического давления в его камерах, поскольку она напрямую влияет на эффективность процесса доения. Малая величина вакуума может привести к спаданию доильных стаканов в процессе доения, что приведет к его неэффективности ввиду того, что будет затрачено дополнительное время на одевание спавших доильных стаканов, а также процесс выдаивания будет проходить не полностью. Избыточная же величина вакуумметрического давления может стать причиной наползания доильных стаканов, а также может привести к травмированию вымени вследствие пережатия молочных каналов и жесткого воздействия вакуума на внутренние ткани. Следовательно, необходимо увязать конструктивные параметры доильного аппарата и используемых доильных стаканов с величиной вакуумметрического давления.

Список использованных источников

1. Физиология сельскохозяйственных животных: [Учеб. по спец. «Ветеринария» / Голиков А. Н., Базанова Н. У., Кожебеков З. К. и др.]. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Агропромиздат, 1991. – 431 с.
2. Королев, В. Ф. Доильные машины: Теория, конструкция и расчет / В. Ф. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1969. – 279 с.
3. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М. : КолосС. – 2004. – 344 с.
4. Ужик, В. Ф. Механизация выращивания высокопродуктивных коров : уч. пособие / В. Ф. Ужик. – Белгород : Изд-во БСХИ, 1993. – 200 с.
5. Анисько, П. Е. Физиологическое обоснование переменного режима машинного доения коров при автоматическом регулировании вакуума : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.13; 16.00.08 / П. Е. Анисько ; Белорус. НИИ животноводства. – Жодино. – 1998. – 22 с.
6. Назин, А. А. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров доильного аппарата с управляемым режимом доения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. – Оренбург. – 2004. – 20 с.

УДК 637.112/637.116.2

Поступила в редакцию 11.10.2022

Received 11.10.2022

Ю. Н. Рогальская

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ

Аннотация. Доильный аппарат является основным элементом доильной установки. Независимо от его конструктивных особенностей, он предназначен для высасывания молока из вымени под действием вакуума. Доильные стаканы, укомплектованные сосковой резиной, являются исполнительными механизмами доильного аппарата. От эффективности работы сосковой резины зависит не только качество выдаивания, но и состояние здоровья молочного стада, поскольку ее конструктивными особенностями обусловлена эффективность процесса доения.

Ключевые слова: сосковая резина, трехгранная резина, доильный аппарат, вымя, сосок, отверстие, выдаивание, вакуум, мастит.

Yu. N. Rogalskaya

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

MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF TEAT RUBBER

Abstract. The milking machine is the main element of the milking machine. Regardless of its design features, it is designed to suck milk from the udder under vacuum. The milking cups, complete with teat rubber, are the actuators of the milking machine. Not only the quality of milking, but also the health of the dairy herd depends on the efficiency of the teat rubber, since its design features determine the efficiency of the milking process.

Key words: teat rubber, trihedral rubber, milking machine, udder, teat, hole, milking, vacuum, mastitis.

Введение

Современная конструкция доильных аппаратов, выпускаемых зарубежными и отечественными производителями, не в полной мере обеспечивает физиологичность процесса доения, поскольку для извлечения молока зачастую вместо положительного давления и небольшого вакуума, которые образуются при высасывании молока теленком, применяется глубокий вакуум. Поскольку доиль-

ные стаканы являются главными исполнительными механизмами доильных аппаратов и непосредственно участвуют в процессе доения, к их конструкции предъявляются высокие требования.

Анализ многочисленных экспериментов [1–7] свидетельствует о том, что конструкция доильного стакана, в частности сосковой резины, больше, чем любой другой фактор, влияет на характеристики доения (интенсивность молокоотдачи, степень скольжения по соску, продолжительность доения, качество механического воздействия на соски, состояние вымени животного). Следовательно, чтобы доение проходило быстро, с максимальной полнотой, и при этом сосок не пережимался и не повреждался, сосковая резина должна быть высокого качества и правильно эксплуатироваться.

Основная часть

В первую очередь, чтобы сосковая резина обеспечила должный эффект, молочное стадо должно быть максимально однородным как по уровню продуктивности, так и по морфологическим особенностям вымени. В зарубежных странах к этому пришли уже достаточно давно и практически добились желаемого, в то время как у нас селекционная работа в данном направлении ведется не слишком активно и эта проблема остается актуальной. Результаты проведенных исследований [3, 8, 9] показывают, что примерно 25–30 % коров в наших стадах не соответствует требованиям пригодности к машинной технологии доения, вследствие чего зачастую возникают проблемы со здоровьем вымени, которые приводят к различным заболеваниям, в частности к маститам. У сосков и вымени коров может быть довольно много изъянов, поэтому добиться, чтобы сосковая резина хорошо подходила к морфологическим параметрам вымени каждого животного, затруднительно, что наглядно проявляется при неоднородности стада.

Сосковая резина эксплуатируется при постоянных механических и химических воздействиях. К механическим относятся периодические сжатие-растяжение (открытие-смыкание) при пульсации, взаимодействие с кожей животных, периодические промывки. К химическим воздействиям относятся прежде всего воздействие щелочи и кислоты при промывке, белки и жиры из молока, кислород из воздуха. Все это приводит к тому, что срок службы сосковой резины ограничен. Он устанавливается производителем, при этом рекомендованные сроки использования сосковой резины желательнее не превышать, так как это приводит к увеличению раздраженности сосков и вымени животного, что, в свою очередь, приводит к увеличению стресса у животного при доении и увеличению заболеваемости маститом.

Крупные производители для расчета срока использования сосковой резины рекомендуют использовать количество доек, это 2500 доений или 6 месяцев с момента первой установки резины в доильный аппарат. В процессе эксплуатации желательнее периодически контролировать состояние резины. Хорошая резина мягкая, гладкая. Резина, которая работает долгое время, становится более жесткой, шершавой, немного увеличивается в размерах и зачастую начинает подсасывать воздух. Поэтому, даже если расчетный срок использования резины не вышел, но она имеет неудовлетворительное состояние, следует принять решение о ее досрочной замене. Также обязательно надо менять резину при обнаружении на ней повреждений, иначе это приводит к потерям вакуума при доении, вследствие чего хуже выдаивается одна или несколько долей вымени, а молоко может попасть в вакуумную магистраль, что приведет к выходу из строя доильного оборудования.

На сегодняшний день основными мировыми производителями доильного оборудования являются «Delaval Holding AB» (Швеция), Milkrite (Великобритания), System Happel (Германия), GEA Farm Technologies GmbH (Германия), «SHIMU AGRICULTURAL TECHNOLOGY SHANGHAI COLTD» (Китай), «MILKOMAX SOLUTIONS LAITIÈRES INC» и «TECHNOLOGIES HOLDINGS CORP» (США), «TOKUYAMA CORP» (Япония), которые выпускают широкую линейку сосковой резины.

Одним из примеров инновационного улучшения сосковой резины является использование в доильных стаканах трехгранной резины, преимущество которой заключается в более мягком обхвате соска [9]. Кроме того, треугольная форма профиля позволяет эффективно регулировать сжатие, в результате чего воздействие вакуума на соски происходит более равномерно. Первой на рынке

доильного оборудования трехгранную сосковую резину представила фирма «Delaval Holding AB» (Швеция). Производитель утверждает, что их трехгранная сосковая резина «Клевер» обеспечивает быстрое доение с максимальной молочной продуктивностью и при этом способствует сохранению здоровья вымени дойного стада. Все это обеспечивается за счет более полного прилегания к соску, минимального уровня соскальзывания подвесной части, а также низкого уровня вакуума в области раструба [10, 11].

Сосковая резина «Клевер» разработана таким образом, что нет необходимости в воздушном отверстии в раструбе. Это значит, что исключен риск закупорки сосковой резины, а также попадания внутрь каких-либо загрязнений, в том числе и навоза, что гарантирует стабильный уровень вакуума и бесперебойное доение. Трехгранная сосковая резина «Клевер», выпускаемая фирмой «Delaval Holding AB» (Швеция), представлена на рис. 1.



Рис. 1. Сосковая резина «Клевер» «Delaval Holding AB» (Швеция)

Помимо «Delaval Holding AB» трехгранная сосковая резина выпускается компанией Milkrite (Великобритания) [12] – европейским производителем высококачественной сосковой резины. На данный момент вентилируемая треугольная резина Milkrite с технологией Impulse Air (рис. 2) является самой инновационной сосковой резиной, поскольку в ней хорошо сочетаются технологии бережного доения благодаря треугольной форме стенок и впуску воздуха в зону контакта сосковой резины сразу за потоком молока, и отличное качество материалов, из которых сделана сосковая резина. Сочетание данных особенностей позволяет:

- обеспечить комфорт животных во время доения;
- получить мягкий бережный массаж соска вымени в начале доения;
- уменьшить гиперкератоз у животных вследствие меньшего усилия воздействия на сосок стенок основной камеры треугольной формы;
- увеличить скорость доения вследствие того, что отсутствует обратный отток молока;
- сделать щадящим процесс снятия подвесной части по окончании доения.



Рис. 2. Вентилируемая треугольная резина Milkrite с технологией Impulse Air

Система Impulse Air – это уникальная инновационная разработка в технологии доения, которая на сегодняшний день оказывает значительное положительное влияние на развитие прогресса в молочной отрасли. Благодаря технологии впуска воздуха в зону контакта сосковой резины сразу же за потоком молока удастся не только увеличить скорость доения, но и снизить пагубное воздействие вакуума на основание сосков вымени. Воздух, попадая через отверстие, помогает быстрее эвакуировать молоко наиболее эффективным способом. При этом система предотвращает обратный отток молока на соски [13]. Таким образом, одним из важных преимуществ технологии Impulse Air является то, что сосок остается сухим, благодаря чему значительно снижается риск попадания вредоносных бактерий в канал соска и развития новых инфекций.

Использование инновационной технологии доения треугольной сосковой резиной также позволяет улучшить ее сцепление с поверхностью соска. Система Impulse Air включает в себя доильный стакан, конструкция которого имеет блокирующее устройство, предотвращающее перекручивание резины.

Как итог, особенностями и преимуществами сосковой резины Impulse Air является снижение раздражения, предотвращение образования отеков вымени, а также улучшение общего состояния здоровья всего стада за счет снижения количества соматических клеток (SCC) и сокращения случаев заболевания маститом. Благодаря более бережному доению животные ведут себя значительно спокойнее, а также добровольно идут на доение, что также улучшает условия работы в доильном зале. Технология треугольной сосковой резины позволяет сократить случаи соскальзывания подвесных частей и снижает случаи сбрасываний подвесных частей животными.

Технология Impulse Air позволяет оптимизировать сжимающее воздействие резины на сосок при доении посредством некоторых настроек по регулировке параметров фаз открытия и закрытия резины, улучшая при этом производительность.

Также современные доильные аппараты комплектуются резиной AktivPuls по технологии SSC [14] фирмы System Happel (Германия) (рис. 3), которая с меньшим усилием воздействует на вымя животного в период доения за счет снижения вакуумной нагрузки на концы сосков и оптимизирует поток молока благодаря размещению отверстия для поступления воздуха над верхней частью. Полная блокировка вакуума обеспечивается за счет изменения толщины стенок резины в сочетании с прикрепленной компенсирующей поверхностью.

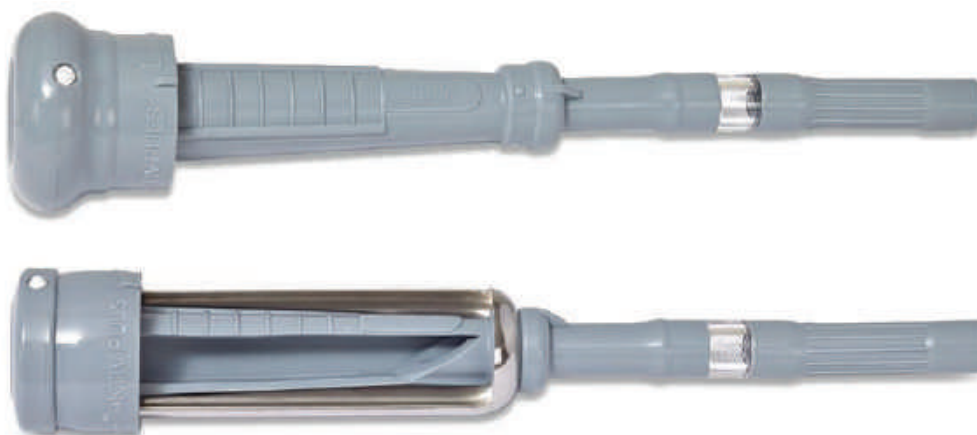


Рис. 3. Сосковая резина AktivPuls по технологии SSC фирмы System Happel (Германия)

Поступление воздуха через размещенное над верхней частью сосковой резины отверстие и его прохождение по продольному аэрационному каналу дают возможность уменьшить вакуумную нагрузку на соски и ускорить отток молока. Конструктивное исполнение резины поддерживает молочную железу в здоровом состоянии и эффективно предотвращает попадание микробов через сосковый канал.

Название SSC является аббревиатурой из первых букв трех инноваций:
– сосковой резины Silicon-Pro;

- самоочищающегося сопла Smart-Air для оптимального уровня вакуума;
- сигнального элемента конструкции Control-Vac для онлайн-контроля текущих условий доения в каждом доильном стакане.

Резина выполнена из высокоэластичного силиконового материала, который улучшает протекание процесса доения даже при разных длине и толщине сосков.

Заключение

На сегодняшний день производители доильного оборудования предлагают широкий типоразмерный ряд сосковой резины. Однако помимо конструктивных особенностей необходимо также уделять внимание материалу сосковой резины, величине и характеру вакуумной нагрузки на соски в процессе доения. Разброс жесткости сосковой резины в доильном аппарате по вакууму смыкания не должен превышать 0,6 кПа, а ее удлинение – не более ± 2 мм. Если эти параметры не будут соблюдаться, скорость выдаивания отдельных четвертей вымени станет неравномерной. Поскольку молочное скотоводство является одной из ведущих отраслей животноводства в нашей стране, проблема совершенствования сосковой резины является актуальной и требует дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Ульянов, В. М. Совершенствование технологии машинного доения коров путем разработки стимулирующе-адаптированных доильных аппаратов и манипуляторов : автореф. дис. ... д-ра технич. наук : 05.20.01 / В. М. Ульянов. – Рязань, 2008. – 43 с.
2. Петров, И. Е. Обоснование параметров доильного аппарата с независимым вакуумным режимом : дис. ... канд. технич. наук : 05.20.01 / И. Е. Петров. – Москва, 2017. – 183 с.
3. Анисько, П. Е. Физиологическое обоснование переменного режима машинного доения коров при автоматическом регулировании вакуума : автореф. дис. ... канд. биологич. наук : 03.00.13; 16.00.08 / П. Е. Анисько ; Белорус. НИИ животноводства. – Жодино, 1988 г. – 22 с.
4. Королев, В. Ф. Доильные машины: Теория, конструкция и расчет / В. Ф. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1969. – 279 с.
5. Забродина, О. Б. Адаптивное управление процессом доения / О. Б. Забродина, О. И. Мартыненко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 7 – С. 28–29.
6. Карташов, Л. П. К расчету доильных стаканов с амортизационными элементами / Л. П. Карташов, П. И. Огородников, З. В. Макаровская // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – №4. – С. 20–22.
7. Концепция построения и технико-технологическое решение доильного аппарата с почетвертным управлением процессом доения / Цой Ю. А. [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства, 2015. – № 3(19). – С. 86–89.
8. Курак, А. С. Технологические основы машинного доения и контроль качества молока / А. С. Курак, Н. С. Яковчик, И. В. Брыло. – Минск : БГАТУ, 2016. – 136 с. : ил. – ISBN 978-985-519-787-5.
9. Григорьев, Д. А. Технология машинного доения коров на основе конвергентных принципов управления автоматизированными процессами : монография / Д. А. Григорьев, К. В. Король. – Гродно : ГТАУ, 2017. – 216 с. – ISBN 978-985-537-105-3.
10. TEATCUP LINER [Electronic resource] : Nils Alveby (Bandhagen, SE) / DeLaval Holding AB // AA01J516FI : USPC : 119 1449, 20140014041 Publ. date 16.04.2014. – Mode of access : <https://www.patentsencyclopedia.com/app/20140014041>. – Date of access : 03.08.2022.
11. Teatcup liner [Electronic resource] : DELAVAL HOLDING AB [SE] / A01J5/04, A01J5/16, A01J5/08 // US8820263B2 02.09.2014, US201314028820A Publ. date : 17.09.2013. – Mode of access : <https://patents.google.com/patent/US8820263B2/en>. – Date of access : 03.08.2022.
12. Сосковая резина [Электронный ресурс] / – Режим доступа : <https://www.milkrite-interpuls.com/ru/liners-RU.htm>. – Дата доступа : 03.08.2022.
13. Lazovic, Dr. Milking-time test : methodology and assessment of vacuum recordings during machine milking of dairy cows. Second cycle. A2E. Uppsala : SLU, Dept, of Animal Nutrition and Management, 2016. – 29 с.
14. AKTIVPULS MIT SSC° TECHNOLOGIE [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.aktivpuls.com/de/aktiv-puls-ssc-technologie.html>. – Date of access : 03.08.2022.

Е. Л. Жилич¹, Ю. Н. Рогальская¹, В. В. Никончук¹, Г. И. Кошля²

¹ РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: npc_mol@mail.ru

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: kgi.emtp@bsatu.by

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГКОУСВОЯЕМОГО КОНЦЕНТРАТА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ ДЛЯ МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ КЛК-0,7 В УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВА

Аннотация. Как показывают передовой опыт и зоотехнические исследования, продуктивность коров закладывается уже на уровне выращивания телят молочного периода. На интенсивный рост телят в первую очередь влияют корма. Для ускоренного развития телят приучают к поеданию и растительных кормов, которые трудно перевариваемы в молодом организме. Для этого разработаны технология и автоматизированный комплект оборудования, позволяющие переработать местный зернофураж в легкоусвояемый концентрат.

Ключевые слова: комплект оборудования, технология, рацион, комбикорм, заменители молока, цельное молоко, телята, сухое обезжиренное молоко.

E. L. Zhilich¹, Yu. N. Rogalskaya¹, V. V. Nikonchuk¹, G. I. Koshlya²

¹ RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: npc_mol@mail.ru

² EE “Belarusian State Agrarian Technical University”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: kgi.emtp@bsatu.by

RESULTS OF THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A SET OF EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF EASILY DIGESTIBLE CONCENTRATE BASED ON LOCAL GRAIN RAW MATERIALS FOR YOUNG ANIMAL CLA-0,7 UNDER FARM CONDITIONS

Abstract: As best practices and zootechnical research show, the productivity of cows is already laid at the level of growing calves of the dairy period. The intensive growth of calves is primarily affected by feed. For accelerated development, calves are taught to eat plant foods, which are difficult to digest in a young body. For this, a technology and an automated set of equipment have been developed that allow processing local grain fodder into an easily digestible concentrate.

Keywords: equipment set, technology, diet, feed, milk substitutes, whole milk, calves, skimmed milk powder.

Введение

Одним из основных факторов повышения продуктивности сельскохозяйственных животных является сбалансированное кормление с введением в рационы различных белково-витаминно-минеральных добавок, способствующих активизации процессов пищеварения. Только полная сбалансированность рационов и комбикормов по всем элементам питания, таким как протеин, аминокислоты, различные минеральные вещества, витамины, антиоксиданты и другие биологически активные вещества, позволит получить высокопродуктивное стадо при низких затратах кормов.

На сегодняшний день основным кормом телят молочного периода в хозяйствах Беларуси и России является цельное молоко. Однако при дефиците молока на выпойку одного теленка расходуют

350–400 литров цельного молока, а с учетом вторичных молочных продуктов (обрат, сыворотка и т.д.) в переводе на сухое вещество телятам скармливают от 12 до 16 % валового производства молочных продуктов [1–3].

В связи этим в последние годы в мировой практике широкое распространение получили заменители молока, основанные на сухом обезжиренном молоке (СОМ), обогащенном различными добавками, применяемыми для улучшения вкусовых качеств, усвояемости и переваримости, а также для повышения питательности. Однако такие заменители цельного молока обладают высокой стоимостью.

Основная часть

На сегодняшний день в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан широкий ряд оборудования для приготовления высокоэффективных и легкоусвояемых комбикормов производительностью от 0,5 до 10 т/ч. В их числе комплект комбикормового оборудования КЛК-0,7, который эксплуатируется в ГП «Экспериментальная база «Зазерье» Пуховичского района Минской области с 2021 г. Он обеспечивает производство легкоусвояемых комбикормов для молодняка животных в условиях хозяйства согласно заданным рецептам.

Опробованные ранее технические решения получили реализацию при разработке технологии, а также комплекта оборудования для производства легкоусвояемого комбикорма для молодняка животных производительностью 0,7 т/ч. Предложенная технология и комплект оборудования для производства легкоусвояемого концентрата в качестве полноценного конкурентоспособного заменителя цельного молока, созданного на основе местного зернового сырья, позволяет сократить расход цельного молока в рационах кормления телят на 30–45 %, снизить себестоимость конечного продукта животноводческих хозяйств на 10–15 %, а также снизить зависимость от импортного оборудования. Стоимость разработанного комплекта оборудования для производства легкоусвояемого концентрата в качестве полноценного конкурентоспособного заменителя цельного молока в 1,8–2,5 раза меньше импортного. Схема компоновки комплекта оборудования КЛК-0,7 представлена на рис. 1.

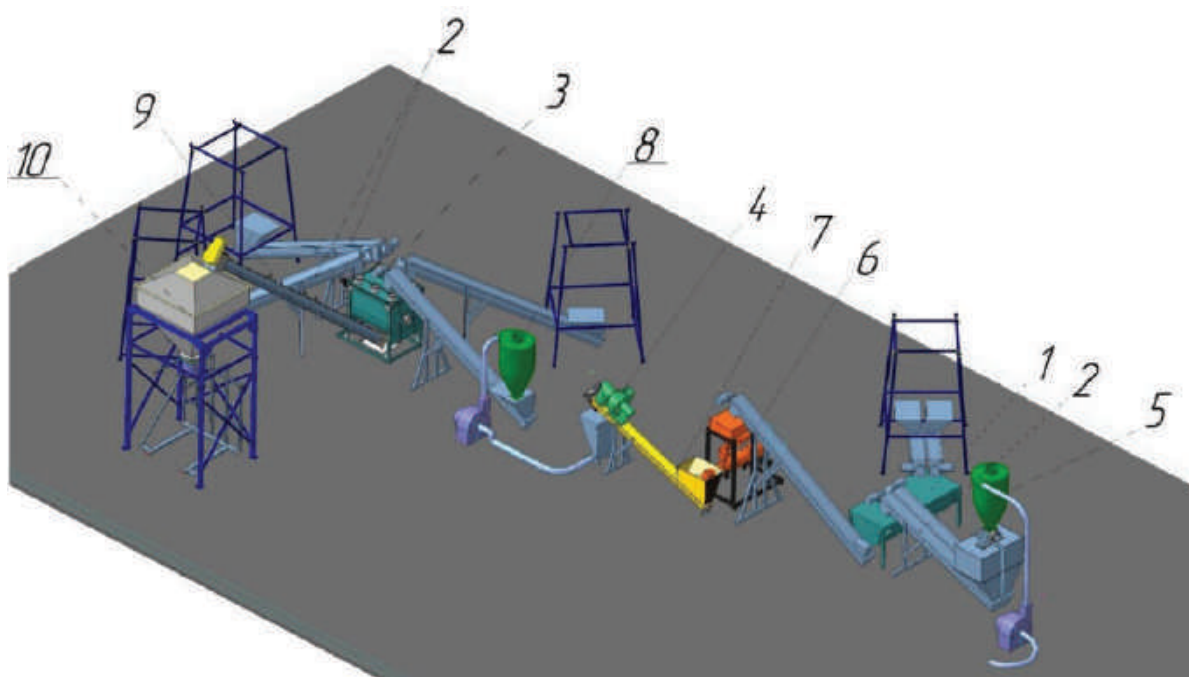


Рис. 1. Схема компоновки комплекта оборудования КЛК-0,7: 1 – смеситель шнековый; 2 – питатель; 3 – смеситель лопастной; 4 – бункер; 5 – циклон; 6 – экструдер; 7 – охладитель; 8 – вентилятор; 9 – конвейер; 10 – бункер готовой продукции

Комплект оборудования предназначен для производства легкоусвояемого концентрата на основе местного зернового сырья для дальнейшего включения его в состав комбикормов, используемых при балансировании рационов молодняка сельскохозяйственных животных.

Технологический процесс производства легкоусвояемого концентрата на основе местного зернового сырья включает следующие основные операции:

- пневмозагрузку с грубым измельчением зерновых компонентов в бункеры-накопители;
- прием и дозированную подачу в смеситель зернобобовых компонентов;
- весовую дозировку порций зерновых компонентов и сыпучих обогатительных добавок в смесители кормов;
- смешивание зернобобовых и обогатительных добавок и их выгрузку;
- экструдирование зернобобовых добавок;
- транспортировку и охлаждение экструдата;
- измельчение экструдата и пневмотранспортирование в бункер-накопитель;
- весовую дозировку экструдата, обогатительных компонентов, смешивание и получение концентрата;
- транспортирование концентрата в бункер-накопитель;
- затаривание концентрата в мешки.

При разработке данной технологии и комплекта оборудования были разработаны специальные рецепты с использованием местных кормов. Состав и стоимость легкоусвояемого концентрата представлены в табл. 1.

Таблица 1. Состав и стоимость легкоусвояемого концентрата

Кормовые компоненты	Стоимость компонентов входящих в килограмм концентрата при различных объемах СОМ и СС				Стоимость тонны компонентов по данным комбикормовых заводов
	%	руб.	%	руб.	
Пшеница	20,0	0,096	20,0	0,096	480
Люпин	20,0	0,076	20,0	0,076	380
Рапс	18,5	0,130	18,5	0,130	700
Льносемя	5,0	0,035	5,0	0,035	700
СОМ	10,0	0,650	5,0	0,320	6500
СС (сухая сыворотка)	10,0	0,150	15,0	0,220	1500
Премикс ПКР-1	0,7	0,016	0,7	0,016	2300
Фосфат дефториров.	0,8	0,050	0,8	0,005	650
Комбикорм КР-1	15,0	0,135	15,0	0,135	900
Заграты на приготовление концентрата	–	0,110	–	0,110	110
ИТОГО	100	1,400	100	1,150	1150–1400

Стоимость 1 кг ЗЦМ, приготовленного в РБ, составляет 2,3 руб., импортного – 4,3 руб. Как видно из таблицы, в состав легкоусвояемого концентрата входят только местный зернофураж и другие местные компоненты.

Поскольку в легкоусвояемый концентрат входит трудноперевариваемый зернофураж, то, согласно разработанной технологии, последний подвергнут экструдированию. Это сделано для придания привлекательных вкусовых качеств, поскольку первые три дня новорожденный теленок питается только молозивом. Также в рецепт включено сухое обезжиренное молоко и сухая сыворотка.

Полученный по разработанной технологии легкоусвояемый концентрат успешно прошел испытания по скармливанию в ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита на МТФ «Березовица» Смолевичского района Минской области.

Предварительные испытания комплекта оборудования проводились с 24.08.2020 по 28.08.2020 на базе ГП «Экспериментальная база «Зазерье» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» Пуховичского района Минской области. За период испытаний комплекта оборудования было приготовлено 1,2 т кормового концентрата. Предварительные испытания опытного образца комплекта оборудования проводились для оценки результатов, полученных в процессе его разработки, и соответствия разработанной КД, требованиям ТЗ, с целью определения возможности его предъявления на приемочные испытания.

Перед проведением приемочных испытаний на смесителе и бункерах конвейеров комплекта оборудования дополнительно были установлены пылевые фильтры. На начальном этапе проведения приемочных испытаний наработка на отказ II группы сложности по состоянию на 15.12.2020 составила 5,4 т готовой продукции. Приемочные испытания комплекта оборудования были проведены ООО «Воронежская МИС» при участии РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Приемочные испытания опытного образца комплекта оборудования проводили с целью оценки выполнения всех требований технического задания в условиях реальной эксплуатации и принятия решения о возможности постановки на производство. В ходе проведения приемочных испытаний было установлено, что комплект оборудования обеспечивает выполнение технологического процесса приготовления легкоусвояемого концентрата на основе местного зернового сырья для молодняка животных и может использоваться по назначению. Общий вид комплекта оборудования представлен на рис. 2.



Рис. 2. Комплект оборудования КЛК-0,7 (общий вид)

Разработанный комплект оборудования полностью автоматизирован. Шкаф управления установлен в отдельном помещении (операторской). Разработанная автоматизированная система управления обеспечивает не только выполнение алгоритма работы, но и контроль всех параметров такого энергоемкого оборудования, как пневматическая дробилка (режим холостого хода, нагрузка). Она оснащена контроллерами для ПИД-регулирования степени загрузки электродвигателя при измельчении различных зерновых материалов.

Управление работой комплекта оборудования осуществляется через панель управления. Оператор имеет возможность выбирать на дисплее кнопки управления механизмами либо кнопки задания режимов работы АСУТП, а также устанавливать начальные параметры работы (задать рецепт, вес порции, выбор дробилки, бункера для загрузки зерна, бункера для выгрузки комбикорма, общий вес комбикорма по данному рецепту). Общий вид панели управления представлен на рис. 3.

Система управления имеет четыре режима работы: «Наладка»; «Ручной»; «Загрузка зерновых компонентов»; «Автомат».



Рис. 3. Общий вид панели управления АСУ ТП комплекта комбикормового оборудования

Режим «Наладка» предназначен для проверки состояния механизмов при ремонтных работах или текущем обслуживании. В режиме «Наладка» каждая из единиц оборудования, входящих в состав комплекта оборудования, включается вне зависимости от состояния остальных единиц. Включая отдельно пускозащитные устройства (магнитные пускатели) каждой из единиц оборудования, можно проверить работу каждой составной части в отдельности.

Режим «Ручной» предназначен для производства легкоусвояемого концентрата при управлении технологическим процессом непосредственно оператором. В режиме «Ручной» каждая из единиц оборудования, входящих в состав комплекта оборудования, включается в работу только после включения всех единиц оборудования, выполняющих предыдущие технологические операции согласно технологической схеме. При отключении любой единицы оборудования из-за ошибки оператора либо аварии все единицы оборудования, которые могут оказаться в аварийном состоянии из-за остановки данной единицы (выполняющие предыдущие технологические операции), автоматически отключаются.

При последовательном включении оборудования по направлению, обратному движению потока материала, проверяются блокировки: после отключения какой-либо единицы оборудования в середине технологической линии все предшествующие единицы оборудования отключаются.

Заключение

Результаты эксплуатации комплекта оборудования в ГП «Экспериментальная база «Зазерье» Пуховичского района Минской области показывают высокую эффективность его использования. На начальном этапе проведения приемочных испытаний наработка на отказ II группы сложности по состоянию на 15.12.2020 составила 5,4 т готовой продукции.

Скармливание полученного комбикорма телятам в молочный период способствует повышению продуктивности на 6,6 % и снижению затрат кормов на 5,73 %. Дополнительная прибыль от снижения себестоимости 1 кг прироста составила 1,47 белорусских рублей.

Список использованных источников

1. Инновационная технология и оборудование для выращивания телят в молочный период / В. И. Передня, Ю. А. Цой, Н. Г. Бакач, В. Ф. Радчиков, А. А. Романович, Е. Л. Жилич // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 226–234.
2. Заменители цельного молока из местных источников питательных веществ / В. М. Голушко [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т животноводства Нац. акад. наук Беларусі. – Жодино, 2006. – Т.41. – С. 159–164.
3. Ресурсосберегающие технологии при подготовке кормов к скармливанию / С. П. Лосев, О. В. Понталев // Ресурсосбережение и экология в сельском хозяйстве : материалы VII Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. – Горки, 2005. – Ч. 1. – С. 185–187.

Е. Л. Жилич¹, Н. В. Жешко², А. А. Жешко¹, Ю. Н. Рогальская¹

¹ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: azeshko@gmail.com

² РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелецкого»
г. Минск, Республика Беларусь

АППАРАТНАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРЕДМАСТИТНОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация. Рассмотрены особенности аппаратной и программной реализации системы идентификации предмаститного состояния вымени дойного стада КРС.

Ключевые слова: мастит, аппаратная и программная реализация, автоматизированная система, тепловизор, потоковое видео.

E. L. Zhilich¹, N. V. Zheshko², A. A. Zheshko¹, Yu. N. Rogalskaya¹

¹ RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: azeshko@gmail.com

² RUE «Institute of Experimental Veterinary Medicine named after S.N. Vyshellessky»
Minsk, Republic of Belarus

HARDWARE AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED BIOMETRIC IDENTIFICATION SYSTEM OF PRE-MASTITIS STATE

Abstract. The features of the hardware and software implementation of the identification system of the mastitis state of the udder of a dairy cattle herd are considered.

Keywords: mastitis, hardware and software implementation, automated system, thermal imager, video streaming.

Введение

Совершенствование автоматизированных систем в животноводстве предполагает не только развитие аппаратной составляющей, но также разработку и сопровождение программного обеспечения, что позволит существенно увеличить точность разрабатываемых систем и повысить качество технологических процессов в животноводстве. В связи с этим актуальной задачей является обоснование аппаратной базы и разработка программной составляющей системы биометрической идентификации предмаститного состояния дойного стада КРС. В настоящей работе рассмотрены особенности конструкции макетной установки, математические основы обработки изображений для выявления предметного состояния и особенности интерфейса программных модулей системы.

Основная часть

Аппаратная реализация системы состоит из кронштейна, конструкция которого позволяет фиксировать видеокамеру и осуществлять регулировку ее расположения относительно экрана тепловизора в трех плоскостях: приближать и удалять видеокамеру, регулировать ее вертикальное и горизонтальное положение. Регулятор угла наклона тепловизора позволяет осуществлять изменение положения его инфракрасной камеры в горизонтальной плоскости. Штатив является опорой системы биометрической идентификации и позволяет регулировать положение тепловизора по высоте.

Кронштейн обеспечивает регулирование видеокамеры в вертикальной и горизонтальной плоскости, обеспечивая полный захват экрана тепловизора, а также регулирование расстояния от камеры до тепловизора в диапазоне 0,1–0,5 м. Видеокамера предназначена для получения видеопотока изображений с экрана тепловизора с целью последующей их программной и математической обработки для определения предмаститного состояния вымени. Тепловизор необходим для получения потока изображений вымени и дистанционного измерения температуры в его долях. Он обеспечивает измерение температур в интервале 30–40 °С, точность измерения при этом находится в пределах $\pm 0,5$ °С, оптимальное расстояние измерения должно составлять ориентировочно 1 м, время измерения температуры не должно превышать 0,5 с.

Регулятор угла наклона тепловизора обеспечивает изменение угла съемки инфракрасной камерой тепловизора в интервале 0–30° в вертикальной плоскости. Штатив позволяет регулировать положения инфракрасной камеры тепловизора по высоте в интервале 0,25–0,6 м.

Программный интерфейс автоматизированной системы биометрической идентификации предмаститного состояния вымени дойного стада КРС представлен на рис. 1–6. Основное окно программы 1 (рис. 1) состоит из главного меню 2 и панели вкладок 3, через которые можно осуществлять переход к основному и вспомогательным модулям программы [1].

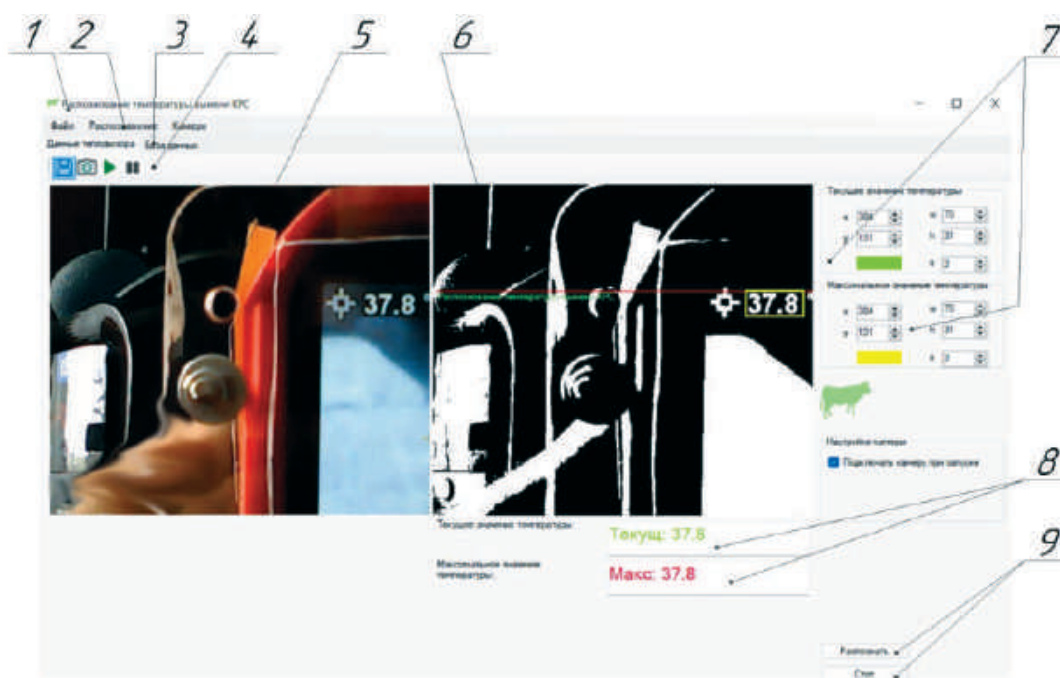


Рис. 1. Главное окно программы CowsRecognizer: 1 – основное окно; 2 – главное меню; 3 – панель вкладок; 4 – панель инструментов; 5 – элемент с отображением потока видео с видеокамеры; 6 – элемент с отображением потока обработанного видео; 7 – панель настроек; 8 – панель с распознанной температурой тепловизора; 9 – кнопки запуска и остановки распознавания

Основной модуль программы состоит из панели инструментов 4, элементов 5 и 6, в которые транслируется исходное потоковое видео, а также видео с наложенными фильтрами. В правой части основного модуля расположена панель настроек 7, в нижней части имеется информационная панель 8, в которой отображается температура вымени. Также в нижней части основного окна находятся кнопки запуска и остановки распознавания 9.

Элемент с отображением потока обработанного видео (рис. 2) содержит графические примитивы в виде линии 1, которая позволяет настроить горизонтальное расположение камеры при тарировке устройства. Графические примитивы в виде прямоугольников 2 и 3 предназначены для выделения части потокового видео, где предполагается распознавать данные [2]. Один из прямоугольников предназначен для выделения области текущей температуры (в зоне курсора), второй прямоугольник – для выделения области максимальных температур.

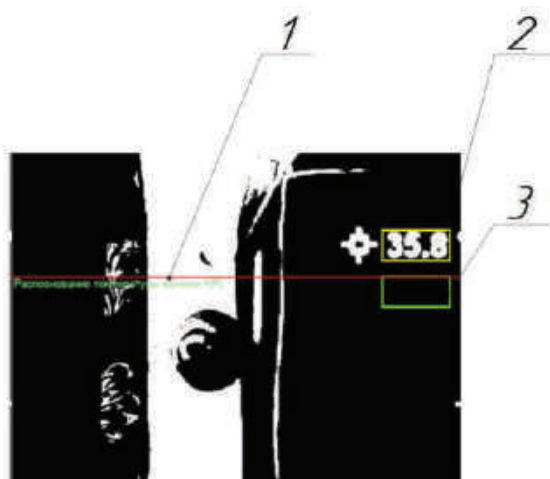


Рис. 2. Элемент с отображением потока обработанного видео: 1 – графический примитив (линия) для настройки горизонтального положения видеокамеры; 2, 3 – графические примитивы (прямоугольники) для выделения «области интересов» ROI на потоковом видео

Панель настроек (рис. 3) состоит из элементов для регулирования параметров «области интересов» ROI для текущей и максимальной температуры. Область для текущей температуры регулируется путем изменения расположения прямоугольника в горизонтальной и вертикальной плоскостях за счет изменения числовых значений в элементах управления 1 и 2, а также ширины и высоты прямоугольника путем изменения числовых значений в элементах управления 3 и 4. Цвет линий прямоугольника регулируется с использованием палитры цветов 6, а регулировка толщины линии – путем изменения цифрового значения в элементе управления 5. Аналогично регулируются параметры «области интересов» путем изменения значений в элементах управления 7 для максимального значения температуры. В нижней части панели настроек расположен флажок 8 для выбора автоматического подключения камеры при запуске программы [3].

Панель инструментов, представленная на рис. 4, состоит из кнопок для сохранения результатов настройки «области интересов» 1, подключения камеры 2, снятия видео с останова 3 и постановки видео на паузу 4.

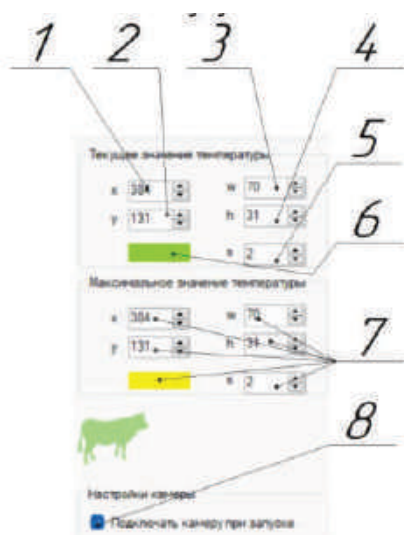


Рис. 3. Панель настроек: 1, 2, 3, 4 – регуляторы горизонтального, вертикального положения ROI, ширины и высоты ROI соответственно; 5, 6 – регуляторы цвета и толщины линии ROI; 7 – настройки ROI для максимального значения температуры; 8 – флажок для подключения видеокамеры при запуске программы



Рис. 4. Панель инструментов: 1 – сохранение настроек положения ROI; 2 – включить камеру; 3 – запуск камеры с паузы; 4 – постановка камеры на паузу

Переход на вкладку «База данных» через панель вкладок 3 (рис. 1) позволяет отобразить каталог термограмм программы (рис. 5). На панели инструментов каталога расположена кнопка обновления содержимого 1, под которой расположен фильтр отображений всех термограмм 2. Для включения фильтров термограмм по долям вымени необходимо нажать соответствующую кнопку фильтра 3 [4].

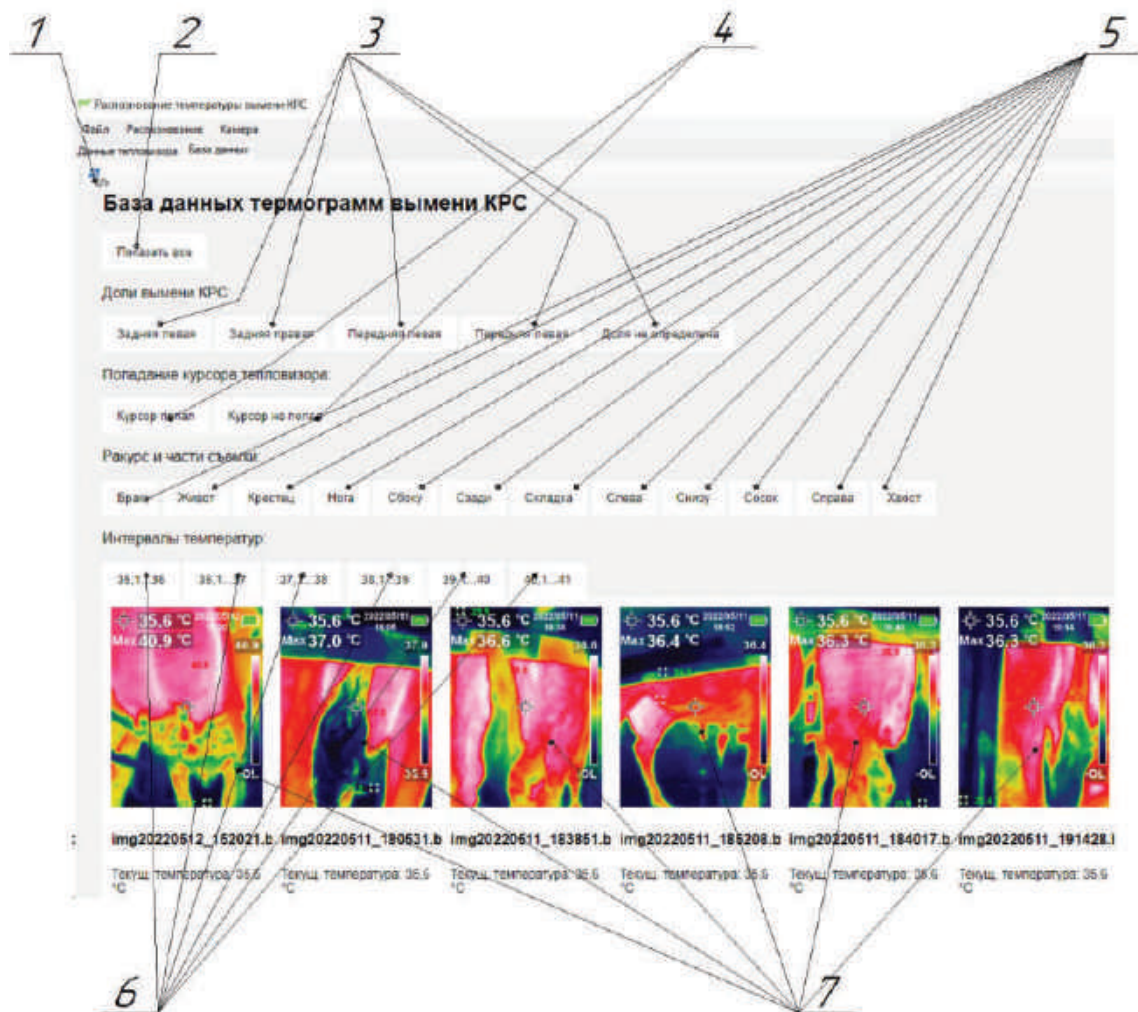


Рис. 5. Окно каталога термограмм программы: 1 – кнопка обновления каталога; 2 – кнопка для отображения всех элементов каталога; 3 – фильтры доли вымени КРС; 4 – фильтры попадания курсора тепловизора; 5 – кнопки фильтров ракурса и частей съемки; 6 – кнопки фильтров интервалов температур; 7 – изображения термограмм вымени

Для фильтрации содержимого по критерию попадания курсора тепловизора необходимо нажать на кнопку 4. Для включения фильтров ракурса и частей съемки необходимо нажать одну из кнопок 5. Для выбора интервалов температур нажать на кнопку 7.

Для приведения изображений вымени к единой системе координат осуществлялась их регистрация, что позволило сравнивать изображения вымени между собой и проводить их анализ.

Изометрическая регистрация изображения здорового вымени позволила вычислить основное изображение и отклонения от него, которые соответствовали вымени в предмаститном состоянии. Каждое изображение базы данных аннотировано координатами долей вымени и других опорных точек, хранящихся в отдельном файле, по которым выполнялось преобразование подобия с масштабированием [5]. Координаты доли вымени получали в следующей форме: xlp, ylp – координаты левой передней доли, xlz, ylz – координаты левой задней доли и т.д. [1]. Для вычисления параметров преобразования подобия использовали метод наименьших квадратов, т.е. для каждой точки $x_i = [x_i, y_i]$ находилось отображение $[\hat{x}_i, \hat{y}_i]$

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для всех точек получаем систему

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{y}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{y}_2 \\ \hat{x}_3 \\ \hat{y}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ x_2 & -y_2 & 1 & 0 \\ y_2 & x_2 & 0 & 1 \\ x_3 & -y_3 & 1 & 0 \\ y_3 & x_3 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ t_x \\ t_y \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для решения системы использовали параметрическое представление матрицы подобия

$$\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} = sR, \quad (3)$$

где $s = \sqrt{a^2 + b^2}$ – коэффициент масштабирования; R – матрица поворота.

Для запросов с целью поиска изображений затруднительно выполнить их полное сравнение или сопоставить признаки исходного изображения с объектами в базе данных. В случае большого объема базы данных изображений вымени обработка подобных запросов является чрезмерно продолжительной. Для решения подобных задач в настоящее время широко применяются векторные модели. Наибольшее распространение получила модель взвешивания частоты терма и обратной частоты документа. Частота терма w в документе d определяется как отношение

$$tf_{w,d} = \frac{n_w}{\sum_j n_j}, \quad (4)$$

где n_w – количество вхождений терма w в документе d ; $\sum_j n_j$ – суммарное вхождение всех элементов в документе.

Обратная частота определяется по формуле

$$idf_{w,d} = \log \frac{|D|}{|\{d : w \in d\}|}, \quad (5)$$

где $|D|$ – число документов, описывающих изображения в множестве D ; $d : w \in d$ – количество документов d из D , которые содержат терм w .

Перемножение величин, полученных по формулам (4) и (5), позволяет определить вес, что является основой для поиска изображений по содержанию.

На рис. 6 представлен модуль для поиска изображений по содержанию. Для реализации поиска необходимо указать каталог с изображениями термограмм, нажав на кнопку 4. При этом на основном окне модуля будет отображен абсолютный путь к каталогу 6, а на панели 5 отобразятся миниатюры изображений из указанного каталога. Далее необходимо нажать на кнопку «Поиск» 3, после чего пользователю будет предложено указать изображение для поиска схожих ему в каталоге.

После завершения поиска в элементах модуля будут отображены исходное изображение 1, наиболее схожее с исходным изображение 7, процент точности поиска 2. В нижней части программы будут отображены в порядке убывания схожести 8 миниатюры найденных в каталоге похожих изображений 9.

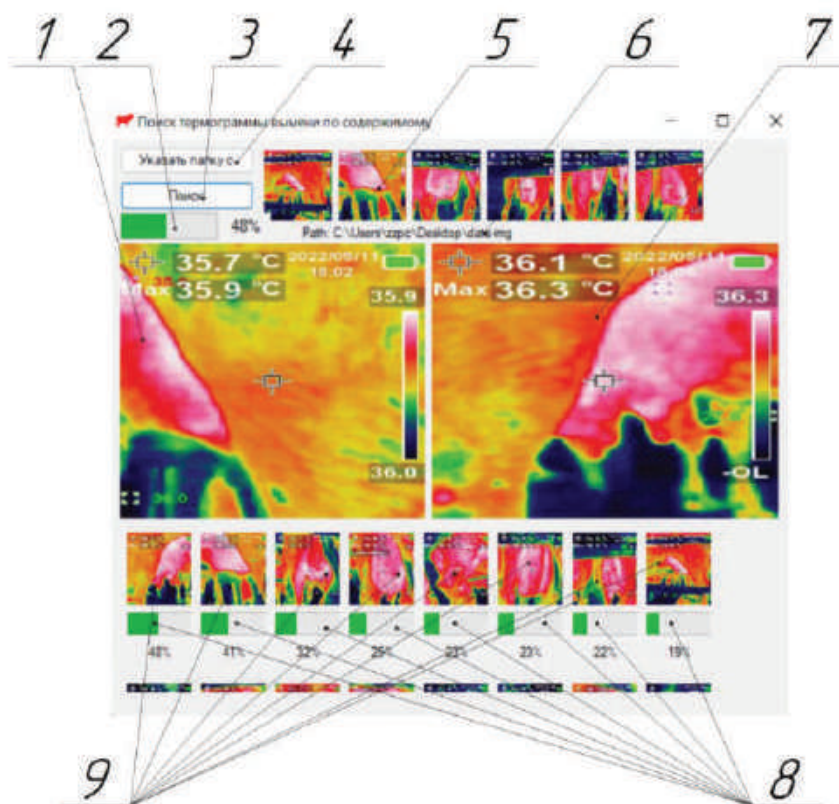


Рис. 6. Модуль программы для поиска изображений по содержанию: 1 – исходное изображение для поиска; 2 – точность совпадения исходного и найденного изображения; 3 – кнопка «Поиск»; 4 – кнопка для выбора каталога с изображениями для поиска исходного; 5 – миниатюры изображений; 6 – путь к каталогу и изображениям; 7 – наиболее схожее с исходным изображение; 8 – точность найденных изображений; 9 – миниатюры найденных изображений

Заключение

1. Аппаратная часть предложенной системы состоит из тепловизора и камеры для обработки потокового видео, а также вспомогательных элементов для регулирования их взаимного расположения. Такая реализация является относительно простой и позволяет с достаточной степенью точности идентифицировать предмаститное состояние вымени дойного стада КРС.

2. Программная реализация системы содержит основной модуль для идентификации предметного состояния, а также вспомогательные модули для поиска изображений по содержанию и каталогу.

Список использованных источников

1. Солем, Я. Э. Программирование компьютерного зрения на языке Python / Я. Э. Солем. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 312 с.
2. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю. В. Визильтер [и др.]. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. Gopi, E. S. Pattern Recognition and Computational Intelligence Techniques Using Matlab / E. S. Gopi. – Springer Nature Switzerland AG 2020. – 256 p.
4. Обработка изображений с помощью OpenCV / Г. Б. Гарсия [и др.] – М.: ДМК Пресс, 2016. – 210 с.
5. Юрочка, С.С. Разработка методов определения биометрических и температурных параметров вымени лактирующих животных на основе оптических технологий [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. С. Юрочка ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Москва, 2022. – 23 с.

В. М. Константинов¹, Г. А. Ткаченко²

¹ *Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: materialovedenie@tut.by*

² *Белорусский государственный университет
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: hleb_tkachenko@mail.ru*

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ КРЕПЕЖ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается проблемы преждевременного износа головок крепежных элементов, фиксирующих быстроизнашиваемые элементы почвообрабатывающих машин.

Задача работы заключалась в получении согласованного ресурса эксплуатации болта и закрепляемого им изделия. Достижение поставленной задачи достигнуто применением разработанной технологии локального повышения прочности и износостойкости крепежного элемента.

Ключевые слова: согласованный ресурс эксплуатации деталей и крепежных элемента, износостойкость, класс прочности крепежного элемента.

V. M. Konstantinov¹, H. A. Tkachenko²

¹ *Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: materialovedenie@tut.by*

² *Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: hleb_tkachenko@mail.ru*

HIGH-STRENGTH FASTENERS FOR WORK IN CONDITIONS OF ABRASIVE WEAR

Abstract. The article deals with the problems of premature wear of the heads of fasteners fixing the wearable elements of tillage machines.

The task of the work was to obtain an agreed service life of the bolt and the product fixed by it. The achievement of this task was achieved by using the developed technology of local increase in strength and wear resistance of the fastener.

Keywords: consistent service life of parts and fasteners, wear resistance, strength class of the fastener.

Введение

В крепежном элементе плужного лемеха или долота наиболее тяжело нагруженной является его резьбовая часть в месте соединения с головкой: она испытывает крутящий момент, образующийся во время навинчивания гайки, и растягивающие напряжения при взаимодействии детали с внешней средой. В зависимости от условий эксплуатации головка болта может подвергаться воздействию абразивных частиц. Следовательно, для надежной и стабильной работы в паре «деталь – болт» недостаточно высокой прочности изделия. Крепежный болт имеет класс прочности от 6.8 до 12.9 в зависимости от используемой стали. В настоящее время для изготовления крепежных изделий наиболее часто используют углеродистые стали (0,1–0,5 % масс. С) по ГОСТ ISO 898-1-2014 (далее – стандарт).

Все крепежные элементы подразделены на двенадцать классов прочности. Класс прочности готового изделия определяется маркой стали, способом изготовления и последующей термической обработкой, которая формирует микроструктуру крепежного элемента и, как следствие,

механические свойства готового изделия. Дополнительно в понятие класс прочности входят механические характеристики – относительное удлинение, предел текучести, твердость. Наиболее распространенными являются крепежные элементы с классами прочности 5.6, 5.8, 6.6, 6.8, а также высокопрочный крепеж 8.8–12.9.

Основными материалами для изготовления болтов являются стали марок 20 и 40Х. Изделия получают с помощью холодной и горячей штамповки с дополнительной термической обработкой или без нее. Холодная штамповка позволяет получить изделия с пределом прочности от 400 до 600 МПа и пределом текучести от 240 МПа до 480 МПа. Такую прочность готовому изделию обеспечивает феррито-перлитная структура после пластической деформации, образующаяся по сечению заготовки в процессе обработки ниже температуры рекристаллизации используемых материалов (сталь 20, 40Х). При горячей штамповке получают заготовки с аналогичными механическими характеристиками, но с меньшей поверхностной твердостью. Более прочные крепежные элементы получают при дополнительной термической обработке, которую проводят после штамповки. Применяют закалку с последующим средним или высоким отпуском. При данных видах отпуска формируется микроструктура троостита или сорбита. Данные структуры позволяют получить предел прочности на растяжение 800–1200 МПа, предел текучести от 640 до 1080 МПа, а также твердость поверхности и сердцевины готового изделия от 30 до 40 НРС. Дополнительных требований по износостойкости головки крепежного элемента действующие нормативные документы не предусматривают.

Помимо прочности от крепежных элементов в ряде случаев требуются специальные свойства, которые определяются из условий эксплуатации закрепляемых деталей, например коррозионная стойкость, сопротивление высокотемпературному окислению (жаростойкость), а также износостойкость поверхности головки болта. Первые два условия можно обеспечить, применив соответствующие стали и покрытия.

Повышение износостойкости головки крепежного элемента является более сложной задачей. Требуется получить готовое изделие с высокими значениями твердости и износостойкости поверхности, но при этом не должны быть ухудшены механические свойства стержня (прочность, пластичность, вязкость). Подобные требования характерны, например, для болтов крепления броневых плит в измельчающих механизмах, защитных элементов горнодобывающего оборудования, почвообрабатывающих машинах. В ряде случаев ресурс защитного элемента или рабочего органа почвообрабатывающей машины лимитируется долговечностью крепежа, который разрушается при интенсивном абразивном воздействии окружающей среды.

Тяжелые почвы Беларуси приводят к повышенному износу головки болта, который обусловлен постепенным «вымыванием» почвой мягкого металла крепежного элемента в посадочном отверстии рабочего органа, что приводит к преждевременному нарушению целостности конструкции (рис. 1). В результате этого износа закрепляемая деталь, не достигшая своего предельного ресурса, отрывается от лемеха и теряется в поле (рис. 2).

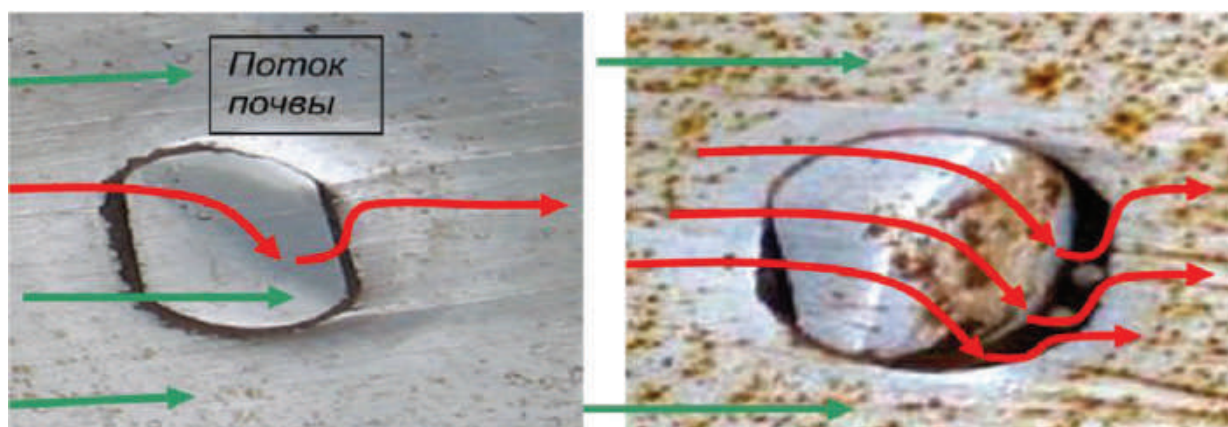


Рис. 1. Эффект «вымывания» почвой головки болта



Рис. 2. Корпус плуга с утраченными долотом и лемехом из-за разрушения шляпок крепежных болтов.
Выработка 21 Га. Песчаные почвы

Предельный ресурс работоспособности деталей и крепежных элементов зависит не только от выбранной стали и упрочняющей технологии, но и от вида и плотности почвы, скорости движения плуга (не более 9 км/ч), времени года (уплотнение почвы), потока почвы (ламинарный, турбулентный), свойств защитного покрытия на режущих элементах.

Основная часть

Наиболее тяжело нагруженной частью болта является его резьбовая часть в месте соединения с головкой: она испытывает крутящий момент, образующийся во время навинчивания гайки, и растягивающие напряжения при взаимодействии детали с внешней средой; головка болта в свою очередь подвергается воздействию абразивных частиц. Поэтому, исходя из условий работы крепежного элемента и нагрузок, целесообразно сохранить исходную микроструктуру на ножке болта, а на головке получить износостойкую структуру, например мартенсита (рис. 3).

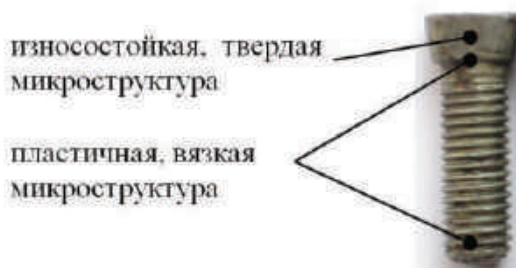


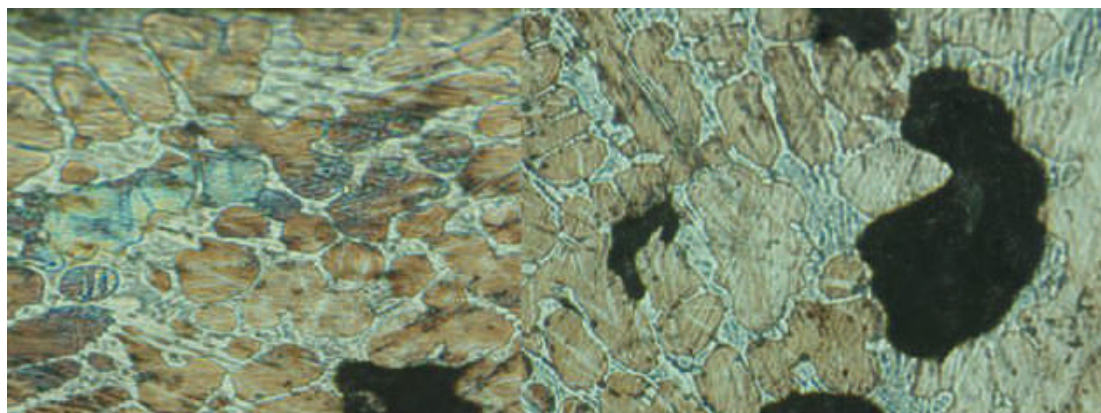
Рис. 3. Требуемое распределение структур по сечению упрочненного крепежного элемента

Чтобы сформировать микроструктуры в соответствии с описанной схемой локального распределения структур, на готовых деталях использована термическая обработка, оказывающая влияние на структурные превращения лишь на определенных участках детали. Были рассмотрены технологии упрочнения: электрохимикотермическая обработка, локальная закалка, отпуск с индукционным нагревом. Способы обработки выбраны в качестве альтернативы традиционным способам повышения твердости и износостойкости стальных изделий: объемной химико-термической и термической обработке.

Каждая технология была теоретически обоснована и экспериментально изучена для использования в качестве способа упрочнения болтов.

Высокотемпературная нитроцементация из паст. Указанный способ позволил за 20–90 секунд получить на образцах (сталь 20, 40Х) диффузионные слои величиной от 0,06 до 0,9 мм. В этом случае после нитроцементации при 1100 °С и последующей закалки формируется диффузионный слой, состоящий из игольчатого мартенсита и остаточного аустенита с твердостью 9000 МПа. Увеличение температуры насыщения с 1100 °С до 1200–1300 °С приводит к образованию на поверх-

ности образца жидкометаллической фазы, что позволяет получить на стали 40X за 90 секунд слой толщиной 0,9 мм, состоящий из крупных зерен перлита, вокруг которых располагаются дендриты с высокой твердостью порядка 12000 МПа. Такой же эффект от увеличения температуры насыщения наблюдается и на стали 20, где помимо нитроцементованного слоя образуется ледебурит величиной 30–40 мкм [1], рис. 4.



×500

Рис. 4. Структура диффузионного слоя после ЭХТО в режиме оплавления поверхности на стали 40X

Структуры, сформированные в диффузионном слое по режиму, который предусматривает оплавление поверхности, приемлемы для использования в качестве защитных покрытий от абразивного воздействия. Однако при высоких температурах наблюдается значительный теплоотвод к холодным частям образца. Поэтому применение этого способа для локального упрочнения крепежных элементов может привести к изменению исходных микроструктур на крепежной части болтов, которые обеспечивают класс прочности. Следовательно, данный способ термической обработки можно применить только для крепежа из стали 20, где резьбовая часть состоит из структур отжига феррита и перлита. Для болтов из стали 40X такой значительный теплоотвод к ножке болта приводит к изменению структуры сорбита на феррит и перлит, в результате этого снижается прочность детали.

Для крепежных элементов из стали 40X, прошедших предварительную термическую обработку, была рассмотрена возможность использования локальной закалки с последующим низким отпуском для снятия термических напряжений. Технологическая операция заключалась в быстром индукционном нагреве до 850 °С и охлаждении в масле и дополнительном низком отпуске при 180 °С в течение 2 часов. Эта технологическая операция проводилась для получения максимально возможной глубины упрочненного слоя с высоким значением твердости по сечению головки болта.

При обработке требовалось учитывать, что максимальная глубина закаленного слоя с мартенситной структурой не должна располагаться на границе между головкой и резьбовой частью болта, то есть в самом нагруженном месте. Это является нежелательным явлением, снижающим прочность. Глубина упрочненного слоя регламентируется исходя из того, что крепежный болт должен работать с закрепляемой деталью согласованно и до предельного износа детали. Таким образом, равномерное изнашивание с закрепляемой деталью достигалось за счет твердости, сопоставимой с основной деталью.

Для получения требуемой величины упрочненного слоя были подобраны оптимальные параметры индукционного нагрева. Частота генератора влияет на глубину проникновения тока в металл, чем она выше, тем ниже глубина, а мощность установки определяет зону термического влияния, возникающую из-за теплоотвода с поверхности детали. Таким образом, был выбран высокочастотный генератор с большой мощностью, который обеспечил упрочненный слой в 5–8 мм. Выбранные параметры установки позволили получить требуемое распределение твердости по сечению головки и ножке болта (рис. 5).

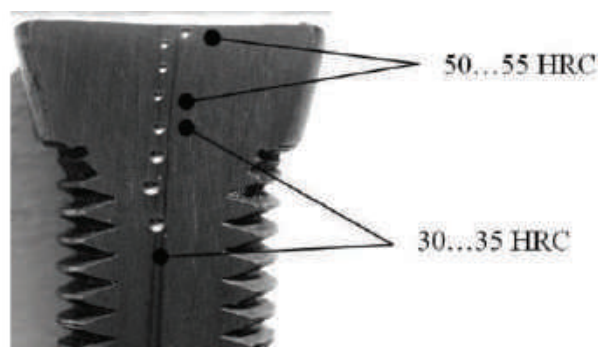


Рис. 5. Распределение твердости по сечению крепежного элемента после локальной закалки с отпуском

После локального упрочнения гомогенная микроструктура болта меняется на макрогетерогенную, следовательно, изменяются механические характеристики. Поэтому упрочненные крепежные элементы были подвергнуты прочностным испытаниям. Согласно требованиям стандарта, крепежный элемент соответствует своему классу прочности, если в ходе испытаний на растяжение произойдет разрушение по стержню болта или на резьбовой части будет наблюдаться срез нескольких витков резьбы, дополнительно определяющими будут параметры относительного удлинения δ в %, предела текучести. Болт считается не прошедшим испытание, если разрушение произошло в месте соединения резьбовой части и головки болта, вне зависимости от приложенной нагрузки. Проведение прочностных испытаний не требует изготовления специальных образцов, так как стандарт допускает определение механических параметров изделия, используя реальные детали. С целью определения класса прочности болтов, которые прошли термическое упрочнение, изготовлено специальное устройство. Это устройство представляло собой набор из двух патронов, в которые закладывались шайбы, имеющие отверстия, профилированные под диаметр резьбы и форму головки болта. Крепежный элемент, закрепленный в двух шайбах, помещался в патрон, после чего положение испытуемого болта фиксировалось крышками, которые закреплялись при помощи четырех болтов М12. Собранное устройство устанавливалось в разрывную машину, растягивающая нагрузка на образец передавалась при помощи двух хвостовиков, расположенных в патронах и в захватах машины (рис. 6).

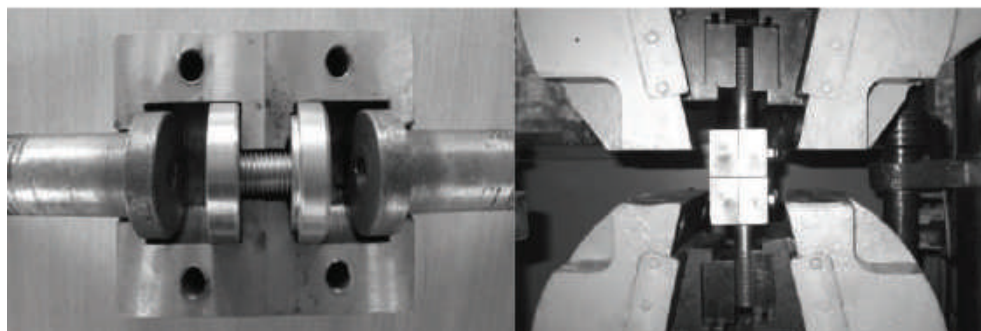


Рис. 6. Оснастка для механических испытаний на разрыв крепежных элементов

Нагрузка подавалась плавно, с постоянной скоростью не более 10 кг/с, чтобы исключить преждевременное разрушение образца, а также с целью получения более точной и четкой кривой растяжения. Испытанию была подвергнута партия болтов в количестве 30 штук по 5 образцов на один вид обработки. Базой для сравнения результатов служили образцы, изготовленные штамповкой с термической обработкой, а также крепеж, полученный холодной штамповкой (параметры представлены в таблице).

Разрушение испытуемых образцов происходило по телу крепежной части болта при нагрузках, соответствующих 6 и 12 классу прочности. Однако болты, выполненные из стали 40Х, имеющие структуру сорбита по сечению, не прошли испытание. С повышением нагрузки происходило

деформирование конусной головки болта, ее сжатие, и в результате на значении 72 кН болт протягивался через шайбу без разрушения. Этот эффект, скорее всего, можно объяснить лишь конусной формой головки болта, которая имеет малую опорную площадь. Упрочненные крепежные элементы достигли максимальной нагрузки до разрушения, которая составила 82 кН, при этом изменения геометрических размеров головки болта не наблюдалось. Относительное удлинение, характеристика пластичности, составило от 16 % на образцах стали 20 и 10,5 % на стали 40X. Полученные значения δ соответствуют табличным параметрам из ГОСТ ISO 898-1-2014 в соответствии с временным сопротивлением (табл. 1).

Таблица 1. Механические параметры упрочненных крепежных элементов

Марки стали	Обработка	Структура по сечению болта		Упрочненный слой, мм	Твердость, HRC	Предел прочности болта σ_b , МПа	Относительное удлинение после разрыва δ , %
		резьбовая часть	головка				
углеродистая (10, 20)	штамповка	феррит и перлит	феррит и перлит	–	20	600	16
углеродистая (10, 20)	штамповка, ЭХТО, поверхностная закалка и при 180 °С отпуск	феррит и перлит	легированный азотом мартенсит	0,1-0,6	60...63	600	16
			мартенсит	min 5	25...30		
углеродистая (10, 20)	штамповка, закалка и отпуск	феррит и перлит	мартенсит, феррит и перлит	min 5	25...30	600	17
легированная (40X)	штамповка, закалка и отпуск	сорбит или троостит	сорбит или троостит	–	30...35	72 кН произошло вытягивание головки болта	0
легированная (40X)	штамповка, закалка и отпуск, поверхностная закалка и отпуск	сорбит или троостит	мартенсит	max 8	50...55	1200	10,5

Испытания болтов, упрочненных при помощи ЭХТО, показали, что при нагрузках 35 кН и 60 кН для сталей 20 и 40X соответственно происходит срез трех-четырех витков резьбы. Разупрочнения на болтах из стали 20 не наблюдалось, а болты из 40X становились менее прочными, это вызвано значительной зоной термического влияния при ЭХТО, в результате чего изменялась микроструктура резьбовой части с троостита на феррито-перлитную смесь, которая имеет меньшее значение сопротивления разрыву (рис. 7).



Рис. 7. Вид разрушения крепежных элементов: а – 1 – болт стандартный из стали 40X; 2 – ЭХТО + термообработка (ТО); 3 – закалка + низкий отпуск (Н.О.); б – 1 – болты стандартные из стали 20; 2 – ЭХТО + ТО; 3 – закалка + Н.О.

Таким образом, стандартные испытания крепежных элементов позволили установить, что изготовление износостойкого крепежа с высокими показателями прочности и пластичности резьбовой части в сочетании с требуемыми трибологическими свойствами технически возможно.

На следующем этапе работы была изучена абразивная износостойкость головок крепежных болтов. Для этого была создана лабораторная установка для испытаний в среде незакрепленного абразива (рис. 8).

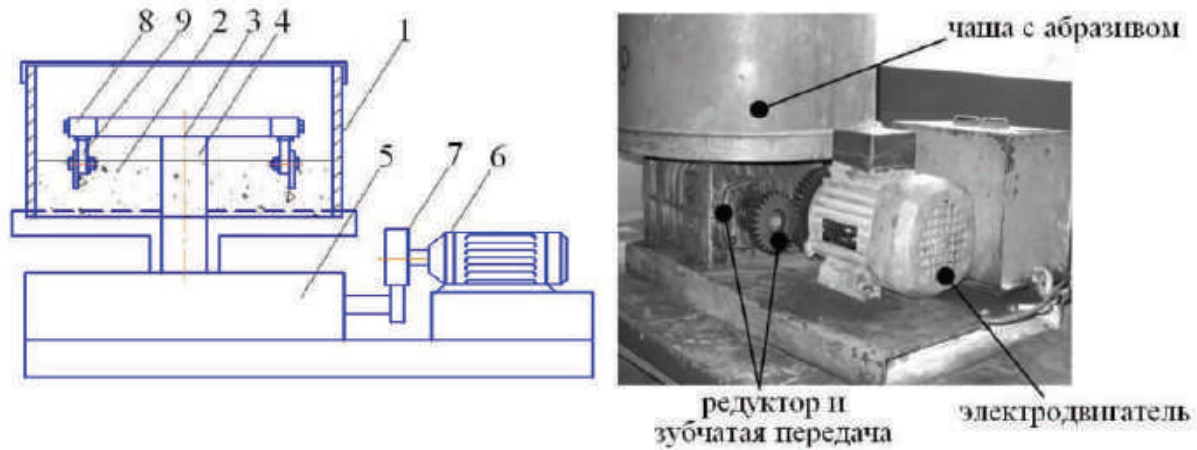


Рис. 8. Установка для испытаний на трение и износ в условиях абразивного воздействия: 1 – чаша; 2 – абразив; 3 – ротор; 4 – вал; 5 – редуктор; 6 – двигатель; 7 – передача; 8 – держатель; 9 – стержень

В установке предложенной конструкции можно изменять угол атаки, применять абразивные среды различного гранулометрического состава, использовать среды с различной влажностью, плотностью и твердостью абразивных частиц для обеспечения более реальной картины износа деталей, работающих в абразивной среде. В ходе лабораторных исследований каждый образец подвергался шестичасовому испытанию в абразивной массе, состоящей из кварцевого песка и карбида кремния на пути трения 17 000 м.

После этапа приработки интенсивность изнашивания испытуемых образцов стабилизировалась. Потеря массы образцами составляет 0,004–0,231 грамм (рис. 9). Очевидно, что закаленные и нитроцементованные слои меньше поддаются износу, чем детали без упрочнения. Упрочненные крепежные элементы изнашивались в 1,6 раза менее интенсивно, чем серийно выпускаемые.

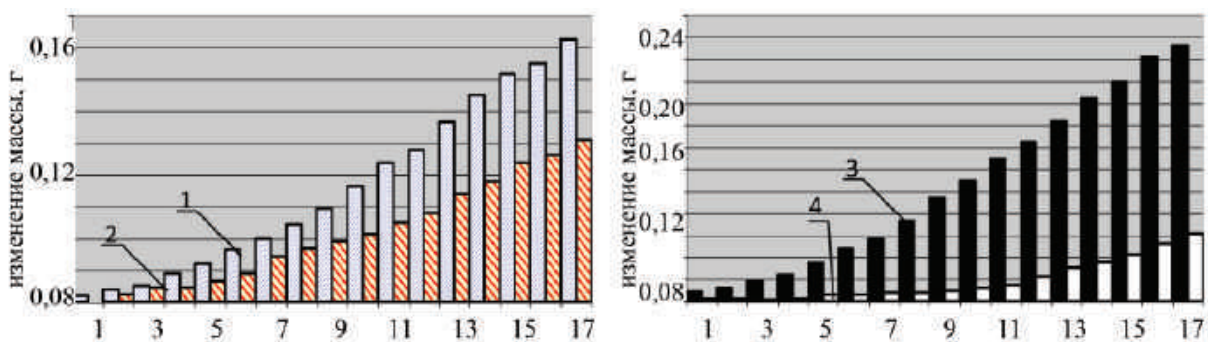


Рис. 9. Гистограмма износа образцов болтов: 1 – улучшение; 2 – закалка; 3 – высадка; 4 – нитроцементация из паст

Таким образом, благодаря локальному упрочнению удалось сформировать на крепежном элементе дисперсные микроструктуры, обеспечивающие требуемые износостойкость и прочность готового изделия. Проведенные испытания в соответствии с ГОСТ ISO 898-1-2014 подтвердили, что упрочненный крепеж соответствует классам прочности 6 и 12. Износостойкость повысилась в 1,6 раз относительно стандартных болтов.

Были проведены полевые испытания упрочненных деталей. Общая наработка составила 405 га. Наибольший эффект [2] повышения долговечности изделий зафиксирован на тяжелых суглинистых и супесчаных почвах, оказывающих сильное абразивное воздействие (табл. 2).

Таблица 2. Результаты полевых испытаний болтов для крепежа деталей корпусов плугов

Плуг	Средний износ, мм		Относительное повышение ресурса упрочненной детали
	длина	толщина	
Болт для крепежа долот			
ППН.8.30/50 – 308	4,4	–	–
ППН.8.30/50 – 308 У	2,6	–	1,7–1,26
Болт для крепежа груди отвала			
ППН.8.30/50 – 306	0,7	–	–
ППН.8.30/50 – 306 У	0,4	–	1,75
Болт для крепежа полевой доски			
ППН.8.30/50 – 307	0,1	–	–
ППН.8.30/50 – 307 У	0,05	–	2,0

Заключение

Предложен оригинальный способ получения высокопрочного крепежа, способного работать в условиях абразивного изнашивания. Испытания в соответствии с ГОСТ ISO 898-1-2014 показали, что благодаря локальному упрочнению крепеж имеет механические характеристики, соответствующие классам прочности 6 и 12. Разработана специальная оригинальная установка для испытания на трение и износ в условиях интенсивного абразивного воздействия. Установка позволяет максимально приблизить лабораторные испытания к реальным условиям эксплуатации крепежных элементов, работающих в абразивной среде. Износостойкость в среде незакрепленного абразива крепежных элементов после упрочнения возросла в 1,6 раза по сравнению с серийно выпускаемым крепежом.

Полевые испытания на ГУ «БелМИС» показали увеличение ресурса эксплуатации болтов в 1,7–2,0 раза относительно серийно выпускаемых изделий. Износостойкий крепеж обеспечил согласованный ресурс пары «деталь-болт», который лимитировался сроком работы закрепляемой детали.

Список используемых источников

1. Константинов, В. М. Электрохимикотермическая обработка крепежных элементов почвообрабатывающих машин / В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, И. С. Сушко // *Металлургия : республ. межведом. сб. науч. тр.* / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2008. – Вып. 31. – С. 358–371.

2. Константинов, В. М. Комплексное обеспечение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга поверхностным и объемным упрочнением быстроизнашиваемых деталей / В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, В. Г. Щербатов // *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.

В. М. Константинов¹, Г. А. Ткаченко², В. В. Голдыбан³

¹ *Белорусский национальный технический университет*
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: materialovedenie@tut.by

² *Белорусский государственный университет*
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: hleb_tkachenko@mail.ru

³ *РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОЗАТАЧИВАНИЯ НАПЛАВКОЙ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

Аннотация. Представлены результаты изучения самозатачивания наплавленных плужных лемехов. Представлены материаловедческие резервы обеспечения самозатачивания за счет регулирования износостойкости наплавленного слоя и стальной основы. Показано, что применение борсодержащих сплавов высокой абразивной износостойкости позволяет повысить твердость стальной основы и обеспечить повышение общего ресурса наплавленного лемеха.

Отмечено, что существенным фактором реализации эффекта самозатачивания плужных лемехов является стабильность обрабатываемого почвенного слоя. Разнообразие почвенных условий Беларуси, даже в пределах одного региона, создает определенные сложности реализации самозатачивания. Наиболее эффективно применение наплавленных плужных лемехов в условиях стабильного состава тяжелых почв с высоким абразивным воздействием.

Ключевые слова: наплавка износостойких борсодержащих материалов, самозатачивание, повышение твердости и износостойкости, ресурс эксплуатации плужных деталей.

V. M. Konstantinov¹, H. A. Tkachenko², V. V. Goldyban³

¹ *Belarusian National Technical University*
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: materialovedenie@tut.by

² *Belarusian State University*
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: hleb_tkachenko@mail.ru

³ *RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru

SELF-SHARPENING PROVIDING BY SURFACING PLOWSHARES

Abstract. The results of the study of self-sharpening of surfaced plowshares are presented. The material science reserves for ensuring self-sharpening by regulating the wear resistance of the deposited layer and the steel base are presented. It is shown that the use of boron-containing alloys, high abrasive wear resistance makes it possible to increase the hardness of the steel base and ensure an increase in the total life of the deposited plowshare.

It is noted that a significant factor in the realization of the self-sharpening effect of plowshares is the stability of the treated soil layer. The variety of soil conditions in Belarus, even within the same region, creates certain difficulties in the implementation of self-sharpening. The most effective use of surfaced plowshares is in conditions of stable composition of heavy soils with high abrasive impact.

Keywords: surfacing of wear-resistant boron-containing materials, self-sharpening, increasing hardness and wear resistance, service life of plow parts.

Введение

Плужные лемеха (ПЛ) являются быстро изнашиваемыми деталями, работающими в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Ужесточение режимов эксплуатации при агрегатировании с современными тракторами сопровождается увеличением рабочих скоростей и нагрузок на рабочие поверхности, а следовательно, и увеличением интенсивности изнашивания. Кроме того, большая часть пашни Республики Беларусь обладает высокой изнашивающей способностью. Все перечисленные факторы обуславливают актуальность повышения долговечности плужных лемехов. Существенным аспектом долговечности является обеспечение самозатачивания в процессе работы.

Основная часть

Факторы, определяющие самозатачиваемость лезвия ПЛ в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Принцип действия самозатачивающегося лезвия известен давно. Так, например, в работах Рабиновича А.Ш. [1, 2] указано: «Такое лезвие состоит из двух слоев, материалы которых значительно отличаются по износостойкости. Режущий слой, толщина которого устанавливается в зависимости от агротехнических требований к детали, делается из более износостойкого материала. Второй слой из относительно мягкого, вязкого материала является несущим; его назначение – предохранять режущий слой от поломок. Износостойкий слой во время работы лезвия должен постоянно выступать на лезвии и резать почву (сорные растения или другие сельскохозяйственные материалы)». Создание самозатачивающихся лемехов и других режущих деталей основано на правильном подборе параметров лезвия для разных условий его работы. Масштабные исследования, проведенные ГОСНИТИ, позволили установить зависимости угла самозатачивания лезвия от величины комплексного параметра самозатачиваемости ω , определяемого по формуле (1):

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 \times h_2}{\varepsilon_1 \times h_1}, \quad (1)$$

где ω – критерий самозатачиваемости лезвия ПЛ, зависящий от типа обрабатываемой почвы; ε_1 – абразивная износостойкость основного материала лезвия; ε_2 – абразивная износостойкость упрочняющего слоя лезвия; h_1 – толщина основного слоя лезвия, мм; h_2 – толщина упрочняющего слоя лезвия, мм.

Условие (1) можно представить в показателях массового износа:

$$\omega = \frac{i_1 \times h_2}{i_2 \times h_1}, \quad (2)$$

где i_1 – массовый износ основного материала лезвия, г; i_2 – массовый износ материала упрочняющего слоя лезвия, г.

Следует отметить, что возможности для обеспечения самозатачиваемости лезвия ПЛ несколько ограничены. Толщина основного слоя лезвия определена конструкцией ПЛ, также ограничены возможности существенного изменения износостойкости (рис. 1).

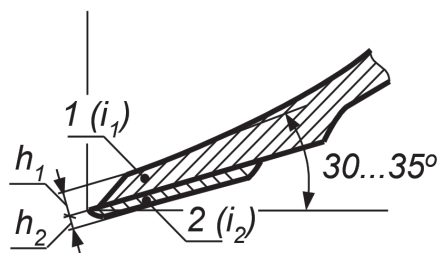


Рис. 1. Схема работы двухслойного лезвия ПЛ: 1 – основной (несущий) слой лезвия; 2 – наплавленный (упрочняющий) слой лезвия; i_1 – массовый износ основного металла лезвия, г; i_2 – массовый износ материала упрочняющего слоя, г

Абразивную износостойкость стальной основы ПЛ возможно изменить термической обработкой, а толщину упрочняющего слоя ПЛ обеспечить способом его формирования. Очевидно, что наибольшие перспективы для обеспечения условия (2) представляются достижением необходимой (высокой) абразивной износостойкости упрочняющего слоя лезвия за счет оптимального выбора наплавочного сплава и режимов термической обработки основного материала.

Механический состав почв и размер гранул частиц являются ведущими факторами, влияющими на степень изнашивания материалов при обработке той или иной почвы. Советскими учеными ведущих сельскохозяйственных институтов на основе широкомасштабных полевых испытаний ПЛ и сопутствующих исследований были установлены относительные коэффициенты изнашивающего воздействия почв (табл. 1.). Широкий диапазон значений коэффициентов изнашивания объясняется влиянием влажности почвы на ее режущую способность. Как правило, с увеличением влажности почвы ее изнашивающая способность снижается.

Оптимальные значения критерия самозатачиваемости ω , при которых, согласно данным ГОСНИТИ, обеспечивается реализация эффекта самозатачивания лезвия ПЛ, представлены в табл. 2.

Таблица 1. Относительный коэффициент изнашивающего воздействия почв

Почвы	Максимальная молекулярная влагоемкость	Относительный коэффициент изнашивающего воздействия почв
Песок и легкая супесь	<5	>44,2
Тяжелая супесь	5...8	44,2...19,6
Легкий суглинок	8...12	19,6...7,0
Средний суглинок	12...16	7,0...2,6
Тяжелый суглинок	16...24	2,6...1,0
Глина	>24	1,0

Таблица 2. Приблизительные оптимальные значения критерия самозатачиваемости ω

Почвы	Значения ω
Песок и легкая супесь	6,0
Тяжелая супесь	5,0
Легкий суглинок	4,0
Средний суглинок	3,0
Тяжелый суглинок	2,0
Глина	1,5

Опыт упрочнения наплавкой плужных лемехов. Значительную часть пахотного фонда Республики Беларусь составляют почвы с высокой изнашивающей способностью: тяжелые супеси (34% от общей площади пахотных земель), легкие суглинки (25%) и средние суглинки (27%). Таким образом, разработка технологии упрочнения и ее практическое применение весьма актуальны для республики.

В статье описан авторский опыт изучения самозатачивания наплавленных ПЛ.

Общеизвестна эффективность [3–11] упрочнения ПЛ наплавкой износостойкими сплавами, позволяющей значительно увеличить долговечность за счет высокой износостойкости рабочих поверхностей. Широкое применение получили технологии индукционной (НПО «Анитим», «Алтайсельмаш», Россия; ПО «Одессапочвомаш», Украина) и электродуговой (ВНИИТУВИД «Ремдеталь», Россия; «International Harvester», США; «Rabewerk», Германия и др.) наплавки ПЛ. В Беларуси также были созданы технологии упрочнения ПЛ намораживанием и путем погружения разогретой заготовки в порошкообразную шихту и последующего ее оплавления (УО «БГАТУ», ОИМ НАН Беларуси).

Особенностями авторской разработанной технологии индукционной наплавки ПЛ явилось применение специально синтезированных наплавочных борсодержащих сплавов из стальной и чугуновой стружки, а также согласованная термическая обработка стальной основы и наплавленного слоя (рис. 2). Возможность изменения химического состава наплавленного слоя в широком

диапазоне концентраций позволила получить различное соотношение износостойкости стальной основы и наплавки для детального изучения возможностей самозатачивания.



Рис. 2. Макрошлиф наплавленного плужного долота (производство Минского завода шестерен)

Результаты полевых испытаний ПЛ

Для оптимизации геометрических параметров лезвия в различных почвенно-климатических условиях и определения эксплуатационных характеристик ПЛ были проведены полевые испытания в различных почвенно-климатических условиях при вспашке старопахотных супесчаных, суглинистых и торфянистых почв [12].

Было установлено, что линейный износ ПЛ, наплавленных борсодержащим авторским сплавом с последующей термической обработкой, в 2,43 раза меньший, чем стандартных ПЛ из стали Л53, и в 1,8 раз меньший, чем износ ПЛ, наплавленных сормайтотом. Режущая кромка лезвия упрочненного ПЛ оставалась острой в течение всего периода испытаний, что и обусловило стабильное качество вспашки, отмеченное механизаторами-испытателями. Угол клина лезвия составил 32...35 градусов, что совпадает с известными данными других исследователей. Профилирование лезвий ПЛ в период их испытаний позволило установить реализацию эффекта самозатачивания лезвий (рис. 3).

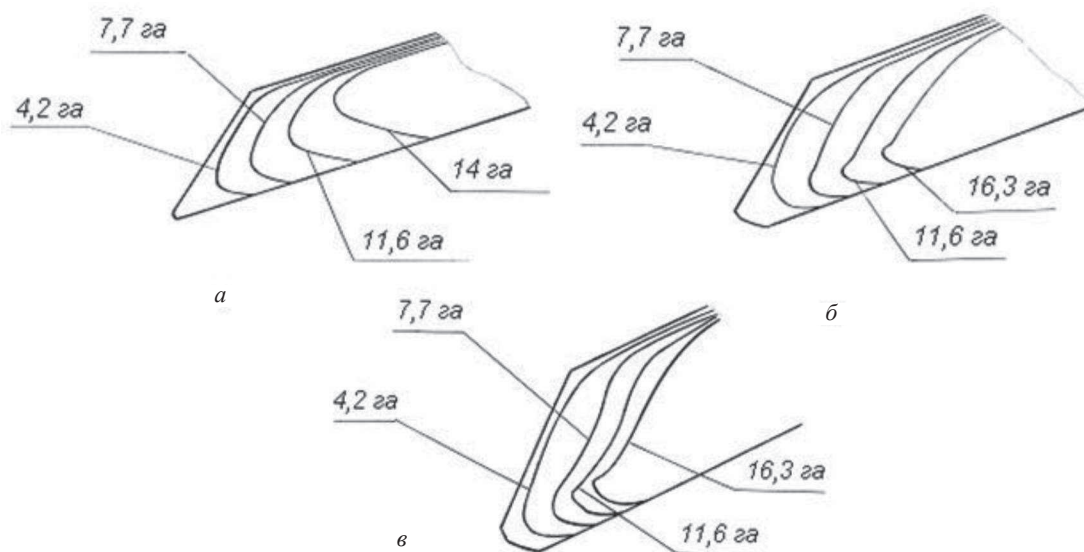


Рис. 3. Изменение профилей лезвий ПЛ в процессе работы: а – стандартный ПЛ из стали Л53; б – ПЛ с наплавкой сормайтот ПГ-С1; в – ПЛ с наплавкой борсодержащим порошком

После периода приработки, составляющего 4,2...7,7 га вспашки, профиль лезвия упрочненного ПЛ стабилизируется, наплавленный слой выступает на режущей кромке, а на слое основного металла образовывается верхняя фаска, отклоненная назад под острым углом. Оптимальные режимы термической обработки ПЛ не позволили наплавленному слою выступать из-под несущего слоя основного металла более чем на 2...3 мм, вследствие чего не происходила «отломка» слоя твердого сплава.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что упрочнение ПЛ трапецидального типа, устанавливаемых на плугах с долотом, еще более эффективно. В этом случае большую часть нагрузки воспринимает долото, а лезвие ПЛ изнашивается в менее жестких условиях и приращение износо-

стойкости по отношению к закаленной стали более существенно. Долговечность упрочненных ПЛ в 4...6 раз выше, чем неупрочненных ПЛ. Результаты полевых испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Долговечность ПЛ при полевых испытаниях

Тип ПЛ	Тип почв	Долговечность ПЛ		S_2/S_1
		стандартных S_1	упрочненных S_2	
П702	супесчаные	13	23 (20)*	1,8 (1,5)
ПГ03.00	супесчаные	20	73	3,7
П702	суглинистые	10	40	4,0
ПГ03.00	суглинистые	18	60	3,3
ПГ03.00	суглинистые	13	63	4,8
ПГ03.00	суглинистые	10	48	4,8
ПГ03.00	суглинистые	11	50	4,5
ПГ03.00	суглинистые	12	52	4,3
ПГ03.00	суглинистые	12	50	4,2

* В скобках указана долговечность ПЛ, упрочненных сормайтотом У30Х28Н4С4

Очевиден факт значительного повышения (в 1,8...4,8 раза) долговечности ПЛ, упрочненных наплавкой борсодержащими сплавами с последующей термической обработкой (S_2). Эффективным оказалось упрочнение ПЛ, обрабатывающих суглинистые почвы, характеризующиеся пониженной изнашивающей способностью. Это обусловлено тем, что эксплуатирующиеся в данных почвенно-климатических условиях стандартные ПЛ не вырабатывают свой ресурс по износостойкости до конца, а преждевременно выбраковываются по причине катастрофического затупления лезвия и необеспечения технологических характеристик вспашки (рис. 3, а). В то же время упрочненные ПЛ вследствие реализации эффекта самозатачивания лезвия не теряют работоспособность на протяжении всего периода эксплуатации и обеспечивают стабильные тяговые показатели и качество вспашки (рис.3, б, в).

Заключение

Уточнены условия самозатачивания наплавленных плужных лемехов. Представлены материалы резервы обеспечения самозатачивания за счет регулирования износостойкости наплавленного слоя и стальной основы. Применение борсодержащих сплавов, имеющих экстремально высокую абразивную износостойкость, позволяет повысить твердость стальной основы и обеспечивает повышение общего ресурса наплавленного лемеха.

Использование для упрочнения плужных лемехов наплавки и термической обработки позволяет отказаться при их изготовлении от традиционно применяемой стали 65Г в пользу более доступных среднеуглеродистых сталей. В этом случае возможно рациональное разделение функций между основным и упрочняющим слоем лемеха. Сталь основного слоя обеспечивает конструктивную прочность детали, а наплавленный слой – высокую абразивную износостойкость

Существенным фактором реализации эффекта самозатачивания плужных лемехов является стабильность обрабатываемого почвенного слоя. Разнообразие почвенных условий Беларуси, даже в пределах одного региона, создает определенные сложности реализации самозатачивания. Наиболее эффективно применение наплавленных плужных лемехов в условиях стабильного состава тяжелых почв с высоким абразивным воздействием. Для легких условий почвообработки (культивирование и др.) целесообразно применять другие приемы самозатачивания.

Список использованных источников

1. Рабинович, А. Ш. Элементарная теория и методика проектирования самозатачивающихся почворезущих лезвий // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 10. – С. 24–27.
2. Рабинович, А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. – М.: Бюро технической информации ГОСНИТИ, 1962. – 106 с.
3. Каплун, Г. П. Вопросы долговечности деталей плуга // Вопросы сельскохозяйственной механики / Под ред. М. Е. Мазепуро, Б. Н. Янушкевича. – Минск: Гос. изд-во с.-х. литры БССР, 1962. – Т. 8. – Гл. 3. – С. 102–168.

4. Бетень, Г. Ф. Повышение долговечности почворезущих элементов сельскохозяйственной техники наплавкой, намораживанием. – Минск: БелНИИНТИ, 1986. – 44 с.
5. Products & Equipment [Электрон. ресурс] / John Deere Company. – Режим доступа: www.deere.com. – Дата доступа: 20.09.2022.
6. Product Areas [Электрон. ресурс]: Welcome to the Future of Farming / Kverneland Group. – Режим доступа: www.kvernelandgroup.com. – Дата доступа: 20.09.2022.
7. Produkte [Электрон. ресурс] / Rabe Agrarsysteme GmbH & Co. KG. – Режим доступа: www.rabe-agrarsysteme.com. – Дата доступа: 20.09.2022.
8. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В. П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
9. Жабуренок, С. Н. Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугуновой стружки и последующей термической обработкой: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Полоцкий гос. ун-т. – Новополоцк, 2004. – 20 с.
10. Константинов, В. М. Повышение износостойкости при упрочнении плужных лемехов диффузионно-легированной чугуновой стружкой / В. М. Константинов, Ф. И. Пантелеенко, С. Н. Жабуренок // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 5. – С. 17–20.
11. Константинов, В. М. Борсоудержающие сплавы для защитных покрытий из металлоотходов: ресурсосберегающий потенциал разработки и применения // Механика машин, механизмов и материалов. 2014. – № 2. – С. 70–73.
12. 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.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 08.10.2022
Received 08.10.2022

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин

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

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА К ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕМУ АГРЕГАТУ ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Аннотация. В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию основных параметров волнистого диска к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях, учитывающие качество и надежность технологического процесса, выполняемого диском при обработке верхнего слоя почвы.

Ключевые слова: дисковый рабочий орган, параметры, диаметр диска, ширина захвата, количество волн, растительные остатки.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin

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

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE DISK WORKING BODY TO THE SOIL-CLOWING UNIT FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS

Abstract. The article presents the results of theoretical studies on the justification of the main parameters of the wavy disk to the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands, taking into account the quality and reliability of the technological process performed by the disk when processing the topsoil.

Keywords: disk working body, parameters, disk diameter, capture width, number of waves, plant residues.

Введение

Ранее проведенные исследования [1] показали, что при обработке почвы на склонах обеспечить оптимальные условия для роста и развития растений и одновременно предотвратить развитие эрозионных процессов возможно путем применения почвообрабатывающего агрегата для основной безотвальной обработки почвы, обеспечивающего за один проход по полю выполнение таких влагосберегающих приемов обработки почвы, как чизелевание, глубокое рыхление почвы и мульчирование верхнего слоя почвы растительными остатками. При этом установлено, что предлагаемый для этих целей агрегат должен включать последовательно установленные дисковые, рыхлительные и прикатывающие рабочие органы [2]. Проведенный анализ существующих конструкций дисковых рабочих органов [3, 4] позволил установить тип дискового рабочего органа, наиболее приемлемого для использования в новом агрегате. В качестве такого органа был выбран рабочий орган в виде волнистого диска. Наряду с этим также было установлено, что среди волнистых дисков наибольший интерес представляют диски, у которых искривление волны идет не от центра диска, а на некотором расстоянии по радиусу и под углом к нему. Такая особенность диска позволяет заглубляться волне диска в почву вертикально, а выглубляться горизонтально. Это обеспечивает наилучшие результаты измельчения растительных остатков, сосредоточенных в валках и небольших скоплениях на поле. Вместе с тем известные конструкции дисковых рабочих органов, а это в основном конструкции зарубежных производителей, не в полной мере учитывают особенности условий республики. Поэтому, как показывает практика, при их необоснованном выборе могут возникать такие проблемы, как неполное подрезание и измельчение сорняков и пожнивных остатков; сгуживание солоmistых и пожнивных остатков перед дисками; забивание рабочих органов почвой и растительными остатками; недостаточное крошение почвы. Поэтому для успешной разработки новых машин с дисковыми рабочими органами волнистого типа, в том числе и агрегата для защиты почв от водной эрозии, необходимо провести теоретические, а затем и экспериментальные исследования по обоснованию параметров дискового рабочего органа с учетом недопущения указанных недостатков.

Цель данной статьи – теоретическое обоснование основных параметров дискового рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях в условиях Республики Беларусь.

Основная часть

Исходя из ранее проведенных исследований [2–4], дисковый рабочий орган к агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях должен состоять из волнистого диска 1 (рис. 1), закрепленного на ступице 2. При этом основание волны 3 должно начинаться на расстоянии A по радиусу R , равном половине диаметра ступицы 2, и под углом к нему, равным 90° .

Основными параметрами дискового рабочего органа, представленного на рис. 1, которые могут влиять на качество его работы (перерезание растительных остатков, глубина обработки, степень крошения) и надежность технологического процесса (забивание почво-растительной массой, сгуживание солоmistых и пожнивных остатков перед дисками), являются: диаметр диска D , количество волн n и ширина захвата B . Поэтому методический подход к расчету и сам расчет параметров диска должны учитывать это обстоятельство.

В связи со сказанным одной из задач, которую должен решать дисковый рабочий орган, является перерезание им стеблей растительных остатков.

Необходимым условием перерезания стеблей 1 является их защемление в створе γ , образуемом поверхностью поля и касательной ($a-a$) к периметру диска 2 в точке (А) контакта его со стеблем (рис. 2).

Известно [5], что стебли защемляются диском при выполнении двух условий:

- 1) угол γ должен уменьшаться;
- 2) величина угла γ должна удовлетворять условию [5]:

$$\gamma \leq \varphi_1 + \varphi_2, \quad (1)$$

где φ_1 – угол трения стебля о лезвие диска, град; φ_2 – угол трения стебля о почву, град.

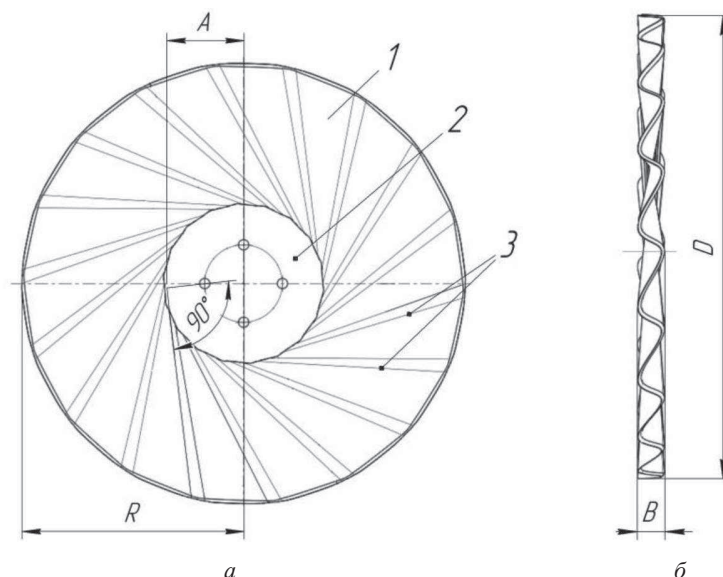


Рис. 1. Дискový рабочий орган волнистого типа: *a* – вид сбоку; *б* – вид спереди

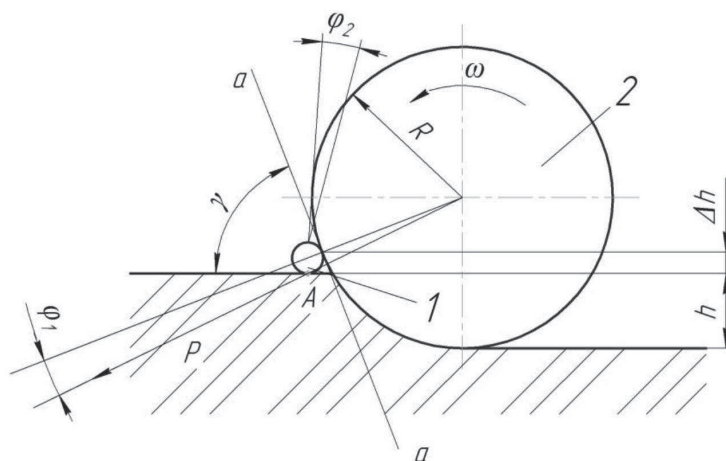


Рис. 2. Схема к определению резания растительных остатков диском рабочего органа:
1 – стебель; 2 – волнистый диск

В нашем случае первое условие выполняется, так как диск вращается со скоростью ω по направлению движения v .

Для выполнения второго условия из рис. 2 определим радиус диска с учетом неравенства (1):

$$R = (h + \Delta h) / [1 - \cos(\varphi_1 + \varphi_2)], \quad (2)$$

где h – глубина хода диска, м; Δh – расстояние от поверхности поля до точки А (определяется диаметром поперечного сечения стебля).

Из уравнения (2) также можно определить допустимую глубину обработки почвы, при которой диск будет перерезать растительные остатки:

$$h \leq R[1 - \cos(\varphi_1 + \varphi_2)]. \quad (3)$$

Определим необходимый диаметр диска при следующих агротехнических требованиях:

- глубине обработки $h = 0,12$ м;
- диаметре растительных остатков $\Delta h = 0,05$ м.

Примем угол трения стебля о сталь $\varphi_1 = 30^\circ$, а угол трения стебля о почву $\varphi_2 = \varphi_1$, хотя он больше φ_1 – тем самым ужесточим условия резания. Из уравнения (2) определим радиус диска, который должен быть $R \geq 0,3$ м и диаметр $D \geq 0,6$ м.

Для обоснования количества волн и ширины захвата диска выделим на его поверхности характерный для волнистого диска элемент, который в первом приближении можно представить в виде треугольной пирамиды (рис. 3), основанием которой будет являться равнобедренный треугольник DCE , а боковыми гранями треугольники ADE , AEC и ADC . При этом два первых треугольника будут рабочими, а третий, ADC – мнимый.

В соответствии с рис. 3 угол β и сторона основания a при определенном диаметре D определяют количество волн в диске:

$$n = \frac{\pi D}{l} = \frac{\pi D}{2a \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (4)$$

где a – основание волны диска, м.

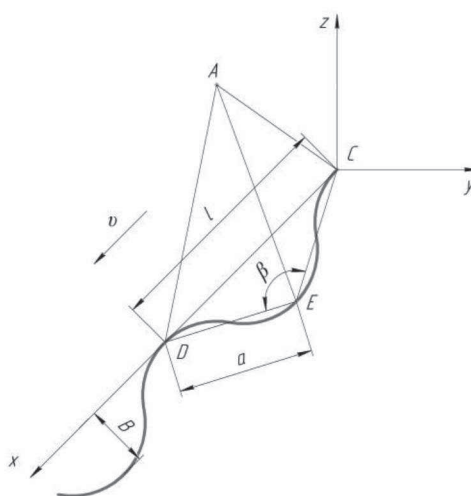


Рис. 3. Схема рабочего элемента волнистого диска

Ширина захвата B определяется по формуле:

$$B = a \cos\left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (5)$$

При этом

$$\sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (6)$$

Тогда получаем:

$$B = \frac{\pi D}{2n \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (7)$$

Анализ соотношения (7) показывает, что основные параметры диска (B , D , n) связаны так, что изменение одного из них приводит к пропорциональному изменению другого параметра при постоянстве третьего. Поэтому если найти, например, функциональную зависимость между двумя какими-либо параметрами при определенных условиях работы диска, то по соотношению (7) можно установить значение третьего параметра.

Для исключения забивания волны почвой, обусловленного в основном силами прилипания, при повторном ее (волны) внедрении через оборот диска под действием сил сопротивления залипшая масса должна выдавливаться. Благодаря наличию свободного выхода в сторону мнимой грани волны выдавливание залипшей почвы наиболее вероятно тогда, когда силы сопротивления стремятся к своему максимуму, а это при $a = const$ возможно в случае, если:

$$S_{\Delta DCE} \rightarrow S_{\Delta DCE \max}, \quad (8)$$

где $S_{\Delta DCE \max}$ – площадь треугольника (рис. 3), м².

Поскольку

$$S_{\Delta DCE} = 0,5a^2 \sin \beta. \quad (9)$$

При $\beta = \pi/2$ или $\beta > (\pi/2)\sin\beta > 1$ получим

$$S_{\Delta DCE} = S_{\Delta DCE \max}. \quad (10)$$

Таким образом, угол при вершине основания волны β из условия обеспечения самоочистки следует выбрать 90° . Так как ширина захвата диска B связана со стороной основания волны a соотношением (5), то при угле $\beta = 90^\circ$ получаем

$$B = \frac{a}{\sqrt{2}}. \quad (11)$$

В соответствии с агротребованиями на почвообрабатывающие машины [5], после прохода дисковых рабочих органов наличие в почве комочков диаметром $d_k \leq 0,05$ м должно быть не менее 80 %. При использовании волнистого диска существенное влияние на этот показатель оказывает то, что в процессе обработки почвы таким диском попавшие в межэлементное (межволновое) пространство комки почвы не подвергаются удару, а поэтому могут оказаться неразрушенными. Чтобы такие комки почвы можно было разрушить соседним диском или другим рабочим органом, их необходимо сдвинуть в сторону под удар другого рабочего органа. В волнистом диске с углом $\beta = 90^\circ$ это возможно, когда [6]:

$$a \leq 1,71d_k, \quad (12)$$

где d_k – диаметр комка, принятый в виде шара.

Тогда, с учетом сказанного для $d_k = 0,05$ м, $a = 0,0855$ м. Подставив значения $a = 0,0855$ м, $D = 0,6$ м, $\beta = 90^\circ$ в формулу (4), получим количество волн $n = 16$ шт., и далее, подставив в формулу (7) значение $n = 16$, получим ширину захвата диска $B = 0,0588$ м.

Поскольку представленный в данной статье расчет основных параметров диска является приблизительным, то окончательное решение по выбору параметров необходимо принимать после их экспериментальной проверки.

Заключение

1. Предложен методический подход к теоретическому обоснованию параметров дискового рабочего органа, учитывающий качество его работы и надежность выполняемого им технологического процесса.

2. Теоретически обоснованы параметры дискового рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагосбережения на склоновых землях при глубине обработки 0,12 м. Установлено, что для перерезания растительных остатков диаметром до 0,05 м, исключения сгруживания, забивания волн диска почвой и обеспечения требуемого качества крошения почвы диск должен иметь диаметр 0,6 м, ширину захвата 0,0588 м и количество волн 16 шт.

Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Зубенко // 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. 131–137.
2. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.
3. Лепешкин, Н. Д. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. научн. ст. по материалам XXV Междунар. научн.-практ. конф. (Гродно, 23 марта 2022 г.) – Гродно: ГГАУ, 2022 – С. 89–91.
4. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа дискового рабочего органа почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин // 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. 148–157.
5. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
6. Обоснование типа и параметров заделывающих рабочих органов и конструктивной схемы сеялки зернотукотравяной для посева на склоновых землях. Исследование процессов подготовки почвы и механизированного посева семян многолетних трав на откосах мелиоративных каналов : отчет о НИР (заключительный) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. темы Н. Д. Лепешкин. – Минск, 2018. – 381 с. – № ГР 20161196.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 08.10.2022

Received 08.10.2022

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин

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

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИКАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ К ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕМУ АГРЕГАТУ ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Аннотация. В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию основных параметров опорно-прикатывающего и мульчирующего катков, входящих в состав почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

Ключевые слова: опорно-прикатывающий каток, мульчирующий каток, параметры, диаметр катка, зуб катка, планка катка, уплотнение почвы.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin

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

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE PACKING WORKING BODIES TO THE SOIL TREATMENT UNIT FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS

Abstract. The article presents the results of theoretical studies to substantiate the main parameters of the support and mulching rollers included in the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands.

Key words: backhoe roller, mulching roller, parameters, roller diameter, roller tooth, roller bar, soil compaction.

Введение

На основании ранее проведенных исследований [1, 2] установлено, что агрегат для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях с целью окончательного формирования влагонакопительного и влагозадерживающего слоя почвы наряду с дисковыми и рыхлительными рабочими органами должен содержать и прикатывающие рабочие органы, которые должны быть выполнены в виде блока прикатывающих катков и содержать последовательно установленные опорно-прикатывающий и мульчирующий катки. При этом опорно-прикатывающий каток должен быть кольчатого типа и состоять из полого цилиндра, на наружной поверхности которого должны равномерно располагаться зубчатые кольца. Мульчирующий каток должен быть планчатого типа и состоять из дисков, на наружной поверхности которых приварены планки, при этом планки должны быть наклонены к горизонту в поперечном направлении. Такое техническое решение позволит восстановить взрыхленную рыхлительными рабочими органами почву до оптимальной плотности, раздробить комья, выровнять поверхность почвы и окончательно сформировать на поверхности мульчирующий слой почвы и растительных остатков, причем предлагаемые катки должны работать без забивания и проскальзывания.

Обеспечить предъявляемые к каткам требования возможно только путем обоснованного определения его параметров, которое должно производиться на первом этапе теоретически, а затем окончательно приниматься после проведения экспериментальной проверки.

Цель статьи – теоретическое обоснование основных параметров прикатывающих рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

Основная часть

Общим основным параметром как опорно-прикатывающего, так и мульчирующего катков является их диаметр. Наряду с этим основными параметрами мульчирующего катка планчатого типа с наклонными к горизонту в поперечном направлении планками являются расстояние между планками, количество планок и угол наклона планок, а опорно-прикатывающего катка кольчатого типа с зубчатыми кольцами – количество зубьев на кольцах и расстояние между кольцами.

Обоснование диаметра опорно-прикатывающего и мульчирующего катков

Для эффективной работы прикатывающих катков необходимо, чтобы соблюдалось условие защемления почвенного комка 1 между поверхностью катка 2 и поверхностью почвы (рис. 1).

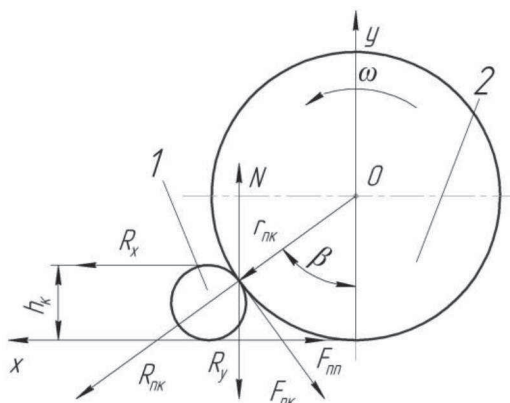


Рис. 1 Схема взаимодействия почвенного комка с прикатывающим катком:
 1 – почвенный комок; 2 – прикатывающий каток

Рассматриваемое условие имеет следующий вид, [3]:

$$R_x \leq F_{пн} + F_{пк} \cos \beta, \quad (1)$$

где R_x – горизонтальная составляющая силы давления прикатывающего катка на почвенный комок, Н; F_{mn} – сила трения между прикатывающим катком и поверхностью почвы, Н; $F_{нк}$ – сила трения между прикатывающим катком и комком почвы, Н; β – угол между направлением реакции комка почвы $R_{нк}$ и осью Oy , град.

Отдельные составляющие неравенства (1) определяются по выражениям:

$$R_x = R_{нк} \sin \beta; \quad (2)$$

$$F_{mn} = N \operatorname{tg} \varphi_{mn}; \quad (3)$$

$$F_{нк} = R_{нк} \operatorname{tg} \varphi_{нк}, \quad (4)$$

где $R_{нк}$ – результирующая сила действующая на комок от воздействия прикатывающего катка, Н; N – сила реакции комка почвы, Н; φ_{mn} – угол трения комка с почвой, град; $\varphi_{нк}$ – угол трения комка с поверхностью прикатывающего катка, град.

С учетом зависимостей (2) – (4) выражение (1) примет вид:

$$R_{нк} \sin \beta \leq R_{нк} (\operatorname{tg} \varphi_{mn} \cos \beta + \operatorname{tg} \varphi_{нк} \sin \beta \operatorname{tg} \varphi_{mn} + \operatorname{tg} \varphi_{нк} \cos \beta). \quad (5)$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} \beta \leq \operatorname{tg} (\varphi_{mn} + \varphi_{нк}). \quad (6)$$

Из неравенства (6) следует, что почвенный комок не будет протаскиваться по поверхности поля, а будет разрушен при условии

$$\beta \leq \varphi_{mn} + \varphi_{нк}. \quad (7)$$

Из рис. 1 следует, что:

$$\cos \beta = \frac{r_{нк} - h_{к}}{r_{нк}} = 1 - \frac{h_{к}}{r_{нк}}, \quad (8)$$

где $r_{нк}$ – радиус прикатывающего катка, м; $h_{к}$ – высота почвенного комка, м.

Значение $\operatorname{tg} \beta$ с учетом (8) определим по выражению:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{r_{нк}^2 - (r_{нк} - h_{к})^2}}{r_{нк} - h_{к}}. \quad (9)$$

Приравнивая выражения (6) и (9), получаем:

$$\operatorname{tg} (\varphi_{mn} + \varphi_{нк}) = \frac{\sqrt{r_{нк}^2 - (r_{нк} - h_{к})^2}}{r_{нк} - h_{к}}. \quad (10)$$

После преобразования из выражения (10) получим зависимости радиуса прикатывающего катка от характеристик почвенного комка:

$$r_{нк} \geq \frac{1 + \operatorname{tg}^2 (\varphi_{mn} + \varphi_{нк})}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 (\varphi_{mn} + \varphi_{нк})} - 1} h_{к}. \quad (11)$$

Для расчетов по формуле (11) примем следующие исходные данные:

- угол внутреннего трения почвы $\varphi_{mn} = 52^\circ$;
- угол трения почвы о материал $\varphi_{нк} = 20-26^\circ$;
- высота почвенного комка $h_{к} = 0,01-0,1$ м;
- влажность почвы 16–18 %.

Результаты расчетов представлены графически на рис. 2.

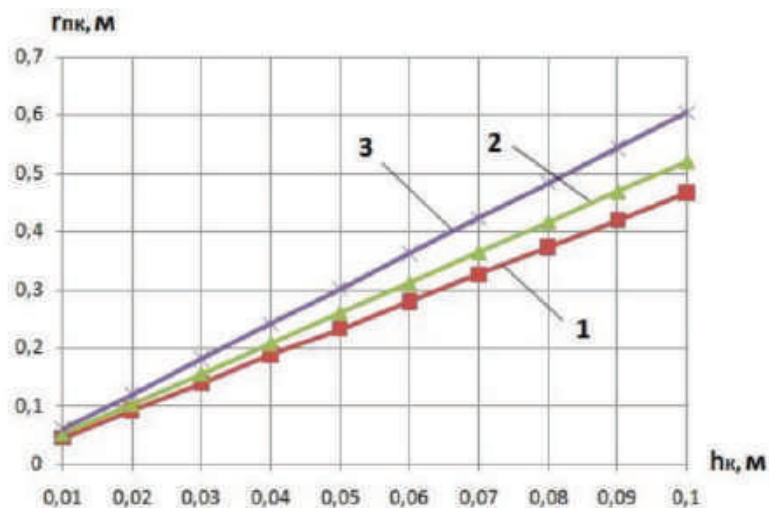


Рис. 2. График зависимости радиуса прикатывающего катка $r_{нк}$ от высоты почвенных комков h_k при различных углах трения $\varphi_{нк}$ почвы о сталь: 20° (1); 23° (2); 26° (3)

Анализ графиков на рис. 2 показывает, что рациональное значение диаметра опорно-прикатывающего катка, установленного сразу за рыхлительными рабочими органами, где могут присутствовать крупные комки (от 0,05 до 0,1 м), составляет 0,6 м, а мульчирующего катка, установленного за опорно-прикатывающим, где в основном присутствуют комки до 0,03 м, составляет 0,35 м.

Обоснование расстояния между планками и количеством планок мульчирующего катка

При работе мульчирующего катка планки 1 (рис. 3), имеющие прямоугольное сечение и закрепленные на кольцах 2, внедряются в почву.

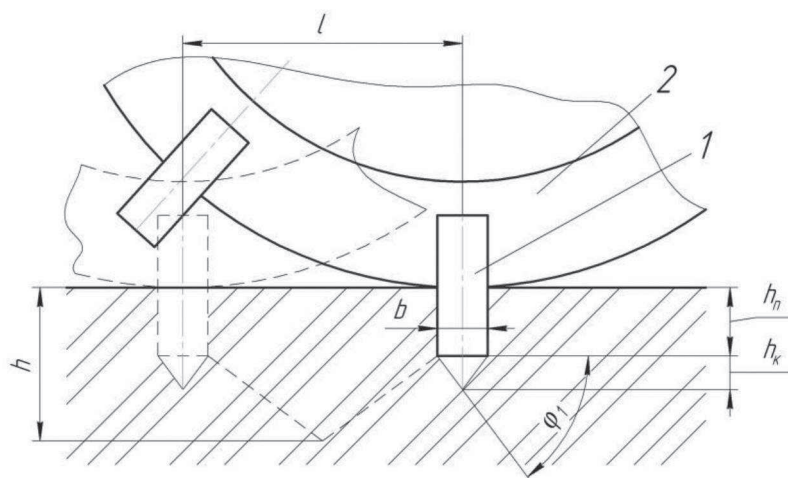


Рис. 3. Схема взаимодействия планок мульчирующего катка с почвой: 1 – планка; 2 – кольцо

При этом под планкой образуется почвенный клин, высоту h_k которого можно определить по формуле:

$$h_k = \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (12)$$

где b – ширина планки, м; φ_1 – угол внутреннего трения почвы, град.

После того как клин сформирован, дальнейшее заглубление планки будет влиять только на глубину распространения уплотнения, а плотность почвы увеличиваться не будет [4]. Поэтому для

достижения максимального значения плотности планку необходимо заглубить в почву на высоту h_n , равную высоте клина h_k .

При дальнейшем движении клина и внедрении в почву второй планки между ними также образуются уплотненные зоны, глубину пересечения которых h определяем по формуле:

$$h = \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi_1 + \left(\frac{l}{1} - \frac{b}{2} \right) \operatorname{ctg} \varphi_1. \quad (13)$$

или

$$l = \frac{2h_1 - b \operatorname{tg} \varphi_1 + b \operatorname{ctg} \varphi_1}{\operatorname{ctg} \varphi_1}, \quad (14)$$

где l – расстояние между планками, м.

Задав ширину планки $b = 0,015$ м и углом трения φ_1 , значение которого в зависимости от типа почвы изменяется в пределах от 38° до 50° , определим расстояние между планками l .

Результаты расчетов представлены графически (рис. 4).

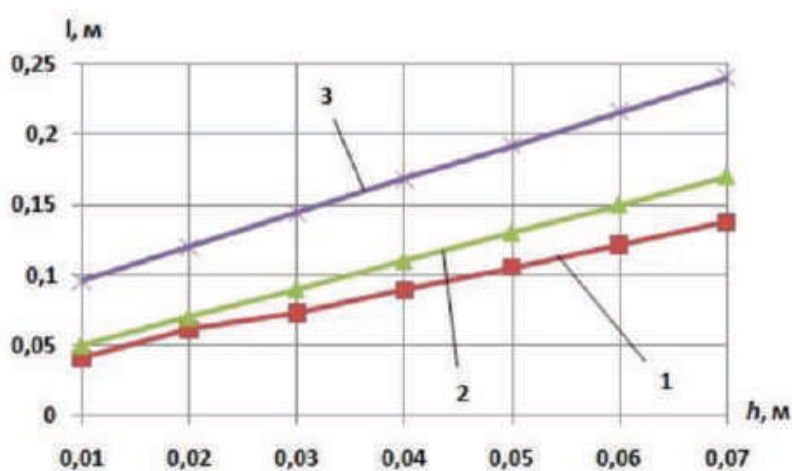


Рис. 4. Зависимость расстояния между планками l в зависимости от глубины уплотнения h при разных углах φ_1 : 38° (1); 45° (2); 50° (3)

С учетом того, что при подготовке почвы под посев зерновых культур максимальная глубина расположения подуплотненного слоя должна составлять 0,05 м, расстояние между планками (при $\varphi_1 = 45^\circ$ – средний суглинок) будет составлять 0,13 м (рис. 4).

Количество планок n определим по формуле

$$n = \frac{\pi D_m}{l}, \quad (15)$$

где D_m – диаметр катка, м.

Тогда, с учетом, что $D_m = 0,35$ м, $n = 8,45$ шт., округлим n до целого числа и примем $n = 8$ шт. С учетом округления $l = 0,1374$ м.

Обоснование угла наклона планок мульчирующего катка

При работе мульчирующего катка его планки l , которые имеют наклон в поперечной плоскости относительно его оси 2 (рис. 5), производят смещение в поперечно-продольном направлении почвы гребней и других неровностей, образовавшихся после прохода предшествующих рабочих органов, что способствует повышению качества выравнивания. Однако такой каток при смещении почвы наклонными планками может образовывать и свои гребни, высота которых будет зависеть от угла наклона планок к его оси.

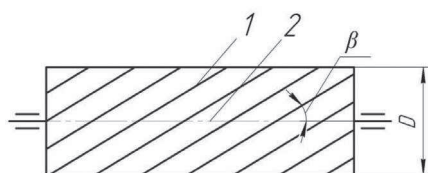


Рис. 5. Схема к определению угла наклона планки: 1 – планка; 2 – ось катка

Угол наклона планок 1 (рис.5) к оси 2 определим из выражения [5]:

$$\beta = \text{arcctg}\left(\frac{2\sqrt{hD - h^2}}{l}\right), \quad (16)$$

где h – высота гребнистости почвы, м; D – диаметр катка, м; l – расстояние между соседними планками вдоль образующей, описывающей нижние концы планок, м.

Расчет угла β в зависимости от гребнистости почвы h , полученной после прохода катка, представлен графически (рис. 6).

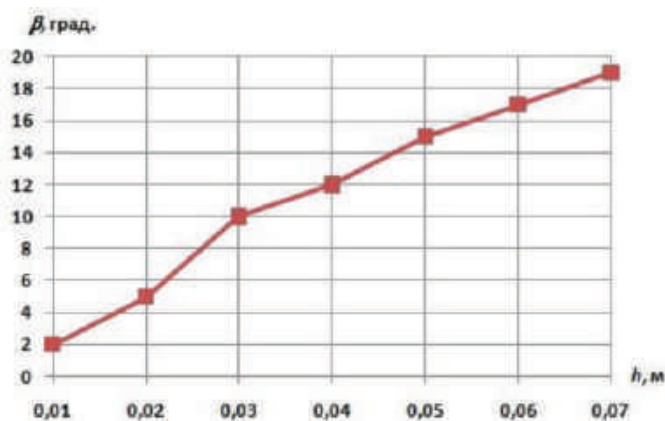


Рис. 6. График зависимости угла β от высоты гребней h

Из расчета видно, что с увеличением угла β увеличивается и гребнистость h , но т.к. в соответствии с агротребованиями при подготовке почвы под посев зерновых гребнистость почвы не должна превышать 0,04 м, то угол наклона β можно принять 12° .

Обоснование количества зубьев на кольцах и расстояния между кольцами опорно-прикатывающего катка

При работе опорно-прикатывающего катка (рис. 7) его кольца 1, выполненные в виде зубьев и закрепленные на барабане 2, должны подуплотнять пахотный слой на глубину h .

Поскольку глубина h больше глубины мульчирующего слоя ($h = 0,05$ м), а максимальная плотность почвы от внедрения зуба достигается после его полного внедрения в почву, то высоту зуба b примем равной высоте h_1 , т.е. $b = h_1$.

При движении катка и внедрении в почву его зубьев между ними (рис. 7, б) образуются уплотненные зоны, глубину пересечения которых h можно определить по формуле

$$h = h_1 + \frac{l}{2} \text{tg}\varphi_1. \quad (17)$$

или

$$l = \frac{2(h - h_1)}{\text{tg}\varphi_1}, \quad (18)$$

где l – расстояние между вершинами зубьев, м; φ_1 – угол внутреннего трения почвы, град.

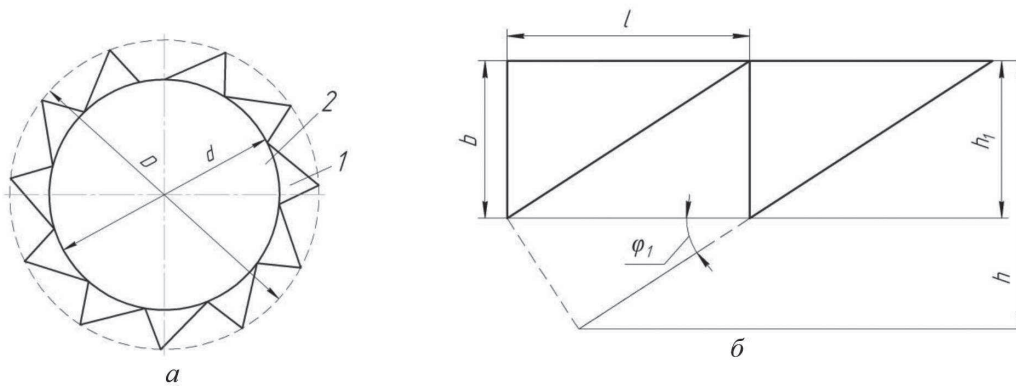


Рис. 7. Схемы к определению количества зубьев на кольцах опорно-прикатывающего катка:
a – каток (вид сбоку); *б* – схема взаимодействия зубьев катка с почвой в продольном направлении

Задавшись углом трения $\varphi_1 = 45^\circ$ (суглинистые почвы) и глубиной мульчирующего слоя h_1 , которая в зависимости от возделываемой культуры изменяется в пределах от 0,01 м (трава) до 0,06 м (зернобобовые), определим зависимость глубины уплотнения h от расстояния между зубьями l .

Результаты расчета представим в виде графика (рис. 8).

С учетом того, что глубина корнеобитаемого слоя зерновых культур составляет около 0,12 м, принимаем $h = 0,12$ м. Тогда расстояние между зубьями (при $\varphi_1 = 45^\circ$ и $h_1 = 0,05$ м) составляет $l = 0,14$ м (рис. 8).

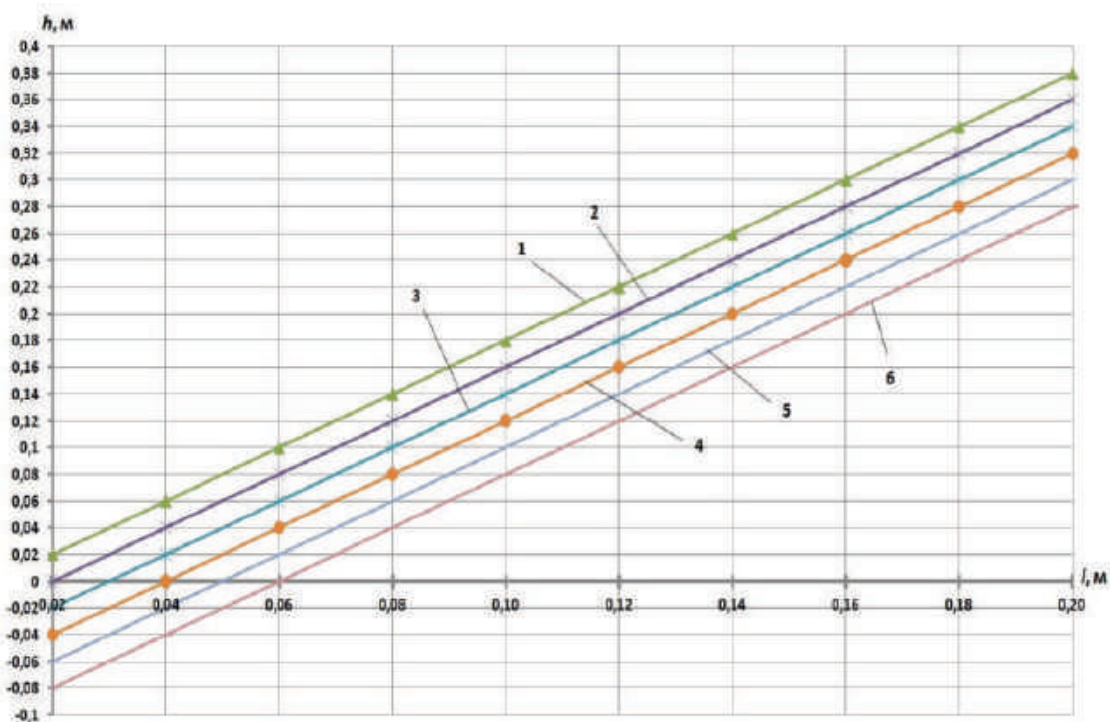


Рис. 8. Зависимость расстояния между зубьями l от глубины уплотнения h при различной глубине мульчирующего слоя h_1 : 0,01 (1); 0,02 (2); 0,03 (3); 0,04 (4); 0,05 (5); 0,06 (6)

Количество зубьев n определим по формуле:

$$n = \frac{\pi D}{l}, \quad (19)$$

где D – диаметр катка по наружным концам зубьев, м.

С учетом, что $D = 0,6$ м, количество зубьев $n = 13,46$ шт. Округлим n до целого числа и примем $n = 13$ шт. С учетом округления $l = 0,1449$. При этом диаметр барабана d , когда $b = h_1$ будет равен:

$$d = D - 2h_1. \quad (20)$$

Подставляя численные значения в формулу (20), получаем $d = 0,5$ м.

Расстояние между кольцами катка определим с учетом пересечения уплотненных зон в поперечном направлении (рис. 9), глубину которых h и далее расстояние L можно определить по формулам

$$h = h_1 + \left(\frac{L}{2} + \frac{B}{2}\right)tg\varphi_1, \quad (21)$$

$$L = \frac{2(h - h_1) + Btg\varphi_1}{tg\varphi_1}. \quad (22)$$

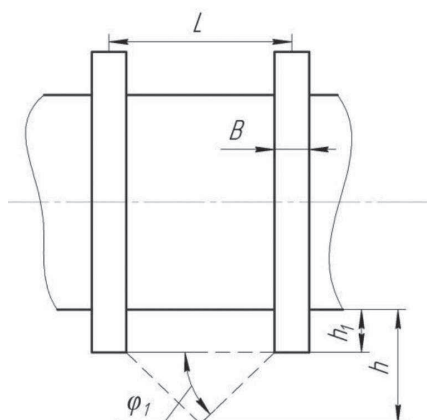


Рис. 9. Схема взаимодействия колец катка с почвой в поперечном направлении

Приняв из технологических и прочностных условий $B = 0,01$ м (при $\varphi_1 = 45^\circ$, $h_1 = 0,05$ м, $h = 0,12$ м), расстояние между кольцами $L = 0,15$ м.

Заключение

1. Опорно-прикатывающий каток кольчатого типа, состоящий из полого цилиндра (барабана), на наружной поверхности которого установлены зубчатые кольца, должен иметь диаметр по наружным кромкам зубьев 0,6 м, диаметр барабана – 0,5 м, ширину зуба 0,01 м, количество зубьев на кольце – 13 шт., расстояние между кольцами на барабане – 0,15 м. При этом глубина уплотнения катком составит 0,12 м.

2. Мульчирующий каток, состоящий из наклонных к горизонту планок, должен иметь диаметр по концам планок 0,35 м, ширину планок 0,015 м, количество планок – 8 шт., угол наклона планок к горизонту – 12° . При проходе такого катка будет обеспечено сплошное уплотнение почвы, разрушены комья диаметром более 0,03 м, а гребнистость поверхности поля будет не более 0,04 м.

3. Для уточнения и окончательного принятия решения по теоретически обоснованным параметрам целесообразно изготовить макетные образцы прикатывающих рабочих органов и провести экспериментальные исследования.

Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа катковых рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. К. Клыбик, В. В. Мижурин // 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. 121–127.

2. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.

3. Обоснование типа и параметров заделывающих рабочих органов и конструктивной схемы сеялки зернотукотравяной для посева на склоновых землях. Исследование процессов подготовки почвы и механизированного посева семян многолетних трав на откосах мелиоративных каналов : отчет о НИР (заключительный) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. темы Н. Д. Лепешкин. – Минск, 2018. – 381 с. – № ГР 20161196.

4. Крук, И. С. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И. С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.

5. Юнусов, Г. С. Прикатывающий каток с зигзагообразными рабочими органами / Г. С. Юнусов, Ю. А. Кропотов // Вестник Марийского государственного университета. – 2013. – № 11. – С. 27–29.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 08.10.2022

Received 08.10.2022

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mehposev@mail.ru

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РЫХЛИТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
К ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕМУ АГРЕГАТУ
ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ
НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ**

Аннотация. В статье теоретически обоснованы основные параметры рыхлительных рабочих органов чизельного типа, которые входят в состав почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях и обеспечивают одновременное рыхление как пахотного, так и подпахотного слоя почвы.

Ключевые слова: почвообрабатывающий агрегат, чизельный рабочий орган, параметры, послойное рыхление, долото, боковой нож, гребень.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mehposev@mail.ru

**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE MAIN PARAMETERS
OF THE LOOSENING WORKING BODIES TO THE TILLING UNIT
FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS**

Abstract. The article theoretically substantiates the main parameters of the loosening working bodies of the chisel type, which are part of the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on slope lands and provide simultaneous loosening of both the arable and subarable soil layers.

Keywords: tillage unit, chisel working body, parameters, layered loosening, chisel, side knife, comb.

Введение

Одним из путей защиты склоновых земель от водной эрозии является переход на безотвальные обработки почвы. Для технического обеспечения таких обработок ставится задача создания отечественного почвообрабатывающего агрегата, который за один проход по полю мог бы выполнять такие безотвальные влагосберегающие приемы основной обработки почвы, как мульчирование, чизелевание и глубокое рыхление почвы [1]. Для осуществления этих приемов обработки почвы

в составе агрегата предусматривается использование различных рабочих органов, в том числе и рыхлительных [2]. Анализ известных рыхлительных рабочих органов показал, что новый агрегат должен оборудоваться рыхлительными рабочими органами чизельного типа, которые должны включать криволинейную стойку, в нижней части которой установлено долото, а на боковых поверхностях ножи [3]. Такое конструктивное решение позволит обеспечить послойное рыхление почвы на двух уровнях. На первом уровне рыхление на глубину обычной обработки, т.е. рыхление пахотного слоя, и на втором – глубокое рыхление (до 40 см) с образованием на дне слоя гребней. С учетом того, что предлагаемый тип рыхлительного рабочего органа и его конструктивное решение способны обеспечить предъявляемые агротехнические требования, целесообразно провести теоретические исследования по обоснованию основных параметров данных рабочих органов.

Цель статьи – теоретически обосновать основные параметры рыхлительных рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

Основная часть

За основные параметры рыхлительного рабочего органа примем параметры, которые наиболее существенно влияют на качество выполняемого им технологического процесса. В нашем случае, когда чизельный рабочий орган (рис. 1) состоит из криволинейной стойки 1, в нижней части которой установлено долото 2, на боковых поверхностях – ножи 3, то его основными требующими обоснования параметрами будут:

- расстояние между рабочими органами для глубокого рыхления в поперечном направлении (ширина междуследья);
- ширина боковых ножей;
- расстояние от боковых ножей до носка долота;
- угол установки долота к дну борозды и длина долота;
- расстояние между рабочими органами в продольном направлении.

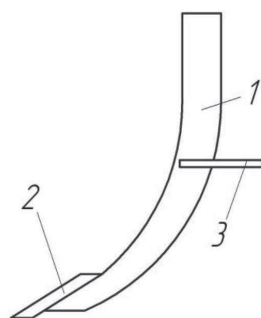


Рис. 1. Схема рыхлительного рабочего органа: 1 – стойка; 2 – долото; 3 – нож

Обоснование расстояния между рабочими органами для глубокого рыхления в поперечном направлении (ширина междуследья)

Характерной особенностью рыхлительных рабочих органов чизельного типа является то, что они производят рыхление с недорезом пласта по ширине захвата агрегата. В результате этого над дном борозды образуются неразрыхленные гребни, высота которых имеет большое значение для предотвращения внутрпочвенного стока воды на склонах. Поэтому при обосновании ширины междуследья в качестве оценочного критерия примем высоту гребня. Поскольку действующие в Республике Беларусь агротехнические требования, предъявляемые к машинам с чизельными рабочими органами, не содержат сведений о том, какой должна быть высота гребня, а зарубежные исследователи для своих расчетов принимают эту высоту, равной 0,2 м [4] и менее, то с учетом сказанного установим зависимость ширины междуследья от высоты гребня.

При глубоком рыхлении почвы сечение разрыхленной полосы расширяется сверху за счет бокового сдвига пласта под углом ω (рис. 2, а), который зависит от механического состава, влажности почвы, ширины захвата, угла установки долота ко дну борозды и др. факторов и составляет

40–60° [5, 6]. Известно и то, что боковой сдвиг почвы отмечается лишь в слое почвы определенной глубины, который не должен превышать так называемую критическую глубину $h_k = 32–36$ см, т. е. при рыхлении на глубине больше критической сдвиг почвы прекращается и нижняя часть разрыхленной плоскости имеет вид щели с вертикальными стенками (рис. 2, б).

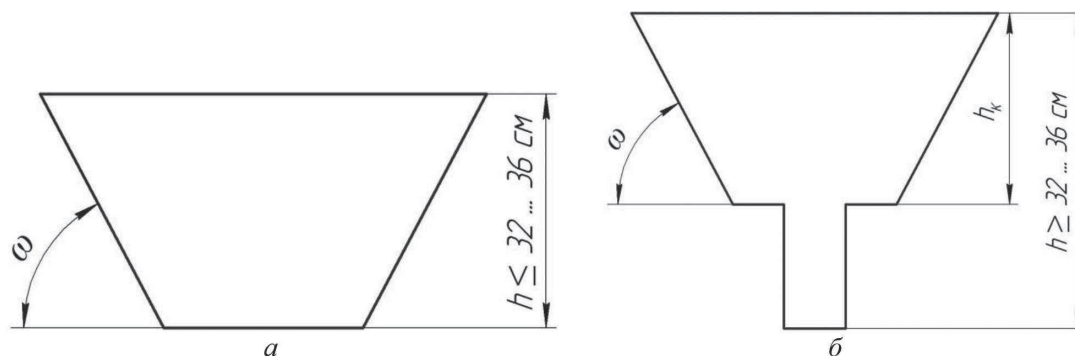


Рис. 2. Сечение полос почвы, разрыхленных на глубину меньшую и превышающую критическую: а – глубина меньше критической; б – глубина больше критической

Кроме этого, известно, что после предварительного рыхления верхнего слоя на глубину h_0 (рис. 3) новая критическая глубина h'_k разрыхленного слоя увеличивается на глубину, близкую к h_0 , а боковой сдвиг пласта идет не от критической глубины h_k однослойного рыхления, а с большей, от дна полос глубиной:

$$h'_k = h_k + h_0. \quad (1)$$

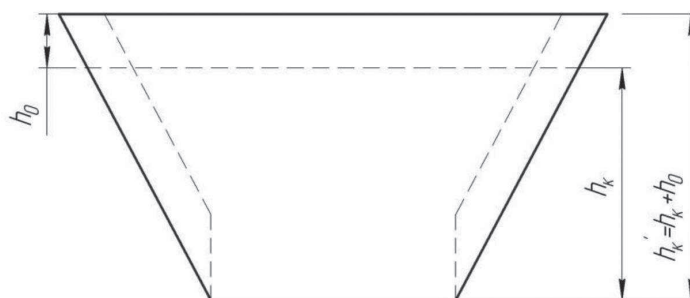


Рис. 3. Сечение полосы почвы с предварительным рыхлением верхнего слоя

При этом угол бокового сдвига ω не изменяется.

Так как в конструкции предлагаемого агрегата перед рыхлительными рабочими органами установлены дисковые рабочие органы, которые производят предварительное рыхление верхнего слоя на глубину $h_0 \geq 12$ см, то критическая глубина для его рыхлительных рабочих органов увеличивается на h_0 и будет составлять не 32–36 см, а 44–48 см. Поскольку максимальная глубина рыхления для предлагаемого агрегата составляет 40 см, то для расчетов ширины междуследья примем схему (рис. 4), где боковой сдвиг почвы идет от дна борозды.

На основании схемы (рис. 4) определим высоту гребней a , которая будет равна:

$$a = \frac{B - b}{2} \cdot \operatorname{tg} \omega, \quad (2)$$

где B – ширина междуследья, м; b – ширина долота, м; ω – угол бокового сдвига почвы, град.

С учетом того, что в зависимости от условий различные фирмы комплектуют свои рабочие органы набором сменных долотьев различной ширины, то расчет ширины междурядья проведем с использованием долот шириной $b = 0,05, 0,1, 0,2, 0,3$ м и среднем угле бокового сдвига $\omega = 45^\circ$.

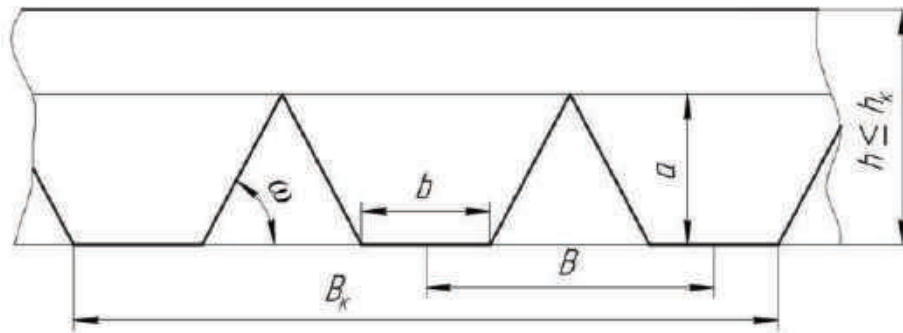


Рис. 4. Схема для определения высоты гребней между чизельными рабочими органами

Зависимость ширины междуследья от высоты гребней представлена на графике (рис. 5).

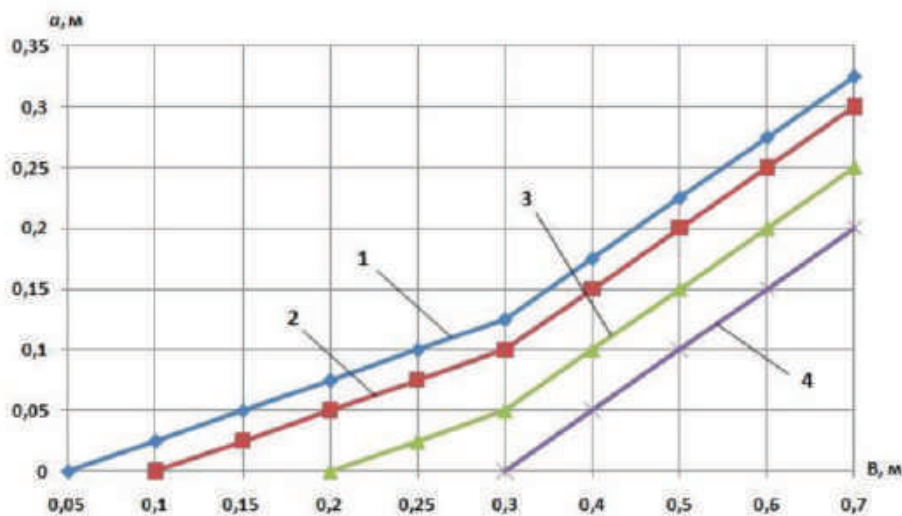


Рис. 5. График зависимости высоты гребней a от ширины междуследья рыхлительных рабочих органов B и ширины долота b : 0,05 м (1); 0,1 м (2); 0,2 м (3); 0,3 м (4)

Из графика (рис. 5) видно, что при глубине обработки 0,4 м, высоте гребня 0,2 м и ширине долотьев от 0,05 до 0,3 м ширина междуследья должна составлять 0,45–0,7 м.

Обоснование ширины боковых ножей

Обоснование ширины боковых ножей 1, установленных на стойке 2, проведем в соответствии со схемой (рис. 6).

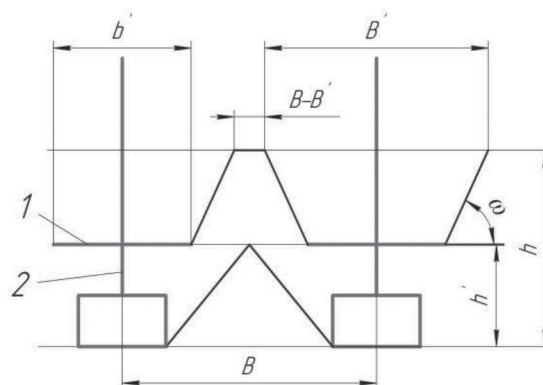


Рис. 6. Расчетная схема для определения ширины боковых ножей: 1 – боковой нож; 2 – стойка

На основании схемы (рис. 6) ширину междуследья B можно определить по формуле

$$B = (B - B') + b' + 2(h - h')\operatorname{tg}\omega, \quad (3)$$

где b' – ширина захвата боковых ножей, м; h' – высота установки боковых ножей на стойке рыхлительного рабочего органа, м; h – глубина обработки почвы, м; ω – угол бокового сдвига почвы, град.

Из формулы (3) определим минимальную ширину боковых ножей, т.е. когда:

$$B - B' = 0. \quad (4)$$

Тогда

$$b' = 2(h - h')\operatorname{tg}\omega. \quad (5)$$

При глубине обработки $h = 0,4$ м, высоте установки ножей на стойке $h' = 0,2$ м (высота гребня) и $\omega = 40^\circ$ ширина боковых ножей составит $b' = 0,33$ м.

Обоснование расстояния от боковых ножей до носка долота

Расстояние боковых ножей до носка долота определим исходя из технологического процесса взаимодействия боковых ножей с почвой в продольной плоскости. Здесь для снижения энергоемкости процесса необходимо минимизировать наложение зон деформации пласта долотом и боковыми ножами друг на друга.

Данное условие будет обеспечено, если носок долота 1 и пересечение линии 2 скола почвенного пласта с поверхностью почвы боковыми ножами 3 будут лежать на одной линии 4 по вертикали (рис. 7).

Для обеспечения описанных выше условий расстояние от бокового ножа до носка долота L можно определить из выражения:

$$L = 2(h - h')\operatorname{tg}\omega, \quad (6)$$

где h – глубина обработки, м; h' – высота установки боковых ножей, м; ω – угол бокового сдвига почвы, град.

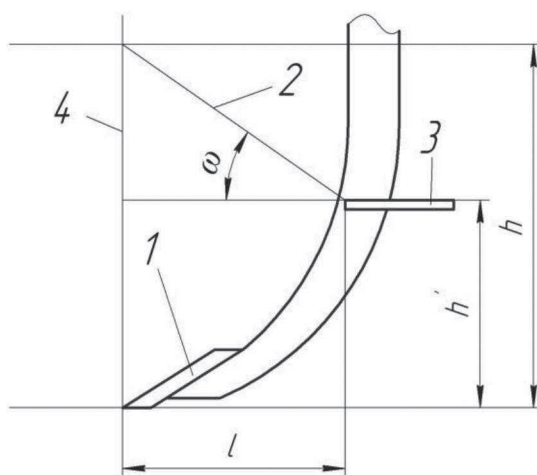


Рис. 7. Расчетная схема для определения расстояния от боковых ножей до носка долота: 1 – долото; 2 – линия скола почвенного пласта; 3 – боковой нож; 4 – линия по вертикали

При глубине обработки $h = 0,4$ м, высоте установки боковых ножей $h' = 0,2$ м и угле $\omega = 40^\circ$ расстояние от боковых ножей до носка долота будет равно $L = 0,168$ м.

Обоснование угла установки долота к дну борозды и длины долота

На долоте рыхлительного рабочего органа, как известно, преобладает деформация сжатия, при достижении определенной величины которой происходит сдвиг (скол) слоя почвы, который, поднимаясь по рабочему органу, подвергается дополнительному крошению. В некоторых случаях подпор пласта может оказаться недостаточным для подъема по рабочему органу, поэтому почва начинает сгруживаться перед ним, образуя так называемые застойные зоны (призмы волочения). В результате этого пласт движется не по рабочему органу, а по почве застойной зоны, что обуславливает дополнительное сопротивление, приводящее к увеличению энергозатрат на перемещение рыхлительного рабочего органа. Чтобы сгруживания не возникало, подпор пласта должен быть достаточным, т.е. необходимо, чтобы давление почвы при движении по рабочему органу создавалось большее, чем сопротивление сжатия δ .

Условие, при котором не возникает сгруживание почвы перед рабочим органом, можно представить в виде неравенства [7]:

$$\delta \geq \frac{v^2 \gamma \left[\frac{\sin(\beta + \varphi + \rho)}{2} - \sin^2 \left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right) \right] \operatorname{ctg}(\beta + \varphi) + l g \gamma}{\sin \left(\frac{\beta + \varphi + 3\rho}{2} \right) + \cos \left(\frac{\beta + \varphi + 3\rho}{2} \right) \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)}, \quad (7)$$

где v – агротехническая скорость, м/с; γ – плотность почвы, г/см³; β – угол установки долота к дну борозды (угол крошения), градус; φ – угол трения почвы о сталь (угол внешнего трения), градус; ρ – угол трения почвы о почву (угол внутреннего трения), градус; l – длина долота, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Из выражения (7) следует, что вероятность возникновения сгруживания почвы перед рабочим органом возникает с увеличением длины долота, плотности почвы, скорости движения агрегата и зависит от физико-механических свойств почвы и угла крошения, но не зависит от поперечного сечения пласта.

С помощью формулы (7) установим зависимости сопротивления сжатия δ от угла крошения β и длины долота l и представим в виде графика (рис. 8).

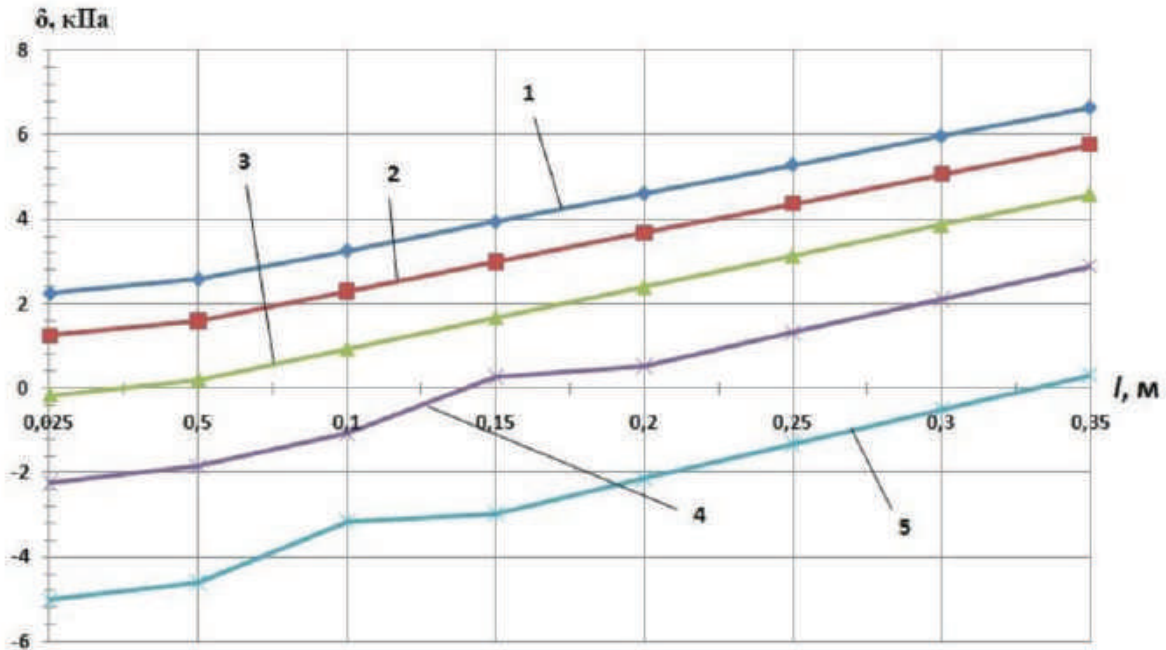


Рис. 8. График зависимости сопротивления сжатия δ от длины долота l при угле крошения β :
 $\beta = 10^\circ$ (1); $\beta = 15^\circ$ (2); $\beta = 20^\circ$ (3); $\beta = 25^\circ$ (4); $\beta = 30^\circ$ (5)

Для дерново-подзолистых суглинистых сухих почв $\delta = 3$ кПа [8, 9]. Из анализа полученных кривых (рис. 8) следует, что при изменении β от 10 до 35° и l от $0,025$ до $0,35$ м δ начинает резко возрастать уже при $\beta = 20^\circ$, поэтому долото должно располагаться под углом к дну борозды (угол крошения) $\beta = 15\text{--}20^\circ$ и иметь длину $l = 0,16\text{--}0,25$ м.

Обоснование расстояния между рабочими органами в продольном направлении

Расстояние между рыхлительными рабочими органами в продольном направлении l определим с учетом деформации пласта почвы в продольном направлении (рис. 9).

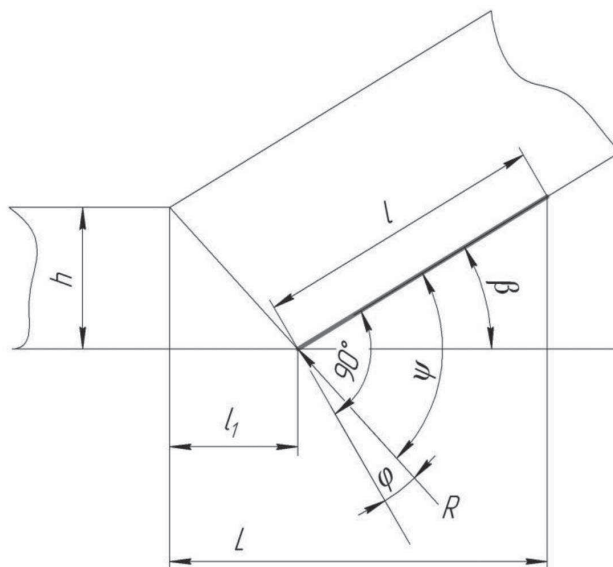


Рис. 9. Расчетная схема для определения расстояния между рабочими органами: R – равнодействующая элементарных переменных сил сопротивления почвы и сил трения по рабочей поверхности долота

Из схемы (рис. 9) видно, что расстояние между рабочими органами L равно:

$$L = l_1 + l \cos \beta, \quad (8)$$

где l_1 – расстояние, на которое разрушается почва перед долотом, м; l – длина долота, м; $l = 0,16\text{--}0,25$ м; β – угол крошения, град.

Исходя из условия распространения зон деформации почвы определим расстояние, на которое разрушается почва перед долотом:

$$l_1 = h \cdot \operatorname{ctg}(\psi), \quad (9)$$

где h – глубина рыхления, м; ψ – угол скола (сдвига), град.

Тогда

$$\psi = 90^\circ - (\beta + \varphi), \quad (10)$$

где β – угол установки долота к дну борозды (угол крошения), град., $\beta = 15\text{--}20^\circ$; φ – угол трения почвы о сталь (угол внешнего трения), град., $\varphi = 26^\circ$ [4].

Подставив выражение (9) и (10) в (8), получим:

$$L = h \operatorname{ctg}[90^\circ - (\beta + \varphi)] + l \cos \beta. \quad (11)$$

С помощью полученной формулы (11) определяется расстояние между рабочими органами в продольном направлении. С учетом полученных данных по выбору угла β и длины долота l , для глубины рыхления $h = 0,4$ м L составляет $0,56\text{--}0,61$ м.

Заклучение

В результате проведения теоретических исследований по обоснованию параметров рыхлительных рабочих органов установлено:

1. Рыхлительные рабочие органы чизельного типа, состоящие из стойки, наральника (долота) и боковых ножей, при рыхлении почвы на глубину 0,3–0,4 м с использованием сменных долотьев шириной захвата от 0,05 до 0,3 м должны устанавливаться на раме агрегата на расстоянии друг от друга в поперечном направлении (ширина междуследья), равном 0,45–0,7 м. При этом высота внутрипочвенных гребней будет составлять 0,2 м.

2. Ширина захвата боковых ножей при глубине рыхления 0,4 м и высоте установки ножей на стойке 0,2 м (высота гребней) должна составлять 0,33 м. Расстояние от рабочих кромок боковых ножей до носка долота должно быть 0,168 м, а расстояние между рыхлительными рабочими органами в продольном направлении должно быть 0,56–0,61 м. Такие параметры исключат наложение зон деформации пласта рабочими элементами рыхлительных рабочих органов и обеспечат минимальную энергоёмкость процесса.

3. Угол установки долота ко дну борозды (угол крошения) должен быть 15–20°, а длина долота должна составлять 0,16–0,25 м. При таком угле крошения и длине долота исключается сгуживание почвы, т.к. давление почвы при движении по рабочему органу будет больше, чем сопротивление сжатия.

Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Зубенко // 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. 131–137.
2. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагоберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.
3. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа рыхлительных рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин // 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. 138–147.
4. Окас Котаберген. Разработка навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Окас Котаберген. – Саратов, 2017. – 145 л.
5. Жук, А. Ф. Рыхление почвы чизельными долотами и щелерезами./ А. Ф. Жук // Техника в сельском хозяйстве.– 2006. – № 3. – С. 21–25.
6. Кострицын, А. К. Об угле сдвига почвы рабочими органами почвообрабатывающих орудий /А. К. Кострицын // Сб. научн. тр. ВИМ. – М., 1983. – Т. 96. – С. 102–108.
7. Щиров, В. Н. Определение параметров глубокорыхлителей для обработки почвы в засушливых условиях / В. Н. Щиров, Г. Г. Пархоменко // Вестник аграрной науки Дона. – 2012. – № 4. – С. 17–22.
8. Вагин, А. Т. К вопросу обоснования параметров рабочих органов для основной обработки почв / А. Т. Вагин // Вопросы сельскохозяйственной механики: Труды ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – Минск, 1967. – Т. 16. – С. 57–98.
9. Бахтин, П. У. Физико-механические и технологические свойства почв / П. У. Бахтин. – М. : Знание, 1971. – 64 с.

А. Н. Юрин

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

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ ПЛОДОВ

Аннотация. В статье в общем виде рассмотрена автоматизированная сортировка плодов как процесс, состоящий из подачи плодов, классификации и механического разделения. Установлено, что подача плодов призвана решать вопросы формирования потока и транспортирования плодов, классификация – обнаружения и распознавания структуры плода и принятия решения, а механическое разделение потока – смену направления движения плодов.

Анализ физических параметров показал, что размеры яблок сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер» подчиняются закону нормального распределения. При этом минимальный размер плода составляет 45 мм, а наибольший – 95 мм, что неизбежно приводит к образованию «двоек» плодов при формировании потока.

Анализ вероятности появления возможных «двоек» плодов с учетом агротехнических требований позволил обосновать модель автоматизированного процесса сортирования плодов, при котором двойки плодов относятся к более высокому сорту.

Результаты исследований применены РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» при разработке технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4.

Ключевые слова: подача, формирование потока, транспортирование, классификация плодов, обнаружение признаков, распознавание структуры, принятие решений, механическое разделение, «двойки» плодов, модель сортирования, исходное состояние, качественный плод, некачественный плод, сорт яблок.

A. N. Yurin

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

JUSTIFICATION OF THE MODEL OF THE AUTOMATED PROCESS SORTING FRUIT

Abstract. The article generally considers automated sorting of fruits as a process consisting of fruit feeding, classification and mechanical separation. It has been established that the supply of fruits is designed to solve the issues of the formation and transportation of fruits, classification – detection and recognition of the structure of the fruit and decision making, and the mechanical separation of the flow – impact and change in the direction of movement of the fruits. The analysis of physical parameters showed that the sizes of apple varieties “Imant”, “Verbnoe” and “Gloster” obey the law of normal distribution. At the same time, the minimum size of the fruit is 45 mm, and the largest is 95 mm, which inevitably leads to the formation of “twos” of fruits during the formation of the flow. An analysis of the probability of the appearance of possible “twos” of fruits, taking into account agrotechnical requirements, made it possible to substantiate a model of an automated fruit process in which twos of fruits belong to a higher grade. The results of the research were applied by the Republican Unitary Enterprise “NPC of the National Academy of Sciences of Belarus for the mechanization of agriculture” in the development of a technological line for sorting and packing apples LSP-4.

Keywords: feeding, flow formation, transportation, fruit classification, feature detection, structure recognition, decision making, mechanical separation, fruit “twos”, sorting model, initial state, quality fruit, poor quality fruit, apple variety.

Введение

Потери плодов от уборки и до момента поступления к конечному потребителю составляют до 30 %. Это вызывает потребность в их сортировании. В настоящее время контроль качества пло-

дов – процесс мало механизированный, 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.

Качественное выполнение данной работы возможно лишь опытным специалистом-сортировщиком вручную. Плоды при этом подвергаются минимальному механическому травмированию. Однако производительность работ при ручной сортировке на три товарных сорта составляет 40–70 кг/ч [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]. С учетом складывающегося дефицита рабочих в сельском хозяйстве актуально внедрение в производство средств механизации и автоматизации, облегчающих или полностью исключаящих ручной труд при сортировке плодов.

Из всех известных средств автоматизации, предназначенных для сортирования плодов, наиболее качественно этот процесс может быть выполнен только оптическими средствами контроля на основе системы технического зрения (в дальнейшем – СТЗ).

В связи с этим создание технического средства с СТЗ, позволяющего определить качество поверхности плода без его повреждения, подобно тому, как это делает человек [4–8], является важной агроинженерной задачей.

Основная часть

Обоснование модели сортирования плодов. Первым этапом при создании СТЗ является определение модели функционирования, определяющей в дальнейшем алгоритм работы системы и технические возможности.

Любое устройство для автоматической сортировки плодоовощной продукции должно выполнять процессы подачи плодов, классификации и разделения. В зависимости от целей сортировки, вида продукции и требований к выходной продукции каждый из этих процессов может иметь свои особенности, поэтому при анализе разделим их на подпроцессы.

Так, подачу плодов рассмотрим как формирование потока и транспортирование, классификацию – как обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений на основе заложенных в «память» предписаний, а процесс механизированного разделения – как подпроцессы взвода исполнительного механизма, удара и движения объекта после него (рис. 1).

Тогда сортировка может быть представлена в виде случайных процессов [1].

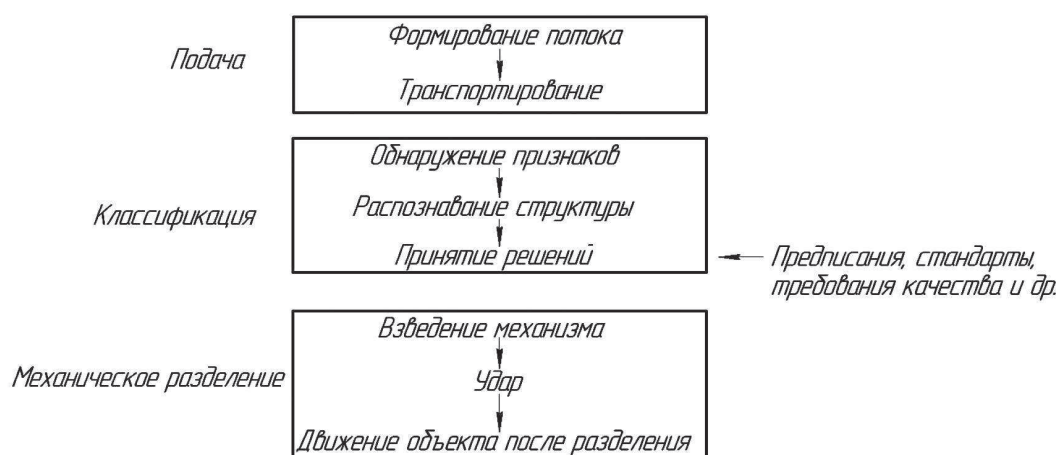


Рис. 1. Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству

Процессы, представленные на рис. 1, могут быть описаны следующим образом с пятью состояниями: S_1 – исходное, S_2 – классификация объекта как качественного, S_3 – классификация объекта

как некачественного, S_4 – перемещение объекта к группе качественных плодов, S_5 – перемещение объекта к группе некачественных плодов (рис. 2).

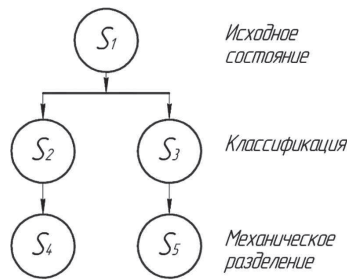


Рис. 2. Упрощенная модель процесса сортировки плодов

В то же время при формировании потока из-за большой вариации размерных характеристик плодов в зону контроля могут одновременно попадать два объекта («двойки») в различных сочетаниях: «качественный-некачественный», «качественный-качественный», «некачественный-некачественный».

Тогда модель процесса автоматической сортировки плодов будет включать 18 состояний и будет выглядеть следующим образом (рис. 3).

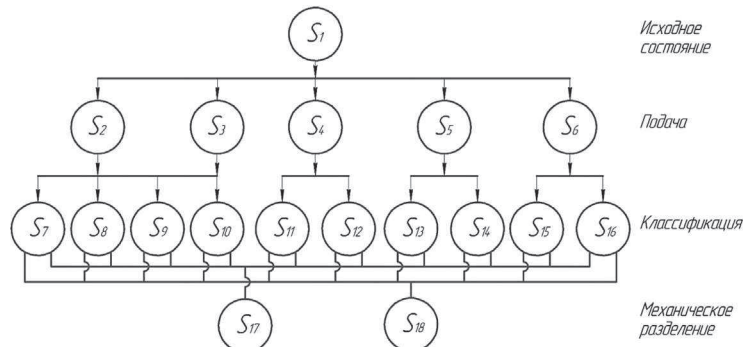


Рис. 3. Модель процесса сортировки плодов с учетом появления «двоек»

В приведенной модели S_1 – исходное состояние; S_2 – одиночный качественный плод; S_3 – одиночный некачественный плод; S_4 – два качественных плода; S_5 – два некачественных плода; S_6 – качественный-некачественный плод; S_7 – S_{16} – классификация плодов на классы, где четные – некачественные плоды, а нечетные – качественные; S_{17} – перемещение плода в качественные; S_{18} – перемещение плода в некачественные.

В связи с тем, что состояния классификации «качественные плоды» совпадают, их можно объединить. Тогда модель процесса сортировки примет вид (рис. 4).

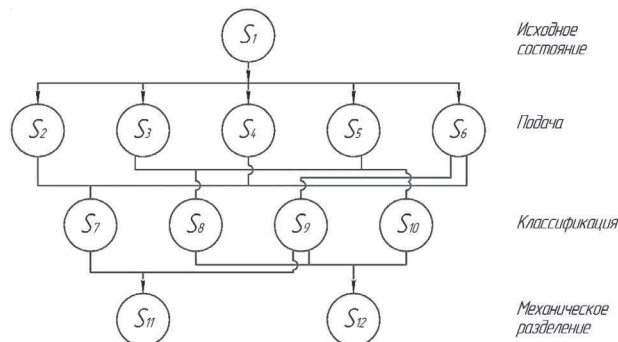


Рис. 4. Модель сортирования плодов по качеству на два класса

На рис. 3 и 4 состояния S_1 – S_6 одинаковы. Состояние S_7 обозначает «качественные плоды» для одиночных и сдвоенных плодов, S_8 – «некачественные» плоды для одиночных плодов, S_9 – «некачественные» плоды для двоек «качественный-некачественный плод», S_{10} – «некачественные» плоды для двоек некачественных плодов. Состояния S_{11} и S_{12} соответствуют разделению плодов на «качественные» и «некачественные».

В Республике Беларусь плоды, поступающие в розничную торговлю, должны соответствовать СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие, поздних сроков созревания. Технические условия» [8]. Данный стандарт предусматривает разделение плодов на три сорта: высший, первый и второй. В процессе же сортировки плодов необходимо выделение ещё одной группы плодов, к которой относятся яблоки, не соответствующие ни одному из ранее указанных сортов, – бессортные (в дальнейшем – б/с).

Тогда модель сортирования яблок по качеству на 4 класса будет выглядеть следующим образом (рис. 5).

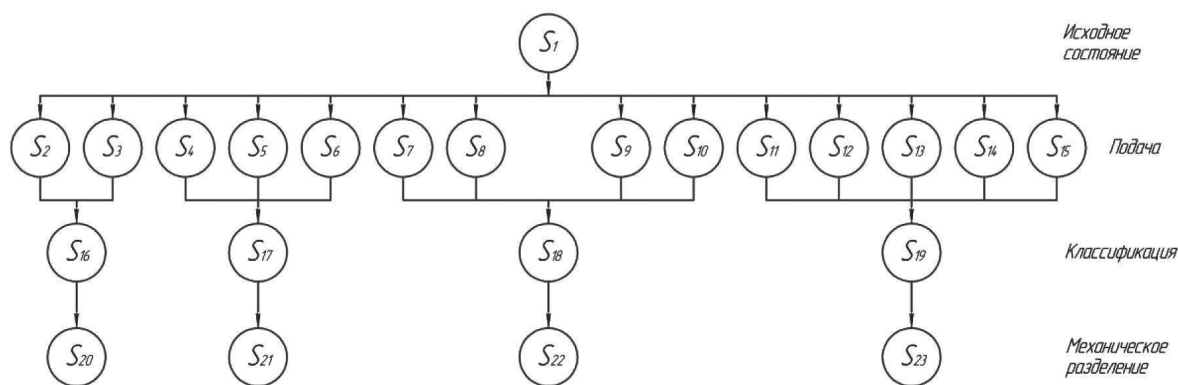


Рис. 5. Модель сортирования яблок по качеству на четыре класса с отнесением «двоек» к более низкому сорту

В данной модели S_1 – исходное состояние; S_2 и S_3 – это одиночный плод высшего сорта и «двойка» плодов высшего сорта; S_4 и S_5 – это одиночный плод первого сорта и «двойка» плодов первого сорта; S_6 – это «двойка» плодов первого и второго сортов; S_7 и S_8 – это одиночный плод второго сорта и «двойка» плодов второго сорта; S_9 и S_{10} – это «двойки» плодов из первого-второго и высшего-второго сортов; S_{11} и S_{12} – это одиночный и парные б/с плоды; S_{13} , S_{14} , S_{15} – это «двойки» из пар первый-б/с, второй-б/с и высший-б/с плоды; S_{16} – S_{19} – классификация одиночных и «двоек» плодов на высший, первый, второй сорта и б/с; S_{20} – S_{23} – механическое разделение плодов на высший, первый, второй сорта и б/с.

При внедрении данной модели все «двойки» плодов будут относиться к сорту, соответствующему более низкому сорту плода из рассматриваемой «двойки». То есть пара «высший-первый» будет отнесена к первому сорту, пара «первый-второй» – ко второму сорту и так далее.

Такой подход позволит получать плоды высшего и первого сорта без «примесей», т.е. более высокого качества. Однако потери плодов высокого качества при определенных условиях могут быть значительными.

В то же время в СТБ 2288-2012 оговаривается допустимое количество примесей плодов, не относящихся к данному сорту.

Так в яблоках высшего сорта не допускается присутствие яблок второго сорта и бессортных, а в яблоках первого сорта – только бессортных. При этом в высшем сорте допускается присутствие яблок первого сорта не более 10% по размеру и не более 5% по остальным показателям качества. Для яблок первого сорта допустимое количество плодов второго сорта – не более 10% по всем показателям качества. Для плодов второго сорта количество бессортных яблок должно быть не более 10% по всем показателям качества.

Очевидно, что при соблюдении указанных условий «двойки» плодов могут быть отнесены к более высокому сорту плодов.

С учетом этого модель сортирования яблок по качеству может быть представлена следующим образом (рис. 6).

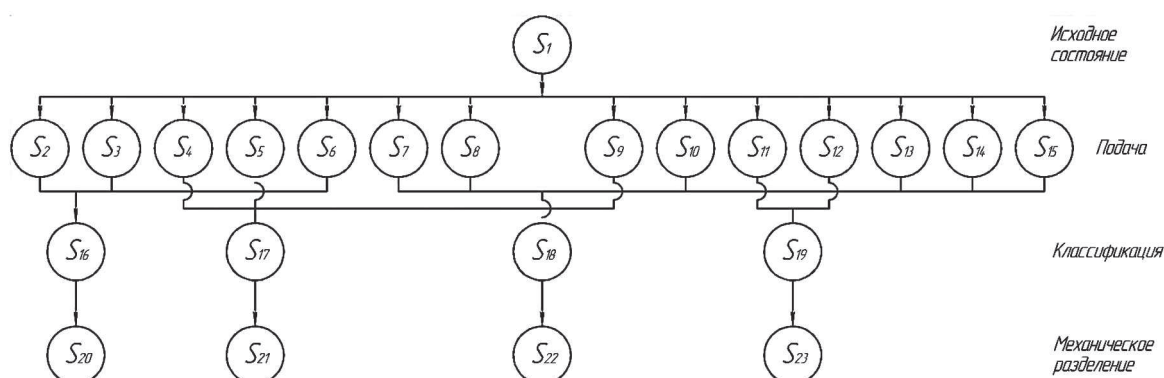


Рис. 6. Модель сортирования яблок по качеству на четыре класса с отнесением «двоек» к более высокому сорту

Для определения возможности использования данной модели необходимо выполнить анализ размерных характеристик плодов и определить вероятность появления различных вариантов «двоек» плодов.

Анализ размеров плодов сортов «Имант», «Глостер» и «Вербное» в процессе поисковых исследований показал (табл. 1), что размер плодов подчиняется нормальному закону распределения Гаусса, для которого плотность вероятности распределения размеров:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где X , m_x , σ – размер, математическое ожидание и разброс размеров плодов.

Таблица 1. Физические характеристики плодов

Наименование показателей	Значение показателей		
	«Имант»	«Глостер»	«Вербное»
Сорт яблок			
Содержание плодов в исходном материале (по размеру), %			
– 0–65 мм	22,9	17,5	0
– 65–78 мм	69,5	60,7	27,1
– 78–100 мм	7,6	21,8	72,9
– более 100 мм	0	0	0
Характеристика плодов:			
– средний диаметр, мм	70	75	82
– средняя высота, мм	62	67	71
– средняя масса, г	152	188	227
– максимальный диаметр, мм	85	92	95
– минимальный диаметр, мм	45	45	45

При этом размер плодов изменяется в широких пределах. Так минимальный размер плодов составляет 45мм, а максимальный – 95 мм.

Для обеспечения автоматической сортировки необходимо решение задачи поштучной подачи плодов, которая сводится к прохождению плода через заданную ячейку. При этом через нее должен пройти любой плод, только два плода одновременно пройти не должны. Такая ячейка может быть описана постоянной плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{h_B - h_H}, \quad (2)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятности пропускной способности ячейки; h_b, h_n – верхняя и нижняя границы пропускной способности ячейки.

Плотность распределения вероятности выстраивания плодов по одному в общем случае может быть определена как плотность распределения системы независимых случайных величин $p(x)$ и $f(x)$. Вероятность выстраивания по одному в общем случае может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ед}} = \int_{h_n}^{h_b} p(x) f(x) dx. \quad (3)$$

Для нормального закона распределения плотности вероятности выстраивания плодов $p(x)$ с учетом выражения (3) вероятность выстраивания плодов имеет вид:

$$P_{\text{ед}} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{h_b - m_x}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{m_x - h_n}{\sigma} \right) \right],$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$.

Из выражения (4) вытекает, что наложение функции $p(x)$ и $f(x)$ позволяет выявить три области: от 0 до h_n – вероятность выстраивания плодов по два и более, от h_n до h_b – поштучно, от h_b до ∞ – вероятность, что плод не пройдет через ячейку из-за большого размера, то есть возможен затор. Плоды небольших размеров, оказываясь одновременно в зоне поштучного формирования, могут образовывать «двойки», то есть проходить по два сразу. Считая, что одновременно можно наблюдать в зоне контроля не более двух плодов, вероятность появления «двоек» можно определить по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \left[k_{\text{дв}} \int_0^{h_n} p(x) dx \right]^2, \quad (4)$$

где $k_{\text{дв}}$ – коэффициент появления «двойки».

В расчетах принимаем $k_{\text{дв}} = 1$.

В связи с тем, что плоды размерами, близкими к h_b , с трудом проходят через формирующее устройство, получается много «пропусков», то есть интервал между плодами дискретно меняется от Δ до $n\Delta$ (где $n = 2, 3, \dots$). Это снижает плотность потока и производительность. Поэтому целесообразно соблюдать условие:

$$h_b \approx (1,1 \dots 1,2)x_{\text{max}}.$$

Исходя из выражения 2, можно h_b определить с учетом дисперсии:

$$h_b = m + \acute{\epsilon}\sigma$$

где $\acute{\epsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Соответственно:

$$h_n = \frac{h_b}{2} = \frac{m + \acute{\epsilon}\sigma}{2}.$$

С другой стороны, для систем поштучной подачи по одному признаку:

$$h_n \leq x_{\text{min}} = m - \grave{\epsilon}\sigma,$$

где $\grave{\epsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Исходя из изложенного, принимаем размер ячейки устройства для формирования потока $h_b = 10,5$ см.

При таком размере ячейки возможно формирование следующих «двоек» плодов (табл. 2), вероятность возникновения которых в соответствии определялась по зависимости (4):

Таблица 2. Вероятность возникновения «двоек» плодов

Номер	Диаметры плодов из «двойки», мм	Вероятность возникновения «двоек» для яблок сортов		
		«Имант»	«Глостер»	«Вербное»
1	45 и 60	0,01	0,009	0,009
2	45 и 55	0,003	0,0032	0,0034
3	45 и 50	0,001	0,0085	0,0088
4	45 и 45	0,001	0,0009	0,0009
5	50 и 55	0,003	0,0037	0,0038
6	50 и 50	0,001	0,009	0,009

В соответствии с СТБ 2288-2012 к высшему сорту могут быть отнесены яблоки диаметром более 60 мм, чему удовлетворяет пара №1 с вероятностью появления не более 1%. К первому сорту относятся плоды диаметром 50–60 мм, что соответствует парам № 2, 3, 5, 6, что дает суммарную вероятность возникновения данных «двоек» не более 2,5 %.

Таким образом, количество примесей в плодах высшего сорта не превысит 1%, в плодах первого сорта – не более 2,5%, а в плодах второго сорта – не более 1%.

С учетом этого, наиболее рациональной для автоматической сортировки является модель с делением плодов на четыре сорта и отнесением «двоек» к более высокому сорту, изображенная на рис. 6.

Реализация результатов исследований. На основе проведенных исследований в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 [9–11].

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» Брестского района, аг. Остромечево в 2020–2021 годах. По результатам приёмочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 получен протокол № 004-1/3-2022 от 25 февраля 2022 года [9].

Анализ проведенных испытаний показал, что технологическая линия в целом 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 %, что подтверждает правильность выбора модели функционирования автоматизированной системы сортирования плодов.

Заключение

1. Размерные характеристики яблок сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер» подчиняются нормальному закону распределения Гаусса.
2. Вследствие большой вариации размерных характеристик плодов при автоматизированной сортировке неизбежно образование «двоек», при которых в зону контроля одновременно попадают два объекта в различных сочетаниях качества.
3. На основе анализа вероятности возникновения «двоек» и требований к качеству плодов обоснована модель процесса автоматической сортировки яблок на четыре класса с отнесением «двоек» к более высокому сорту.

Список использованных источников

1. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А.Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
2. Юрин, А. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс] / А. Юрин, Д. Жданко // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protseessov-v-sadovodstve/>. – Дата доступа: 30.04.2018.

3. 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. – Минск, 2019. – С. 89–95.
4. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси [Электронный ресурс] / Я.П. Лобачевский [и др.] // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/razvitie-tehnicheskikh-sredstv-dlya-vozdelyvaniya-mnogoletnih-nasazhdenij-v-sadovodstve-rossii-i-belarusi/> – Дата доступа: 30.04.2018.
5. 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.
6. 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.
7. Использование систем технического зрения для качественной сортировки плодов персика по окраске. (Иран) / A. Esehaghbeygi, M. Ardforoushan, SAH Monajemi, A.A. Masoumi Digital image processing for quality ranking of saffron peach // Intern. Agrophysics. – 2010. – Vol.24. – N 2. – P. 115–120.
8. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
9. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 99 с.
10. Юрин, А.Н. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок / А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, А. А. Игнатчик // 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. 88–95.
11. 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 Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.

УДК 631.542

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТВЕЙ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Аннотация. В данной статье проведено исследование основных физико-механических свойств и размерных характеристик ветвей яблонь сортов Глоустер и Ред Принц.

Ключевые слова: яблоня, распределение, обрезка, крона, ветви, диаметр, угол наклона, прогиб ветвей.

A. N. Yurin

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

STUDIES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF FRUIT TREE BRANCHES

Abstract. In this article, a study was made of the main physical and mechanical properties and dimensional characteristics of the branches of apple trees of the Gloucester and Red Prince varieties.

Keywords: apple tree, distribution, pruning, crown, branches, diameter, angle of inclination, deflection of branches.

Введение

Низкий уровень механизации технологических процессов в садоводстве сдерживает рост площадей возделывания и валового сбора, негативно сказывается на агротехнических сроках выполнения технологических операций по уходу за садами и уборке урожая, качестве производимой продукции, ее стоимости.

Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними плодовыми насаждениями является детальная обрезка деревьев, затраты на которую составляют 22–24 % всех трудозатрат на производство плодов. В настоящее время она выполняется вручную. При этом возможно применение различных средств механизации, значительно снижающих количество ручного труда. Однако для их разработки необходимо исследование параметров срезаемых веток плодовых деревьев.

Основная часть

Для определения некоторых физико-механических свойств и размерных характеристик ветвей плодовых деревьев были проведены поисковые исследования, в ходе которых определялись длина и диаметр срезаемой части ветвей, высота их расположения, угол наклона ветвей к горизонту и их жесткость.

Характер распределения веток по высоте у исследуемых сортов яблонь представлен в виде графической интерпретации на рис. 1. Из графика видно, что ветки по высоте крон распределены неравномерно. Максимальное количество веток, подлежащих обрезке, располагается в интервале высот 1,0–1,5 м от поверхности почвы, причем у Глостера в этом интервале находится 41,8 % от общего количества веток, подлежащих обрезке, а у Ред Принц – 40,4 %. Среднее значение плотности веток в интервале 1,0–2,0 м составляет 5–7 шт./м², в интервале 0,5–1,0 м – 4–5 шт./м², а в интервале высот от 2 до 3,5 м – 2–3 шт./м².

Очевидно, что без использования лестниц и стремянок осуществлять детальную обрезку таких насаждений невозможно, так как обрезка без приспособлений может быть осуществлена до высоты 1,8–2 м.

Распределение диаметра веток в месте среза показано на рис. 2.

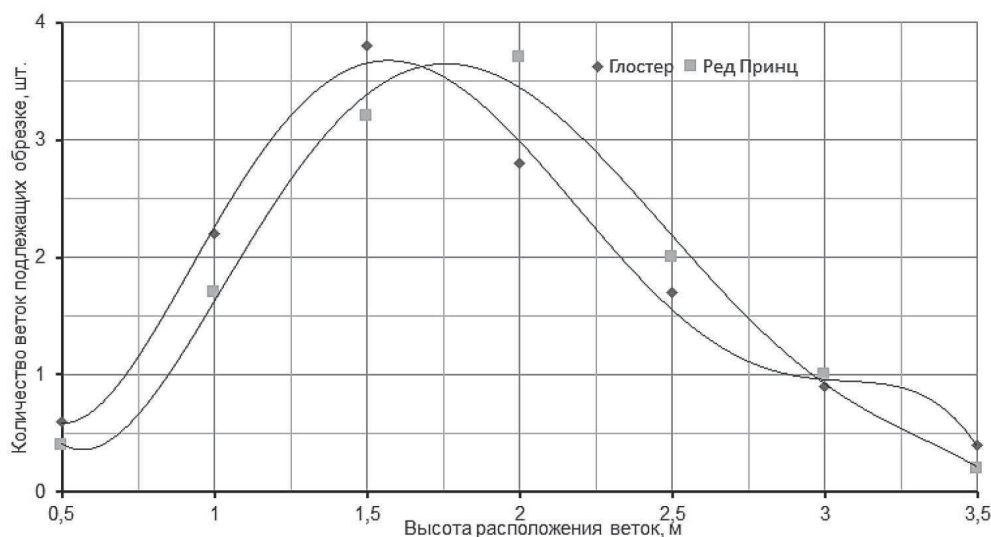


Рис. 1. График зависимости количества ветвей, подлежащих обрезке, от высоты их расположения

Из представленных графиков видно, что диаметр веток в месте среза изменяется в широких пределах. Минимальное значение диаметра срезанных веток составляет 3 мм, а максимальное 70 мм. При этом из графика видно, что ветки диаметром более 35 мм попадают крайне редко и являются скорее исключением. Больше всего подлежащих обрезке веток (46 % от общего количества) имеют диаметр от 9 до 22 мм.

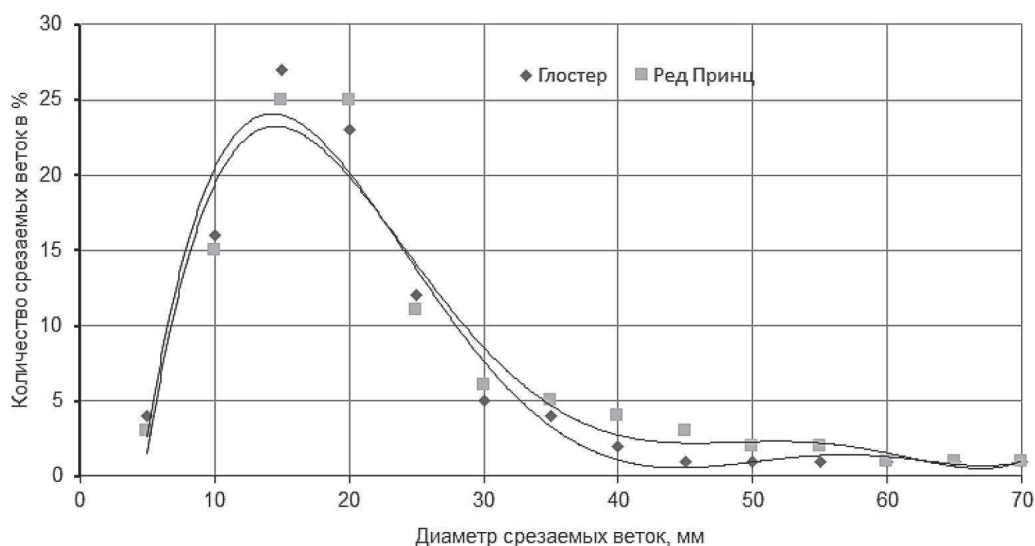


Рис. 2. Распределение срезаемых веток по диаметру

Длина срезанных веток также изменяется в широких пределах. Характер распределения длины отходов обрезки и их количество представлены на рис. 3.

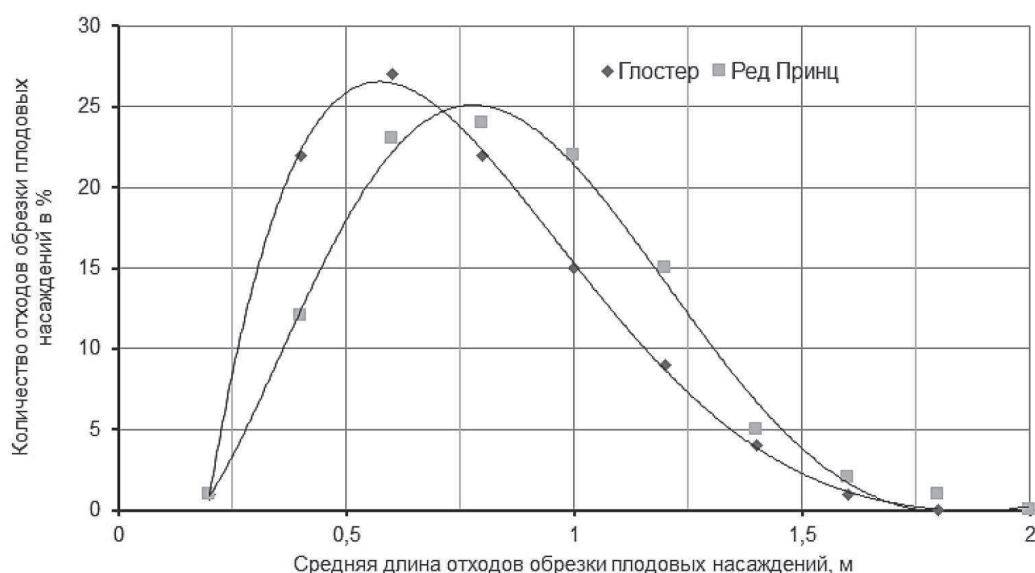


Рис. 3. Распределение ветвей в кронах яблонь по длине отрезаемой ветки

Из вышеприведенного рисунка видно, что наименьшая длина срезанной ветки для обоих сортов исследуемых яблонь составляет 0,1 м, а наибольшая 1,5–1,8 м. Наибольшее количество срезаемых веток имеют длину от 0,6 до 0,9 м; у яблонь сорта Глостер их количество составляет 41,1 %, и у сорта Ред Принц – 32,4 %.

Зачастую при осуществлении детальной обрезки кроны многолетних насаждений для облегчения труда рабочими предпринимается изгиб ветвей, что может привести к травмированию насаждения. Следовательно, необходимо определить допустимые значения прогиба ветвей, при которых не будет происходить повреждение насаждений.

Поскольку обрезка плодовых деревьев может осуществляться в период с ноября по апрель, то температура воздуха, а следовательно, и деревьев может варьироваться от -10 до +10°C, что в значительной мере будет влиять на жесткость и прочность ветвей.

Для начала определим, под какими углами располагаются ветки в плодовых насаждениях.

График распределения ветвей по углу наклона представлен на рис. 4. Приведенные кривые показывают, что в кронах изучаемых сортов яблонь углы наклона ветвей к горизонтальной плоскости варьируются в широких пределах – от 15 до 90°. Основная масса ветвей, около 70%, расположена под углом в 50–80°.

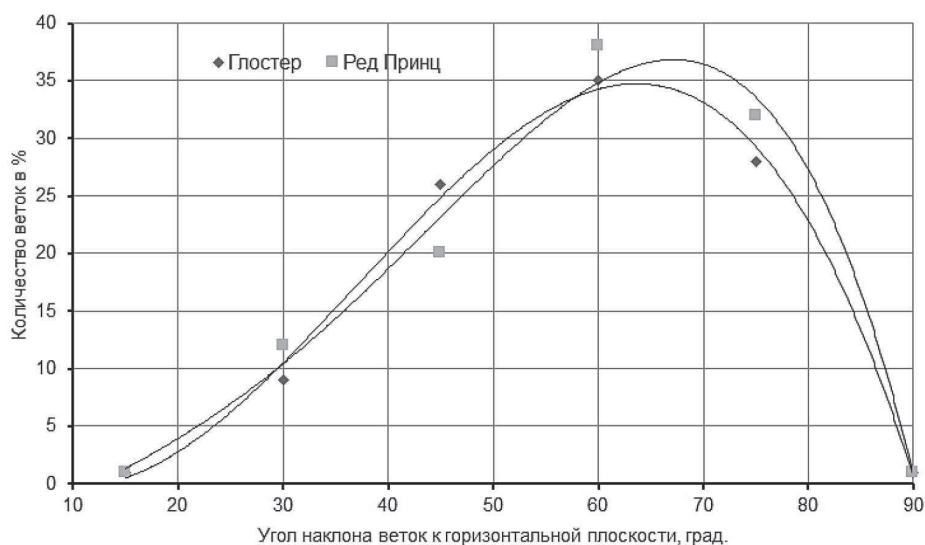


Рис. 4. Распределение ветвей в кронах яблонь по углу наклона к горизонтальной плоскости

При этом ветви, расположенные под углом наклона 80–90° к поверхности почвы, располагаются в верхней части кроны и представляют собой однолетние побеги диаметром до 10 мм, подлежащие обязательной обрезке.

Очевидно, что наибольшую сложность при обрезке будет составлять удаление ветвей, расположенных на самом верху кроны. Именно для обрезки таких ветвей обрезчику будут необходимы приспособления в виде стремянок или лестниц. Следовательно, для определения высоты расположения обрезчиков необходимо определить, на какую величину можно отклонить ветви для обрезки без причинения им повреждений. Понятно, что ветви различного диаметра будут иметь различные значения предельного отклонения. Кроме того, предельные значения отклонения будут также зависеть от длины ветвей.

На рис. 5 представлен график зависимости диаметра срезаемых веток от высоты их расположения.

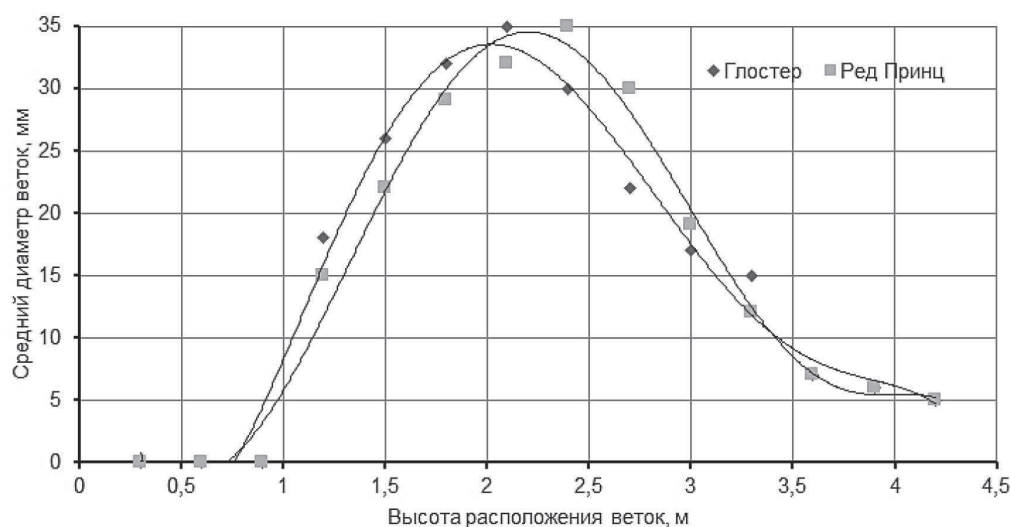


Рис. 5. График зависимости диаметра веток в месте среза от высоты их расположения в кроне насаждения

Из графика на рис. 5 видно, что ветки с диаметром 20–35 мм расположены на высоте 1,2–3,0 м. В более высоких частях кроны диаметр веток уменьшается и на высоте 3,4–4,2 м составляет 7–8 мм.

Для исследования жесткости ветвей на изгиб берем диапазон толщин веток, равный 10–35 мм. Очевидно, что при большем диаметре веток их отгиб будет затруднен.

В приведенном диапазоне жесткость ветвей изменяется в степенной зависимости от их толщины. При этом значение жесткости ветвей в зависимости от их длины нарастает не так интенсивно.

В результате исследований установлено, что прогиб ветвей при постоянной величине силы, прикладываемой к ней, прямо пропорционален длине и обратно пропорционален диаметру ветви (рис. 6).

На графике приведены зависимости величины прогиба срезаемых веток от прикладываемой силы при различных диаметрах. Резкий перегиб графика означает, что при дальнейшем увеличении прогиба ветки получали необратимые повреждения.

Так для веток диаметром 10 мм и длиной 30, 60 и 90 см они составляли 0,1, 0,15 и 0,20 м при силе нагрузки, равной 21,6, 10, и 8,0 Н.

Для веток диаметром 18 мм при тех же длинах предельные отклонения равны соответственно 0,28; 0,26 и 0,30 м при силе нагрузки 144,1, 72,3 и 48,0 Н соответственно.

Для веток диаметром 35 мм – 0,22; 0,30 и 0,28 м при силе нагрузки 174,5; 96,3 и 75,0 Н соответственно.

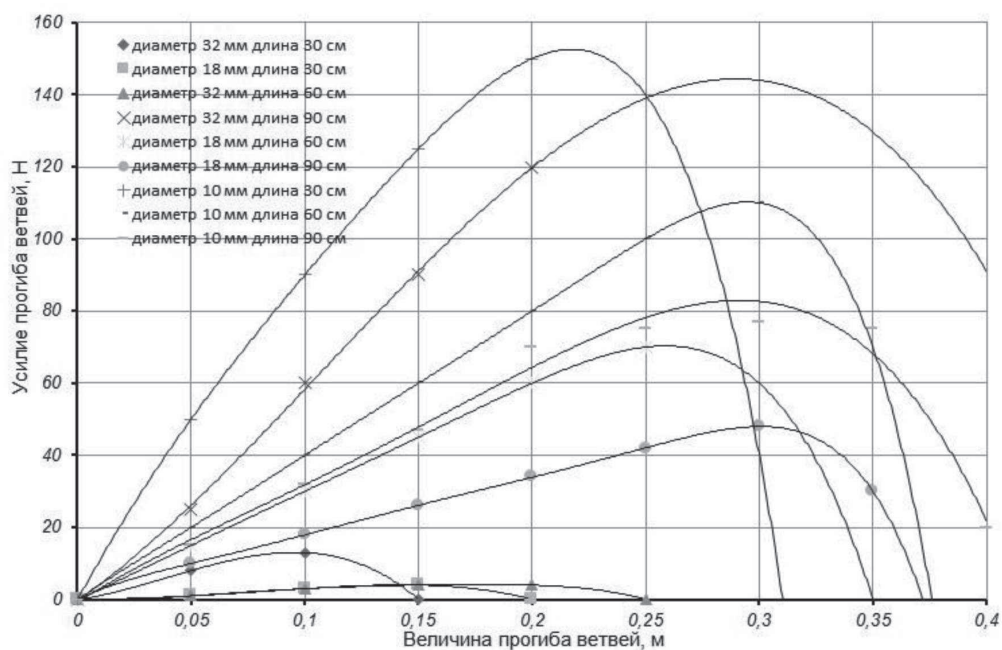


Рис. 6. График зависимости прогиба ветвей от прикладываемой силы при различных диаметрах и длинах веток

Выводы

1. Срезаемые ветки могут располагаться до высоты в 3,5 м, что требует наличия у обрезчиков приспособлений в виде лестниц или стремянок.
2. Наибольшее количество срезаемых ветвей имеют диаметр 9–22 мм.
3. Предельная высота расположения веток, подлежащих обрезке с учетом их возможного отгиба, составляет 0,9–3,2 м.

Список использованных источников

1. Измайлов, А. Ю. Актуальность разработки перспективной системы машин и технологий для производства основных видов сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации и Республике Беларусь / А. Ю. Измайлов,

Я. П. Лобачевский // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2015. – С. 10–14.

2. Бычков, В. В. Ресурсосберегающие технологии и технические средства для механизации садоводства / В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, И. А. Успенский // Садоводство и виноградарство. – 2009. – №6. – С. 38–42.

3. Бычков, В. В. Новые машины для ухода за почвой в садах / В. В. Бычков, А. А. Цымбал, С. В. Сольшковы // Садоводство и виноградарство. – 1998. – № 3. – С. 9–11.

4. Инновационные технические средства для садоводства / В. В. Бычков [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2010. – № 4. – С. 68–72.

5. Алиев, А. М. Вредоносность сорных растений / А. М. Алиев, В. Ф. Ладонин // Защита растений. – 1990. – № 5. – С. 15–16.

6. Влияние гербицидов, применяемых в питомнике, на некоторые морфологические признаки окулянтов плодовых пород / Я. В. Вазьбиньска [и др.] // Итоги и перспективы развития плодоводства и овощеводства: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. проф. А. Н. Ипатьева, Горки, 21–23 авг. 2001 г. / Бел. с.-х. акад. – Горки, 2001. – С. 205–209.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022

Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ

Аннотация. В данной статье рассмотрены различные методы идентификации качества плодов с целью их сортировки. Наряду с идентификацией качества органолептическим методом с использованием органов чувств человека рассмотрены способы идентификации на основе механических, физических, химических и электромагнитных свойств плодов посредством технических средств.

Ключевые слова: эталонные образы, реальные образы, идентификация качества, объекты контроля, статическая идентификация, динамическая идентификация, система технического зрения.

A. N. Yurin

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

METHODS FOR IDENTIFICATION OF FRUIT QUALITY

Abstract. This article discusses various methods for identifying the quality of fruits in order to sort them. Along with the identification of quality by the organoleptic method using the human senses, methods of identification based on the mechanical, physical, chemical and electromagnetic properties of fruits by means of technical means are considered.

Keywords: reference images, real images, quality identification, control objects, static identification, dynamic identification, vision system.

Введение

Наиболее трудоёмкий процесс производства плодов – контроль их качества, включающий сортировку с целью удаления нестандартной продукции и примесей. На эти операции приходится до 70 % всех трудозатрат, они ведутся вручную при визуальном контроле [1–3]. Контроль качества и сортировка, направленные на сокращение потерь продукции, – это сложная задача, решить которую можно только созданием быстродействующих автоматических средств контроля и сортировки. Однако отсутствие теоретических исследований, системно излагающих принципы построения средств контроля и сортировки плодов – одна из основных причин неразрешенности проблемы.

Основная часть

В настоящее время известен ряд методов и методик, позволяющих контролировать качество плодовой продукции [4–16]. Их можно разделить на субъективные (органолептические) и объективные (технические) методы. Органолептические методы основаны на восприятии человеком (экспертом) внешнего вида, вкуса, запаха, а также звука в ответ на воздействие и на осязаниях текстуры.

Органолептическая идентификация качества (ИК) построена на сопоставлении эталонного образа (ЭО), сформированного человеком на основе предварительных обучающих процедур, с образом контролируемого объекта:

$$ИК = \begin{matrix} \text{ЭО}_1 \\ \text{ЭО}_2 \\ \dots \\ \text{ЭО}_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} PO_1 & PO_2 & \dots & PO_n \\ & & A & \end{matrix} \right|,$$

где *ИК* – идентификация качества; *ЭО* – эталонные образы (внешнего вида, вкуса, запаха и т.д.) воспринятых эталонных объектов; *PO* – реальные образы воспринятых контролируемых объектов; *A* – некоторое множество соотношений идентифицируемых образов.

Эталонные образы – результат представления некоторых эталонных объектов идентификации качества, восприятия их органами чувств человека и запоминания их человеком:

$$\text{ЭО} = \begin{matrix} \text{Э}_1 \\ \text{Э}_2 \\ \dots \\ \text{Э}_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} Ч_1 & Ч_2 & \dots & Ч_n \\ & & A_n & \end{matrix} \right|,$$

где *Э* – эталонные объекты контроля (стандартные образы, объекты высшей категории качества, эталоны качества и др.); *Ч* – восприятие органами чувств человека; *A_n* – множество представлений.

Реальные образы формируются, как и эталонные, при экспертизе реальных объектов контроля:

$$\text{ЭО} = \begin{matrix} \text{Э}_1 \\ \text{Э}_2 \\ \dots \\ \text{Э}_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} Ч_1 & Ч_2 & \dots & Ч_n \\ & & A_3 & \end{matrix} \right|,$$

где *OK* – объекты контроля; *Ч* – восприятие органами чувств человека; *A₃* – множество экспертиз.

На рис. 1 представлена схема процесса идентификации качества плодов органолептическим методом.

Объекты контроля имеют пространственные и временные области ограничения, которые можно классифицировать как годную продукцию и дефектную:

$$OK = \begin{matrix} ГП_1 \\ ГП_2 \\ \dots \\ ГП_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} Д_1 & Д_2 & \dots & Д_n \\ & & A_o & \end{matrix} \right|,$$

где *ГП* – области годной продукции (кожица, мякоть, сердцевина и др.); *Д* – области дефектов (болезни, механические повреждения, загрязненность и др.); *A_o* – множество соотношений (пересекаются, объединяются, взаимоисключаются и т.д.).

Эти области могут восприниматься и как единое целое, и по частям.

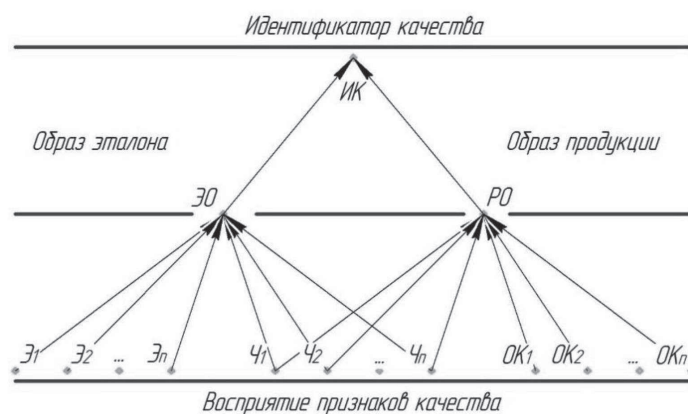


Рис. 1. Схема процесса идентификации качества плодовой продукции органолептическим методом:
 Э – эталонные объекты; Ч – человек; ОК – объекты контроля; ЭО – эталонные образы; РО – реальные образы;
 ИК – идентификация качества

При оценке качества контролируемый объект представляется несколькими изображениями (копиями) объекта. Восприятие копии верное, если оно равнозначно отражает хотя бы некоторые параметры оригинала.

Восприятие органами зрения человека намного информативнее, чем другими органами чувств. Это обеспечивается за счет дистанционности, оперативности, селективности, целенаправленности, чувствительности, гибкости восприятия. Эти достоинства могут служить эталонными критериями при разработке любых технических методов с пожеланием устранения существенного недостатка – **неидентичности восприятия** разными людьми и нестабильности (за счет утомляемости) восприятия во времени.

Другой принципиальный недостаток органолептических методов – **малая функциональная возможность** обеспечения всех уровней контроля и управления качеством продукции из-за отсутствия средств построения в требуемых масштабах четких и взаимосвязанных систем обеспечения качества.

Указанные недостатки возможно устранить при **разработке технических методов идентификации качества**.

Технические методы контроля продукции позволяют значительно расширить структуру идентификации качества за счет иерархического образования дополнительных уровней (статистической и динамической идентификации):

$$ИК = \begin{matrix} СИ \\ ДИ \end{matrix} \begin{vmatrix} СИ & ДИ \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix},$$

где ИК – идентификация качества; СИ – статическая идентификация качества; ДИ – динамическая идентификация качества.

Возможности статической идентификации расширяются путем накопления результатов идентификации в зависимости от числа элементов продукции (компонентов, участков плодов, единиц, групп и объемов плодов):

$$СИ = \begin{matrix} ИК_1 \\ ИК_2 \\ \dots \\ ИК_n \end{matrix} \begin{vmatrix} N_1 & N_2 & \dots & N_n \\ & & A & \end{vmatrix},$$

где ИК – идентификация качества единичного элемента продукции; N – число элементов продукции; A – множество реализаций.

Возможности динамической идентификации расширяются за счет накопления результатов идентификации в зависимости от динамических факторов (времени, температуры, окружающей среды и т.п.):

$$ДИ = \begin{matrix} ИК_1 \\ ИК_2 \\ \dots \\ ИК_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} T_1 & T_2 & \dots & T_n \\ & & & A \end{matrix} \right.$$

где T – динамический фактор; A – множество реализаций.

Динамический и статический приемы в совокупности могут образовывать кинематический способ идентификации, учитывающий динамические и статические факторы изменения качества. На рис. 2 изображена схема процесса идентификации качества плодовой продукции на основе технических методов контроля.

Применение статистических, динамических и кинематических (комбинированных) способов идентификации позволяет осуществлять систематизацию и стандартизацию качества плодовой продукции на основе накопления и интерпретации прошлой и текущей информации о качестве, прогнозировать и определять тенденции изменения качества, получать данные для управления качеством.

Статистическая идентификация качества основана на сопоставлении некоторых статистических параметров, определенных для совокупности контролируемых объектов, например таких, как математическое ожидание, дисперсия, функция распределения, корреляционные и спектральные функции.

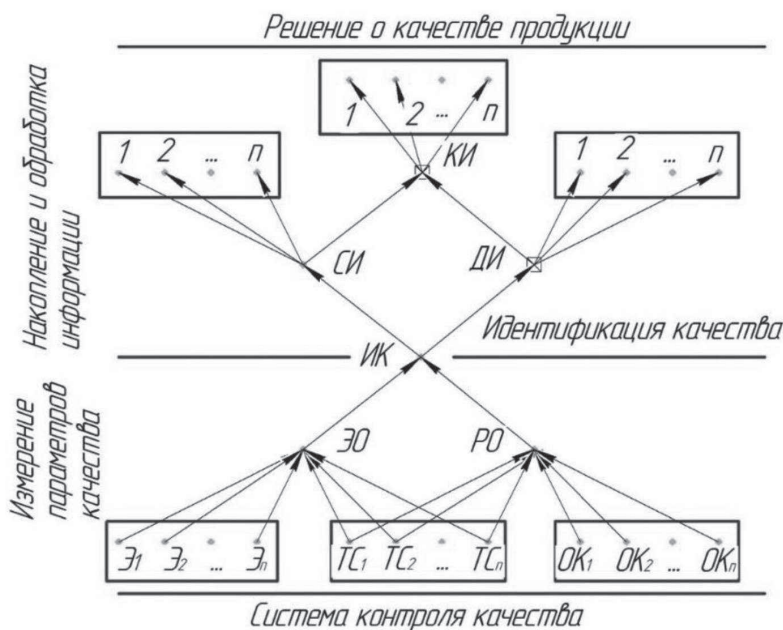


Рис. 2. Схема процесса идентификации качества плодовой продукции на основе технических методов контроля: $ТС$ – технические средства контроля; $ОК$ – объекты контроля; $Э$ – эталоны; $ЭО$ и $РО$ – эталонные и реальные образы качества; $ИК$ – идентификация качества; $СИ$, $ДИ$, $КИ$ – статическая, динамическая и кинематическая идентификации

Динамическая идентификация качества предусматривает сопоставление аналогичных параметров, изменяющихся за вегетацию, время хранения и переработки.

Кинематические методы идентификации основаны на представлении качества в виде совокупностей статической идентификации и последовательности динамической идентификации процессов изменения качества, учитывающих их эргодичность и солидарность:

$$KI = \begin{matrix} C \\ LC \\ HC \end{matrix} \begin{vmatrix} \mathcal{E} & \mathcal{L}\mathcal{E} & \mathcal{H}\mathcal{E} \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix},$$

где C – стационарный процесс изменения качества; LC – локально-стационарный; HC – нестационарный; \mathcal{E} – эргодический; $\mathcal{L}\mathcal{E}$ – локально-эргодический; $\mathcal{H}\mathcal{E}$ – неэргодический процесс изменения качества.

Выбор лучших технических методов идентификации качества (табл. 1) целесообразнее осуществлять по соответствию их уровням качества продукции. Выделим некоторые из них по глубине интеграции или дифференциации элементов продукции (плодов): 1 – объемный (плоды нескольких видов), 2 – групповой (плоды одного вида); 3 – единичный (плод); 4 – макроструктурный (участок плода); 5 – микроструктурный (компонент участка плода). Обозначим их соответственно Y_1, Y_2, \dots, Y_5 . Для этих уровней качества возможна разработка тождественных им технических средств контроля. Обозначим их аналогично уровням качества TC_1, TC_2, \dots, TC_5 и определим матрицу соответствия «уровни качества – средство контроля».

$$M = \begin{matrix} TC_1 \\ TC_2 \\ TC_3 \\ TC_4 \\ TC_5 \end{matrix} \begin{vmatrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & Y_5 \\ 1 & & & & \\ & 1 & & A & \\ & & 1 & & \\ & A & & 1 & \\ & & & & 1 \end{vmatrix},$$

где 1 – соответствие; A – множество других связей и соответствий.

Лучшим является тот метод, который позволяет контролировать наибольшее число уровней качества при наименьшем числе технических средств (минимальной себестоимости).

Таблица 1. Классификация технических методов идентификации методов

Методы идентификации качества	Информативные параметры метода
Механические	Плотность, удельная масса, удельный объем, коэффициенты: трения, качения, скольжения; парусность, размеры, форма.
Химические	Термохимия, электрохимия, осаждение осадка, промывание, растворение, экстрагирование, фильтрация
Физические	Удельная теплота, теплопроводность, проводимость, диэлектрическая проницаемость, объемный заряд, потенциал
Электромагнитные	Электрические и магнитные поля, рентгеновские лучи, ультрафиолетовые лучи, инфракрасные лучи, лазерное излучение

Механические методы измерения параметров качества, основанные на использовании средств измерения массы, объема и плотности, линейных размеров, не позволяют полностью отказаться от участия человека в работе, обладают низкой производительностью и информативностью, вследствие чего непригодны для макро- и микроструктурных оценок.

Физические методы контроля основаны на измерении электрических, диэлектрических, акустических параметров и позволяют увеличить количество контролируемых характеристик качества. Однако и они не отличаются высокой производительностью, информативностью, к тому же ограничиваются измерением одних макроструктурных свойств.

Химические методы позволяют оценивать микроструктурные показатели качества, такие как содержание белка, углеводов, липидов, витаминов, аминокислот, микроэлементов.

Однако такие методы слишком сложные, дорогостоящие и неоперативные, вследствие чего применяются только в качестве лабораторных.

При этом оценка качества плодов нуждается в оперативном методе контроля во время перемещения продукции или преобразования её из одного вида в другой без нарушения целостности продукта, то есть контроль должен быть неразрушающим, дистанционным.

В то же время **электромагнитные методы**, такие как радиоволновые, СВЧ, оптические, рентгеновские и изотопные в полной мере соответствуют современным требованиям. Оптические выделяются из перечисленных высокой точностью измерения качества и большим соответствием условиям технологии. Наиболее важные из них: технологический процесс не должен прерываться или менять скорость, оптическое излучение не должно сказываться на свойствах продукции.

Идентификация качества плодов посредством оптических свойств может быть реализована посредством системы технического зрения (СТЗ).

СТЗ должна состоять из оптического модуля с установленной структурной подсветкой и видеокамерой, электронного блока управления с интерфейсом и исполнительными механизмами сортировщика и конвейера для плодов.

Оптический модуль располагается над конвейером, по которому транспортируются яблоки. При такой схеме размещения оборудования для обеспечения многосторонней видеосъемки плодов необходимо обеспечить их равномерное вращение вокруг своей оси во время прохождения модуля оптического сортировщика.

Выводы

1. Повышение качества выполнения технологического процесса сортировки плодов возможно только внедрением в сельскохозяйственное производство автоматизированных средств идентификации качества без участия человека.

2. Наиболее рациональным методом идентификации качества плодов является оптический метод с использованием СТЗ, как обладающий точностью и стабильностью измерения, а также дистанционностью и высокой производительностью.

Список использованных источников

1. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
2. Юрин, А. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс] / А. Юрин, Д. Жданко // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protsesov-v-sadovodstve/>. – Дата доступа: 30.04.2018.
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. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.
4. 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.
5. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
6. Гурьянов Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Д.В. Гурьянов. – Мичуринск, 2004. – 37 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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 // Agr. Engineering Intern.: CIGR J. – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 171–178.
10. Lu, Y. 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)] / Y. Lu, R. Lu // Trans. of the ASABE. – 2017. – Vol. 60, N 4. – P. 1379–1389.
11. 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.

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. 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.

15. Detection of defects on selected apple cultivars using hyperspectral and multispectral image analysis [Разработка и лабораторные испытания простой мультиспектральной системы для обнаружения дефектов на поверхности яблок трех сортов. (США)]. P.M. Mehl [et al.] // Appl. Engineering in Agriculture. – 2002. – Vol. 18, N 2. – P. 219–226.

16 Li, C. Genetic algorithms (GAs) and evolutionary strategy to optimize electronic nose sensor selection [Генетические алгоритмы и стратегия развития выбора оптимальных сенсоров «электронного носа» к определению дефектов яблок. (США)] / C. Li, P. H. Heinemann, P. M. Reed // Trans. of the ASABE. – 2008. – Vol. 51, N 1. – P. 321–330.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ПОТОКА ПЛОДОВ ПРИ СОРТИРОВКЕ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. В данной статье приведен анализ способов автоматизированного разделения потока плодов при их сортировке оптическим методом посредством системы технического зрения. Обоснована схема работы исполнительного механизма делителя потока плодов и экспериментально определен алгоритм определения времени запаздывания срабатывания исполнительного механизма в зависимости от скорости движения главного конвейера.

Ключевые слова: плоды, поток плодов, разделение потока, исполнительный механизм, схема работы, математическое ожидание, траектория движения плода.

A. N. Yurin

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

AUTOMATED FRUIT FLOW DIVISION DURING SORTING BY VISION SYSTEM

Abstract. This article provides an analysis of methods for automated separation of the flow of fruits during their sorting by the optical method through a vision system. The operation scheme of the fruit flow divider operating mechanism is substantiated and the algorithm for determining the delay time of the actuator operation depending on the speed of the main conveyor is experimentally determined.

Keywords: fruits, fruit flow, flow separation, actuator, scheme of work, mathematical expectation, fetal movement trajectory.

Введение

Повышение производительности труда при сортировании плодов семечковых культур возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Такая сортировка должна осуществляться сканирующим устройством без участия или с частичным участием человека [1–7].

Из всех существующих методов идентификации качества плодов наиболее подходящим для автоматизации является метод оптического контроля посредством системы технического зрения, как метод, обеспечивающий высокую производительность и точность измерения контролируемых параметров.

Технологический процесс такой сортировки состоит из трех основных этапов: формирования потока, классификации и механическое разделение потока плодов на сорта.

При этом параметры устройства для разделения потока плодов определяют производительность машины и точность сортирования плодов в целом.

Поэтому обоснование параметров устройства для разделения потока плодов является важным этапом при создании автоматизированных средств контроля качества плодов.

Основная часть

Обоснование типа и схемы работы устройства для разделения потока плодов. Механическое разделение плодов – завершающий этап всего процесса сортировки. Положение плодов в пространстве может быть определено траекторией движения центров массы.

Исходное положение плодов перед разделением их на классы можно записать в виде вектор-столбца математического ожидания координат траекторий центров плодов:

$$M_p = \begin{pmatrix} \bar{m}_x \\ \bar{m}_y \\ \bar{m}_z \end{pmatrix},$$

где \bar{m}_x , \bar{m}_y , \bar{m}_z – математическое ожидание координат траекторий движения в трех измерениях: X , Y , Z .

Поскольку плоды имеют вероятностные геометрические характеристики, траектории движения центров плодов будут иметь разброс, характеризуемый ковариационной матрицей:

$$\Sigma_p = \begin{pmatrix} \sigma_{xx}^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{xz}^2 \\ \sigma_{yx}^2 & \sigma_{yy}^2 & \sigma_{yz}^2 \\ \sigma_{zx}^2 & \sigma_{zy}^2 & \sigma_{zz}^2 \end{pmatrix}.$$

В общем случае задача разделения потоков заключается в перемещении пространственных координат классов один относительно другого в физическом пространстве.

Принципиальная особенность задачи разделения – перемещение координат классов в физическом пространстве, размерность которого ограничена тремя координатами.

Важнейшими критериями качества разделения классов служат вероятность ошибки при выделении каждого класса в трехмерном физическом пространстве, а также средняя ошибка разделения классов, определяемая как взвешенная сумма ошибок выделения каждого класса. При разделении классов используем показатель качества разделения классов яблок – процент правильно выделенных объектов по всем классам, а также для каждого класса в отдельности. Вероятность ошибки – наиболее эффективный априорный критерий – может быть вычислена с использованием обучающей выборки:

$$P_{ош} = 1 - \sum_{i=1}^{A_n} \iiint p\left(x, y, \frac{z}{A_i}\right) P(A_i) dx dy dz,$$

где $p\left(x, y, \frac{z}{A_i}\right)$ – плотность распределения вероятностей вектора X , Y , Z при условии, что они принадлежат A_i ; $P(A_i)$ – априорная вероятность наличия класса A_i в исходном массиве плодов.

Вероятность ошибки работы исполнительного механизма зависит от разделяемых потоков плодов и типа потока. Для этого процесса необходимы следующие характеристики: координаты

в пространстве в момент вхождения в зону действия исполнительного механизма, время вхождения, скорость, траектория, расстояние от соседнего плода, размер и форма плода, ориентация, масса. Их можно разделить на группы: физические и пространственные. Если первая группа характеристик задается, то вторая зависит от типа потока, благодаря чему её параметры можно целенаправленно изменять.

Как правило, большинство сортирующих автоматов осуществляет разделение потоков плодов на два класса качества: здоровый – некондиционный, плод – примесь, нормальный (по форме) – уродливый и т.д. При этом в большинстве случаев разделение потоков осуществляется в пространстве контактным взаимодействием рабочего органа исполнительного механизма с каждым в отдельности объектом, классифицированным к отделению. Проконтролированные плоды, отрываясь от несущей рабочей поверхности, на которой каждому из них был установлен логический аналог качества 0 или 1, в свободном падении проходят зону действия исполнительного механизма. По командному сигналу блока управления исполнительный механизм, срабатывая, должен направлять объекты на соответствующие отводящие или технологические транспортеры.

В то же время при сортировке яблок в соответствии с требованиями СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» [8] необходимо разделение плодов на три сорта (высший, первый и второй). Кроме того, необходимо отделение некондиционных плодов, по своим качествам не относящихся ни к одному из указанных ранее сортов. В данной ситуации рациональным является применение нескольких отводных транспортеров, предназначенных для приема плодов трех сортов, перед которыми будут установлены исполнительные механизмы, осуществляющие сброс плодов соответствующих сортов на предназначенные им выводные транспортеры. Схема работы исполнительных механизмов приведена в таблице. В данном случае 0 – соответствует отсутствию управляющего сигнала на исполнительный механизм; 1 – управляющий сигнал на исполнительный механизм подан.

Схема работы исполнительного механизма при сортировке плодов на 4 сорта

Номер исполнительного механизма	Сорт плода			
	высший	первый	второй	бессортовой (Б/С)
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Из таблицы видно, что к моменту достижения транспортера с плодами четвертого исполнительного механизма плоды высшего, первого и второго сортов будут уже отделены от общего потока и все оставшиеся плоды будут соответствовать бессортовым яблокам, в связи с чем необходимость в использовании четвертого исполнительного механизма отпадает.

При этом, для снижения травмирования яблок, в качестве исполнительных механизмов необходимо использовать рабочие органы неударного типа, изменяющие траекторию движения плодов. Причем отклоняющее положение исполнительный механизм должен занимать до момента контакта с плодом. Рациональным для этих целей является использование соленоидов, управляемых путем высокоточной подачи управляющего сигнала блока управления на втягивание сердечника электромагнита.

Реализация исследований. На основе проведенных исследований в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 [9–11]. Сортировка плодов на линии осуществляется посредством системы технического зрения (рис. 1), состоящей из оптического модуля, электронного блока управления и конвейера.

В ЛСП-4 для разделения потока плодов использованы управляемые соленоиды (рис. 2), установленные на основном конвейере напротив каждого из четырех конвейеров для выходной продукции.

Управление соленоидами осуществляется из блока управления системой технического зрения линии.

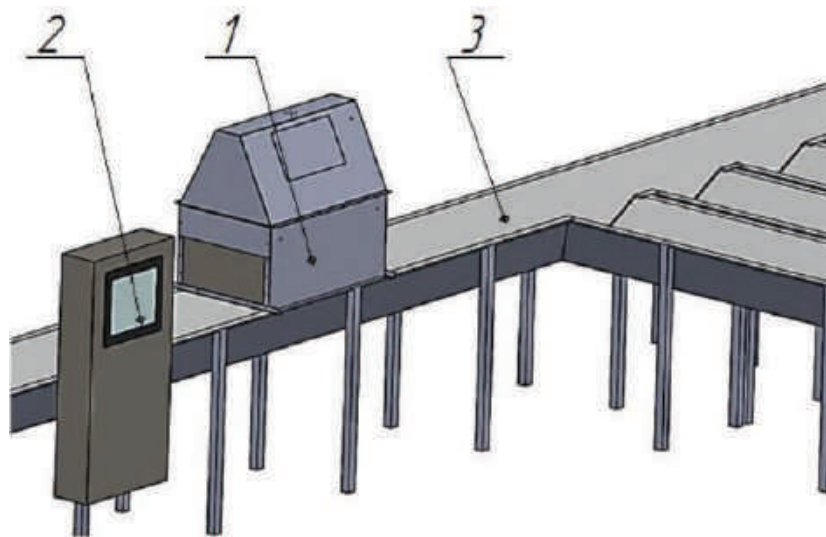


Рис. 1. Общий вид системы технического зрения: 1 – оптический модуль; 2 – электронный блок управления; 3 – конвейер



Рис. 2. Исполнительный механизм сбрасывателя плодов с управляемым соленоидом

Экспериментальным путем установлена зависимость времени начала $N_i^{\text{вкл}}$ и конца $N_i^{\text{выкл}}$ подачи управляющего сигнала на соленоид сбрасывателя яблок в зависимости от скорости движения главного конвейера:

$$\begin{cases} N_i^{\text{вкл}} = P_j + \frac{K_1 L - V(t_{\text{обр}} + t_{\text{ср}})}{K_2}, \\ N_i^{\text{выкл}} = N_i^{\text{вкл}} + \frac{V t_{\text{откл}}}{K_2}. \end{cases}$$

где i – уникальный номер яблока; P_j – расстояние в импульсах до j -го механизма сбрасывания, соответствующего распознанному классу качества данного яблока; K_1 – коэффициент пересчёта пикселей в метры; K_2 – коэффициент пересчета длины конвейера из импульсов в метры; L – расстояние центра распознанного яблока до края кадра в пикселях; V – скорость конвейера (м/с); $t_{\text{обр}}$ – время, затраченное на обработку последнего кадра i -го яблока (с); $t_{\text{ср}}$ – время срабатывания механизма сброса в секундах и $t_{\text{откл}}$ – время удерживания механизма сброса (с).

Испытания показали, что данная зависимость позволяет осуществлять сброс яблок на скоростях движения главного конвейера от 0,15 до 0,87 м/с с вероятностью 99,8%.

Выводы

1. Обоснована схема работы исполнительного устройства для разделения потока плодов при автоматизированной их сортировке на четыре сорта, использованная при разработке технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4.

2. Установлена зависимость времени начала и конца подачи управляющего сигнала на соленоиды разделения потока плодов, обеспечивающая точность срабатывания плодов 99,8% в диапазоне скоростей главного конвейера от 0,15 до 0,87 м/с.

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. Применение систем технического зрения в машинных технологиях в садоводстве / Г. И. Личман [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 10–17.
4. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М. : Колос, 1970. – 247 с.
5. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Зерноград, 2004. – 19 с.
6. 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.
7. 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.
8. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
9. 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.
10. Юрин, А. Н. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок / А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, А. А. Игнатчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларусі, Науч.-практ. центр НАН Беларусі по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 88–95.
11. Юрин, А. Н. Разработка системы технического зрения для распознавания дефектов плодов различных культур технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛПС-4 / А. Н. Юрин [и др.]. // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 17–18 октября 2019 г. / Нац. акад. наук Беларусі, Науч.-практ. центр НАН Беларусі по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2019. – С. 98–103.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

ФОРМИРОВАНИЕ ПОТОКА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКЕ ПЛОДОВ

Аннотация. В данной статье приведен анализ способов формирования потока плодов при их сортировке оптическим методом посредством системы технического зрения. Обоснован однопризнаковый тип потока с равномерным расстоянием между сортируемыми плодами и обоснован их шаг.

Ключевые слова: плоды, поток плодов, однопризнаковый тип потока, математическое ожидание, размер плода, шаг потока.

A. N. Yurin

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

FLOW FORMING IN AUTOMATIC SORTING FRUIT

Abstract. This article provides an analysis of the methods for forming a flow of fruits during their sorting by an optical method using a technical vision system. Justified one indicative type of flow with a uniform distance between sorted fruits and substantiated their step.

Keywords: fruit, fruit flow, one-attribute type of flow, mathematical expectation, fruit size, flow step.

Введение

Повышение производительности труда при сортировании плодов семечковых культур возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Такая сортировка должна осуществляться сканирующим устройством без участия или с частичным участием человека [1–8].

Из всех существующих методов идентификации качества плодов наиболее подходящим для автоматизации является метод оптического контроля, как бесконтактный метод, обеспечивающий высокую производительность и точность измерения контролируемых параметров.

Технологический процесс автоматической сортировки плодов состоит из трех основных этапов: формирования потока, классификации и механического разделения потока плодов на сорта.

На начальном этапе механическими устройствами формируется определенный вид потока плодов, который затем поступает в камеру оптического сортировщика, где происходит фотографирование плодов, и электронный блок управления распознает параметры плодов и выносит решение о присвоении плоду соответствующего класса. На выходе из модуля оптического сортировщика по команде электронного блока управления оптическим сортировщиком происходит механическое разделение единого потока плодов.

При этом способ формирования потока плодов и подача их в модуль оптического сортировщика для классификации во многом определяют конструктивные требования и режимы работы системы технического зрения в целом.

Поэтому определение типа формирования потока плодов и его основных параметров является важным этапом при создании автоматизированных средств контроля качества плодов.

Основная часть

Основная характеристика потока плодов – распределение плодов в физическом пространстве. Потоки, поступающие на контроль, можно представить в виде моделей, характеризующих математическим ожиданием, дисперсией расстояния между центрами плодов и размерностью пространства (таблица). Наиболее прост по описанию поток в одномерном пространстве с равноинтервальной подачей. Второй тип подачи отличается от первого переменным интервалом между центрами контролируемых плодов. На плоскости, то есть в двумерном пространстве, возможны разные сочетания потоков одномерного пространства с переменным и постоянными интервалами между плодами по осям X и Y . Кроме того, в каждом ряду на плоскости возможны свои параметры интервалов. Еще больше вариантов открывается при подаче потока в трехмерном пространстве. Аналогично вышерассмотренным типам подачи в этом случае возможны все сочетания $\Delta_i = var$ и $\Delta_j = const$ в трех измерениях.

Из приведенных в таблице типов потока очевидно, что наиболее просто поддающимся автоматизации является одномерный поток плодов с $\Delta_x = const$, т.к. при переменном расстоянии между плодами в потоке для корректной работы системы механического разделения отсортированных плодов необходимо применение дополнительных систем слежения за плодами, определяющих их точное положение после выхода из модуля оптического сортировщика.

Типы потоков в одно- и двухмерном пространствах

№ п/п	Тип потока	Расстояние между плодами	Характеристика потока	
			математическое ожидание расстояний	дисперсия распределения расстояний
1	Одномерный	$\Delta_x = const$	$ \Delta_x $	$ 0 $
2	Одномерный	$\Delta_x = var$	$ m_x $	$ \sigma^2 $
3	Двухмерный	$\Delta_x = const$ $\Delta_y = const$	$ \Delta_x $ $ \Delta_y $	$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$
4	Двухмерный	$\Delta_x = var$ $\Delta_y = const$	$ m_x $ $ \Delta_y $	$\begin{vmatrix} \sigma_{11}^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$
5	Двухмерный	$\Delta_x = const$ $\Delta_y = var$	$ \Delta_x $ $ m_y $	$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22}^2 \end{vmatrix}$
6	Двухмерный	$\Delta_x = var$ $\Delta_y = var$	$ $	$\begin{vmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12}^2 \\ \sigma_{21}^2 & \sigma_{22}^2 \end{vmatrix}$

Таким образом, рациональным является обеспечение **одномерного потока плодов**.

Необходимо выбрать признаки, по которым выстраивается поток. Возможно использование одного, двух и более признаков, при которых системы подачи плодов будут **одно-, двухпризнаковыми** и т.д.

В соответствии с СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» [3] плоды сортируются по размеру и наличию дефектов от вредителей, болезней и механических повреждений. При этом яблоки большинства сортов имеют шарообразную форму, которую можно охарактеризовать средним диаметром. При этом дефекты плодов, как правило, не вызывают значительного изменения формы яблока или его размера. Следовательно, основной физической величиной, характеризующей яблоки, является средний диаметр, который в дальнейшем взят за основу для определения параметров системы формирования потока плодов.

Таким образом, для выстраивания потока плодов при автоматической сортировке яблок достаточно использования одного признака – среднего диаметра яблок.

При этом размер плодов может изменяться в широких пределах. Так в соответствии с СТБ 2288-2012 ко второму сорту яблок относятся плоды с диаметром не менее 40 мм. В то же время наибольший размер плодов может достигать 95 мм. Таким образом, диапазон изменения размеров плодов принимаем от 40 до 95 мм.

Плотность вероятности распределения размеров подчиняется в большинстве случаев нормальному закону:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где X , m_x , σ – размер, математическое ожидание и разброс размеров плодов.

Для обеспечения автоматической сортировки в однопризнаковой системе подачи необходимо решение задачи поштучной подачи плодов, которая сводится к прохождению их через заданную ячейку. При этом через нее должен пройти любой плод, только два плода одновременно пройти не должны. Такая ячейка может быть описана постоянной плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{h_b - h_n}, \quad (2)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятности пропускной способности ячейки; h_b , h_n – верхняя и нижняя границы пропускной способности ячейки.

Плотность распределения вероятности выстраивания плодов по одному в общем случае может быть определена как плотность распределения системы независимых случайных величин $p(x)$ и $f(x)$. Вероятность выстраивания по одному в общем случае может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ед}} = \int_{h_n}^{h_b} p(x) f(x) dx. \quad (3)$$

Для нормального закона распределения плотности вероятности выстраивания плодов $p(x)$ с учетом выражения (2) вероятность выстраивания плодов имеет вид:

$$P_{\text{ед}} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{h_b - m_x}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{m_x - h_n}{\sigma} \right) \right],$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$.

Из выражения (3) вытекает, что наложение функции $p(x)$ и $f(x)$ позволяет выявить три области: от 0 до h_n – вероятность выстраивания плодов по два и более, от h_n до h_b – поштучно, от h_b до ∞ – вероятность, что плод не пройдет через ячейку из-за большого размера, то есть возможен затор. Плоды небольших размеров, оказываясь одновременно в зоне поштучного формирования, могут образовывать «двойки», то есть проходить по два сразу. Считая, что одновременно можно наблюдать в зоне контроля не более двух плодов, вероятность появления «двоек» можно определить по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \left[k_{\text{дв}} \int_0^{h_n} p(x) dx \right]^2,$$

где $k_{\text{дв}}$ – коэффициент появления «двойки».

В расчетах принимаем $k_{\text{дв}} = 1$.

В связи с тем, что плоды размером, близким к h_b , с трудом проходят через формирующее устройство, получается много «пропусков», то есть интервал между плодами дискретно меняется от Δ до $n\Delta$ (где $n = 2, 3, \dots$). Это снижает плотность потока и производительность. Поэтому целесообразно соблюдать условие:

$$h_b \approx (1,1 \dots 1,2)x_{\text{max}}.$$

Исходя из выражения (1), можно определить h_b с учетом дисперсии

$$h_b = m + \acute{\epsilon}\sigma,$$

где $\acute{\epsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Соответственно

$$h_n = \frac{h_b}{2} = \frac{m}{2} + \frac{\acute{\epsilon}\sigma}{2}.$$

С другой стороны, для систем поштучной подачи по одному признаку

$$h_n \leq x_{\text{min}} = m - \grave{\epsilon}\sigma.$$

где $\grave{\epsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Исходя из изложенного, принимаем однопризнаковый тип потока с постоянным расстоянием между плодами. В данном случае, зная размеры наибольших плодов, подлежащих сортировке, определяем размер ячейки устройства для формирования потока $h_b = 10,5$ см.

Заклучение

1. Обоснован одномерный поток плодов, основанный на одном признаке плода, среднем диаметре, с равномерным расстоянием между плодами в системе координат с равномерным расстоянием между сортируемыми плодами.

2. Определен рациональный размер шага ячеек для устройства формирования потока плодов, равный $h_b = 10,5$ см.

Список использованных источников

1. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
2. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М.: Колос, 1970. – 247 с.
3. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск: Госстандарт, 2012. – 11 с.
4. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д.В. Гурьянов; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Черноград, 2004. – 19 с.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 235 с.
6. Гордеев, А. С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – №2. – С.48–51.
7. Гордеев, А.С. Автоматизированная обработка яблок: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А.С. Гордеев; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.
8. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А.Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

СОЗДАНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрен процесс создания обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети системы технического зрения распознаванию дефектов плодов семечковых культур.

Ключевые слова: яблоко, изображение, дефект, лист, плодоножка, чашелистик, парша, градобоина, нажим, гниль, распознавание, обучающая выборка, искусственная нейронная сеть, система технического зрения.

A. N. Yurin

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

CREATING A TRAINING SAMPLE FOR AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK OF A VISION SYSTEM

Abstract. This article describes the process of creating a training sample for training an artificial neural network of a technical vision system to recognize defects in fruits of pome crops.

Keywords: apple, image, defect, leaf, peduncle, sepal, scab, hailstone, pressure, rot, recognition, training sample, artificial neural network, vision system.

Введение

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование, в процессе которого продукцию разделяют на сорта по качеству в зависимости от наличия дефектов. Эта операция осуществляется вручную при визуальном осмотре плодов рабочими, что требует большого количества ручного труда [1–6].

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 с использованием систем технического зрения, поскольку он обеспечивает высокую точность оценки качества и соответствует условиям технологии. В основу его функционирования положен принцип распознавания искусственной нейронной сетью внешних дефектов плодов, которые система сравнивает с запрограммированными в память машины образцами, получившими название «обучающая выборка».

Основная часть

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 оптимизации 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 в дальнейшем обучение ИНС проводилось именно этим методом.

Разметка изображений для создания обучающей выборки ИНС. Для обучения искусственных нейронных сетей, используемых в системе, необходимо создать обучающую выборку. С этой целью первым делом необходимо снять реальное видео движения яблок по конвейеру (рис. 1). Перед обучением ИНС собранные изображения поврежденных плодов размечались вручную. Для разметки изображений использовалась программа для обработки Labeling (рис. 2).



Рис. 1. Моментальный кадр движущихся яблок по конвейеру

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 бы их как дефект и не «забраковывала» плод (табл. 1). После этого происходит разметка всех обнаруженных дефектов.

Для корректной работы было предложено использовать 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобоина (табл. 2).

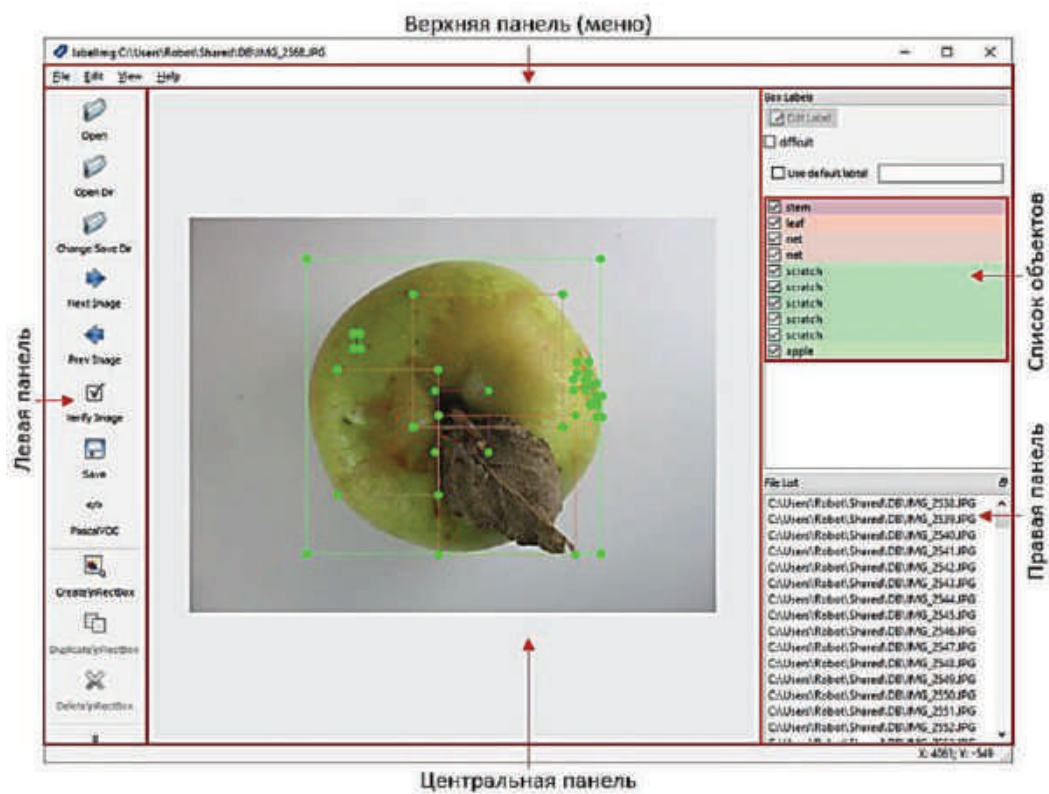


Рис. 2. Графическое окно приложения Labelimg

Таблица 1. Помологические особенности яблок

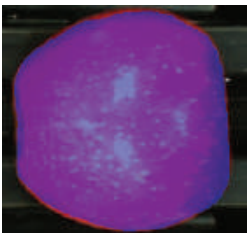
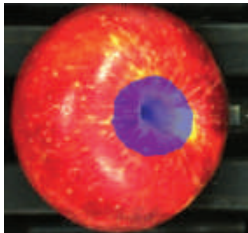
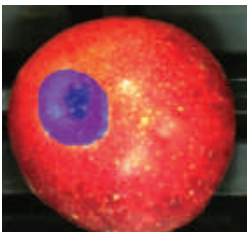



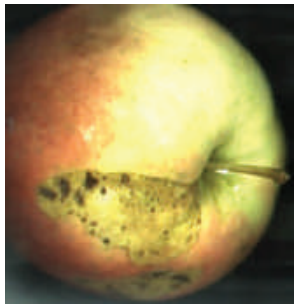
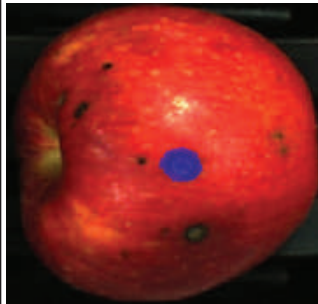
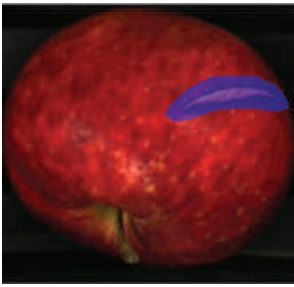







Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
apple	яблоко		funnel	«Воронка» плодоножки без плодоножки	
sepal	цветоложе		leg	Плодоножка без «воронки» (не видна)	
stam	«Воронка» плодоножки с плодоножкой		leaf	Лист	

Таблица 2. Дефекты яблок

Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
net	Сетка		point	Парша	
scratch	Порез, царапина		spotting	Парша	
pressure	Нажим		wart	Парша	
hail	Градобоина		lumps	Парша	
rot	Гниль		scab	Парша	

Некоторые из данных дефектов для корректной работы 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.

Отдельное внимание при создании обучающей выборки было 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. Однако если для 1 и 2 сорта плодов в соответствии с требованиями к качеству плодов по СТБ 2288-2012 допускается некоторое повреждение плодов, то даже небольшое загнивание плода приводит к его выбраковке (табл. 3) [7]. То есть четко разделять данные виды повреждений яблок является критически важным.

Распознаваемые объекты на изображениях яблок выделялись ограничивающими прямоугольниками одного из десяти классов: leaf (лист), sepal (чашелистик), stam (плодоножка), parsha (парша), net (сетка), pressure (нажим), rot (гниль), scratch (царапина), worm (червяк), apple (яблоко).

Таблица 3. Показатели качества выполнения технологического процесса сортировки плодов

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	2см 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	н/д	н/д
– «сетка»	н/д	до ¼ поверхности	допускается
– «парша»	н/д	до 2 см ²	2см ² –¼ поверхности

После формирования обучающей выборки и выбора подходящей архитектуры ИНС осуществлено ее обучение. Для этого на вход ИНС поочередно подавались 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 максимизировать оценку схожести. Обучение останавливается тогда, когда эта оценка достигает заранее установленного порога в 95 %.

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.

Реализация результатов исследований. Созданная обучающая выборка была использована в системе технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» Брестского района, аг. Остромечево в 2020–2021 годах. По результатам приёмочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 получен протокол № 004-1/3-2022 от 25 февраля 2022 года [8].

Анализ проведенных испытаний показал, что технологическая линия в целом 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 %.

Заключение

1. Создана база данных для глубокого обучения искусственной нейронной сети системы технического зрения для распознавания дефектов яблок и их сортировки на три товарных сорта.

2. Применение системы технического зрения с базой данных на основе ИНС с созданной базой данных дефектов плодов показало высокую эффективность при сортировке плодов, обеспечив точность сортирования плодов по размеру на 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – на 73,1 %.

Список использованных источников

1. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
2. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Черноград, 2004. – 19 с.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 235 с.
4. Гордеев, А. С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – №2. – С.48–51.
5. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А. С. Гордеев ; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.
6. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
7. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
8. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 99 с.

УДК 631.362:634.10

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОСМОТРА ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ

Аннотация. В данной статье приведено обоснование метода осмотра поверхности плодов при их сортировке посредством оптического метода с использованием системы технического зрения.

Ключевые слова: плоды, метод осмотра, вероятность осмотра, площадь плода, объект контроля, приемник излучения.

A. N. Yurin

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

SUBSTANTIATION OF THE INSPECTION METHOD 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, fruit area, control object, radiation receiver.

Введение

Наиболее трудоёмкий процесс производства плодов – контроль их качества, включающий сортировку с целью удаления нестандартной продукции и примесей. На эти операции приходится до 70 % всех затрат, они ведутся вручную при визуальном контроле [1–3].

Повышение производительности труда при сортировании плодов семечковых культур возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Такая сортировка должна осуществляться сканирующим устройством без участия или с минимальным участием человека.

Из всех существующих методов идентификации качества плодов наиболее подходящим для автоматизации является метод оптического контроля, как обладающий высокой точностью измерения качества и большим соответствием условиям технологии.

Поэтому обоснование основных параметров технических средств для оптического метода идентификации качества плодов является важной агроинженерной задачей.

Основная часть

Эффективная работа оптико-электронных систем контроля свойств плодов возможна только при попадании контролируемых признаков в зону осмотра и обнаружении их данными системами. В зависимости от целей контроля и свойств объектов разрабатываемые системы подразделяются на интегральные и сканирующие, а первые, в свою очередь, – на осматривающие весь плод и определяющие усредненные показатели всей поверхности плода или только части, попавшей в поле зрения.

Сканирующие оптико-электронные системы поэлементно просматривают всю поверхность плода для обнаружения геометрических признаков на плодах, наличия или отсутствия участков, пораженных болезнями, имеющих механические повреждения или инородных областей на поверхности плодов. Области дефектов имеют различную форму, размеры и случайное месторасположение на поверхности плодов, что уменьшает вероятность их попадания в поле обзора и полного совпадения с полем зрения сканирующей системы. В связи с этим для обнаружения малоразмерной области дефекта необходим тщательный осмотр плода.

Таким образом, для все типов оптико-электронных систем важна вероятность осмотра поверхности плода. Задача осмотра поверхности плода может быть охарактеризована вероятностью однократного осмотра

$$P_{осм_1} = \frac{S_{осм_1}}{S_{пл}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{осм_i} - \sum_{i=2}^n S_{осм_i}}{S_{пл}},$$

где $P_{осм_1}$ – вероятность однократного осмотра; $S_{осм_1}$ – площадь однократного осмотра поверхности плода; $S_{пл}$ – площадь поверхности плода; $S_{осм_i}$ – площадь поверхности, осматриваемая i раз.

Вероятность двукратного осмотра вычисляется по формуле

$$P_{осм_2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{осм_i} \sum_{i=3}^n S_{осм_i}}{S_{пл}} - P_{осм_1}.$$

Вероятность n -кратного осмотра:

$$P_{осм_n} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{осм_i}}{S_{пл}} - \sum_{i=1}^{n-1} P_{осм_i}.$$

Для оценки эффективности осмотра целесообразно контролируемые плоды представить в виде геометрической модели. Для этого можно использовать шар, эллипсоид, цилиндр, конус. Рассмотрим плод, описываемый шаром единичного радиуса. Оптико-электронную систему можно представить единичным радиус-вектором $r_0(x_0, y_0, z_0)$, координаты которого изменяются в зависимости от параметров оптико-электронной системы и перемещения плода.

Единичную сферу можно принять неподвижной, а положение оптико-электронной системы задавать единичным радиус-вектором $r_0(x_0, y_0, z_0)$, координаты которого зависят от положения.

Вращение вектора r_0 в трёхмерном пространстве можно описать в виде ортогонального линейного преобразования:

$$\begin{aligned}x_0' &= a_{11}x_0 + a_{12}y_0 + a_{13}z_0; \\y_0' &= a_{21}x_0 + a_{22}y_0 + a_{23}z_0; \\z_0' &= a_{31}x_0 + a_{32}y_0 + a_{33}z_0.\end{aligned}$$

В этом случае оптико-электронная система характеризуется конусом эффективного осмотра, который охватывает часть плода и может быть описан вращением радиус-вектора $\vec{r}_0(x_0, y_0, z_0)$, вокруг осей координат.

Матрицу преобразования $A \equiv [a_{jk}]$, описывающую собственное вращение в трёхмерном пространстве, можно представить в виде произведения трех матриц:

$$\begin{aligned}A &\equiv A_1(\alpha), A_2(\beta), A_3(\gamma) \equiv \\ &\equiv \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},\end{aligned}\quad (1)$$

где α, β, γ – углы поворота вокруг осей X, Y, Z соответственно.

Значения коэффициентов a_{jk} определяются как элементы матрицы произведения A из выражений:

$$\begin{aligned}a_{11} &= \cos \varphi \cos \gamma - \sin \varphi \sin \gamma \cos \alpha; \\a_{21} &= -\cos \varphi \sin \varphi - \sin \varphi \cos \varphi \cos \alpha; \\a_{31} &= \sin \varphi \sin \alpha; \\a_{12} &= \sin \varphi \cos \gamma + \cos \varphi \sin \gamma \cos \alpha; \\a_{22} &= \cos \varphi \cos \gamma \cos \alpha - \sin \varphi \sin \gamma; \\a_{32} &= -\cos \varphi \sin \alpha; \\a_{13} &= \sin \varphi \sin \alpha; \\a_{23} &= \cos \gamma \sin \alpha; \\a_{33} &= \cos \alpha.\end{aligned}$$

Для оценки полноты осмотра сфера разбивается на n элементарных участков, количество участков выбирается с учетом погрешностей результатов моделирования из соотношения

$$n \gg \frac{S_{пл}}{\pi d_a^2};$$

где d_a – разрешающая способность оптико-электронной системы.

Координаты центров указанных площадок вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}z_i &= \frac{n' + 1}{n'} - \frac{2i}{n}; \\x_{ij} &= \cos \varepsilon_j' \sqrt{1 - z_i^2}; \\y_{ij} &= \sin \varepsilon_j' \sqrt{1 - z_i^2}; \\ \varepsilon_j' &= j \frac{2\pi}{n}; \quad i = 1, 2, \dots, n'; \quad j = 1, 2, \dots, n' .\end{aligned}$$

Критерий осмотра элементарной площадки с центром в точке $M_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ – размер проекции площадки на плоскость, перпендикулярную $r_0(x_0, y_0, z_0)$, проходящую через начало координат (центр сферы) $S_{проекции} \geq \pi d_a^2$. Уравнение такой проекции имеет вид:

$$x_0x + y_0y + z_0z = 0.$$

Дополнительно этот критерий проверяется по условию взаимного расположения точек M_{ij} и точки $M_o(x_o, y_o, z_o)$ относительно плоскости, перпендикулярной $r_0(x_0, y_0, z_0)$ и проходящей через начало координат (центр сферы). Как известно, точки M_{ij} и M_o находятся по одну сторону плоскости, когда

$$D = x_o^2 + y_o^2 + z_o^2;$$

$$B_{ij} = x_0x_{ij} + y_0y_{ij} + z_0z_{ij}.$$

Так как $D = 1$, то критерием осмотра элементарной площадки может быть выполнение условия $B_{ij} > 0$.

Обзор, осуществляемый точечным приемником, находящимся на оси X , можно представить как поворот вокруг двух осей на угол соответственно $\pm\beta$ и $\pm\gamma$. Для тел, имеющих форму шара, угол $\beta = \gamma$. Для приемника на оси Y обзор представляется поворотом вокруг осей X и Z соответственно на угол $\pm\alpha$ и $\pm\gamma$.

Очевидно, чем больше углы поворота, тем выше $P_{осм}$. Так как $\sum_{i=1}^n S_{осми}$ не зависит от расположения приемников, то наиболее эффективен $P_{осм}$ при расположении фотоприемников с наименьшим перекрытием зон. Для приемников с одинаковыми свойствами наиболее эффективно с этой точки зрения расположение при двух приемниках – напротив, на одной из осей X, Y (рисунок), при трех приемниках – в углах равностороннего треугольника с центром в M_o , при четырех и более приемниках – в углах правильных многоугольников с центром в точке M_o .

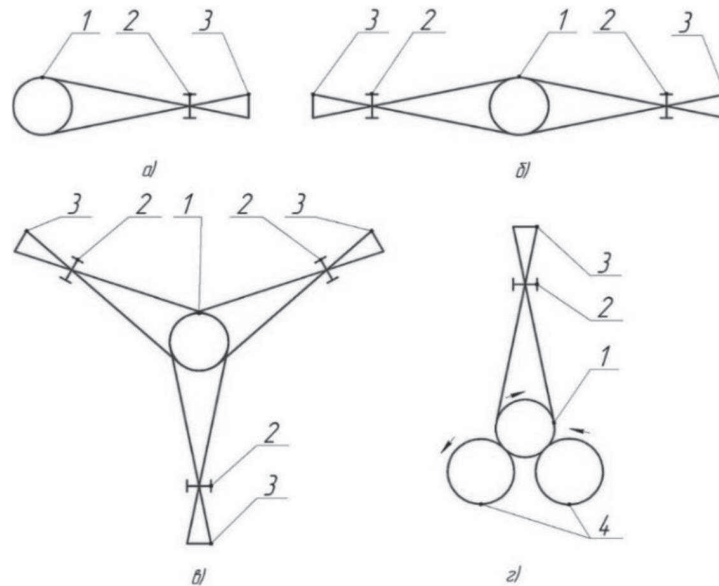


Схема расположения приемников при осмотре объектов: *a* – схема с одним приемником; *b* – схема с двумя приемниками; *v* – схема с тремя приемниками; *z* – схема осмотра с вращением объекта; 1 – объект контроля; 2 – объектив; 3 – приемник излучения; 4 – ролики

Для эффективного осмотра наряду с увеличением количества приемников и точек осмотра другим направлением повышения эффективности может быть поворот на заданный угол в пространстве самого объекта.

Подобный способ осмотра поверхности реализован в технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [3].

Выводы

1. Для качественного выполнения идентификации качества плодов важным является наиболее полный осмотр поверхности плода.

2. Наиболее рациональным способом осмотра поверхности плода является применение СТЗ с одним приёмником излучения, который осуществляет осмотр объекта контроля, осуществляющего вращение вокруг собственной оси.

Список использованных источников

1. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.

2. Юрин, А. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс] / А. Юрин, Д. Жданко // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protssessov-v-sadovodstve/>. – Дата доступа: 30.04.2018.

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.

УДК 631.171

Поступила в редакцию 19.10.202
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ В САДОВОДСТВЕ БЕЛАРУСИ

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос определения границ экономической эффективности различных агрегатов для механизации наиболее трудоемких процессов возделывания интенсивных садов в природно-производственных условиях Республики Беларусь, таких как уборка плодов и ягод, обрезка деревьев, утилизация обрезанных веток и сортировка плодов.

Так при выполнении указанных операций один и тот же агрегат в одних условиях при одном объеме работ может быть самым эффективным из ряда других, при ином же объеме работ он может оказаться недостаточно эффективным.

Выполнение данных технологических операций возможно, как с применением ручного труда, так и с использованием машинно-тракторных агрегатов различной производительности. Обоснование выбора способа выполнения операций проводилось на основе анализа удельных затрат при различной годовой наработке. При выборе агрегатов для проведения уборочных работ учитывались также потери урожая от нарушения агротехнических сроков.

В процессе исследования установлено, что применение механизированных средств для выполнения уборки плодов, обрезки деревьев и сортировки плодов целесообразнее, чем применение ручного труда при годовой выработке более 18 га, 130 га и 750 т соответственно. Уборка ягод смородины и аронии полурядным комбайном эффективна при годовой выработке не более 35 га, при большем годовом объеме работ целесообразно применение однорядного самоходного ягодоуборочного комбайна.

Ключевые слова: сады интенсивного типа, ручной труд, механизация, уборка плодов, обрезка деревьев, сортировка плодов, утилизация веток, затраты труда, себестоимость, экономическая эффективность, ягодоуборочной платформа, ягодоуборочный комбайн, измельчитель веток, потери урожая, агротехнические сроки.

A. N. Yurin

RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

SUBSTANTIATION OF THE PERFORMANCE OF MECHANIZATION IN BELARUS GARDENING

Abstract. This article discusses the issue of determining the boundaries of the economic efficiency of various units for the mechanization of the most labor-intensive processes of cultivating intensive orchards in the natural and production conditions of the Republic of Belarus, such as harvesting fruits and berries, pruning trees, recycling cut branches and sorting fruits.

So, when performing these operations, the same unit in one and the same conditions with one amount of work may be the most efficient of a number of others, with a different amount of work it may not be effective enough.

The performance of these technological operations is possible both with the use of manual labor and with the use of machine-tractor units of various capacities. The rationale for choosing the method of performing operations was carried out on the basis of an analysis of unit costs for various annual operating hours.

When choosing units for harvesting, crop losses from violation of agrotechnical terms were also taken into account. In the course of the study, it was found that the use of mechanized means for harvesting fruits, pruning trees and sorting fruits is more expedient than the use of manual labor with an annual output of more than 18 ha, 130 ha and 750 tons, respectively. Harvesting currant and chokeberry berries with a semi-row harvester is effective with an annual output of no more than 35 hectares; with a larger annual volume of work, it is advisable to use a single-row self-propelled berry harvester.

Keywords: high-type orchards, manual labor, mechanization, fruit harvesting, tree pruning, fruit sorting, branch disposal, labor costs, cost, comparable efficiency.

Введение

Постоянное повышение уровня технической оснащенности сельскохозяйственных процессов объясняется стремлением снизить до минимума затраты на проведение технологических операций и повысить производительность труда. Особенно это актуально для садоводства как наиболее трудоёмкой отрасли сельского хозяйства, где уровень механизации не превышает 15–20 % [1–6].

Очевидно, что данные требования вступают в противоречие между собой, так как повышение производительности в основном достигается увеличением ширины захвата машин и рабочей скорости их движения, что приводит к росту массы, усложнению машин и в конечном итоге увеличению удельных затрат на их эксплуатацию и себестоимость производимой продукции.

В то же время нарушение агротехнических сроков проведения сельскохозяйственных работ приводит к увеличению потерь и недобору урожая.

Таким образом, задача определения экономической эффективности применения различных средств механизации интенсивного садоводства является актуальной агроинженерной задачей.

Ранее изучению данного вопроса были посвящены труды таких ученых, как И.И. Пиуновский, И.Н. Матвеев, Н.В. Спириданчук, С.В. Щитов, Д.В. Саклаков, В.А. Гаспарский и другие [7–12].

Цель работы – обосновать применение средств механизации для интенсивного садоводства Беларуси в зависимости от объема годовой наработки и потерь урожая от срыва агротехнических сроков проведения операций.

Основная часть

Технология возделывания интенсивного яблоневого сада [13] предусматривает выполнение 42 технологических операций. Затраты финансовых средств и потребное количество работников для выполнения данных операций отражены на рис. 1 и 2. Из графиков, представленных на рисунках, видно, что затраты и потребность в рабочих для различных операций разнятся. Наиболее затратными являются операции по уборке плодов и транспортировке урожая из сада (операции 30 и 31), обрезка деревьев (операция 40), сортировка плодов (операция 42), а также утилизация обрезанных веток (операции 1, 2, 3).

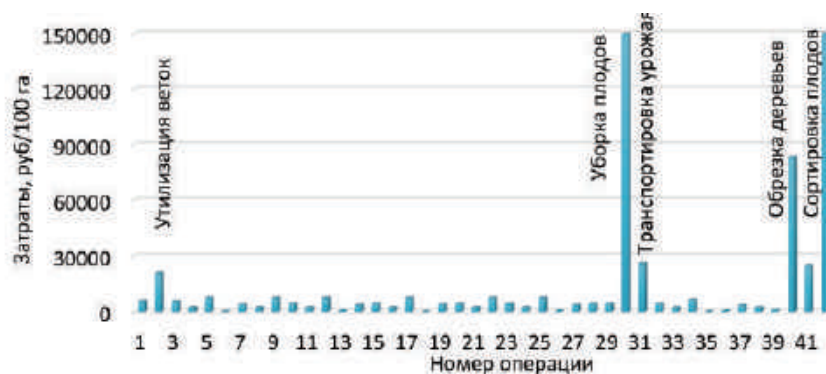


Рис. 1. Затраты финансовых средств на выполнение технологических операций по возделыванию яблоневого сада площадью 100 га по традиционной технологии

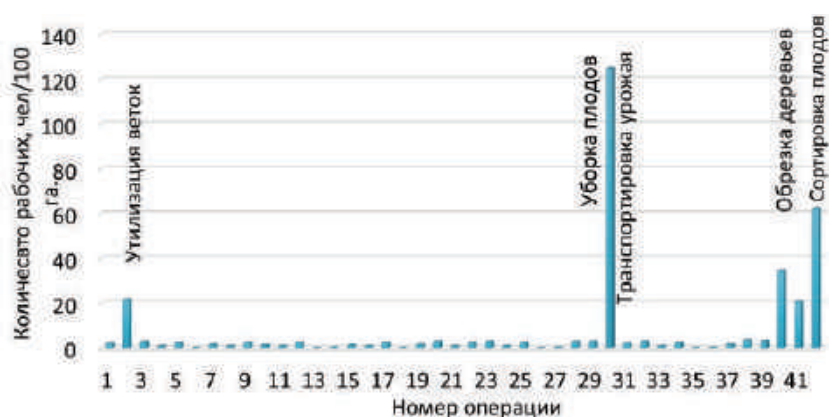


Рис. 2. Потребное количество рабочих на выполнение технологических операций по возделыванию яблоневого сада площадью 100 га по традиционной технологии

В настоящее время данные операции выполняются или целиком вручную, или с минимальным использованием простейших средств механизации, что негативно сказывается на производительности труда по каждой операции и себестоимости производства конечного продукта.

Очевидно, что именно эти операции в значительной мере определяют качество получаемого продукта и его конкурентоспособность на рынке.

В настоящее время существуют средства механизации, способные уменьшить количество ручного труда на выполнение данных операций и снизить затраты на их проведение. Однако применение дорогостоящих и технически сложных машин также может негативно сказаться на себестоимости производимой продукции.

В связи с этим проведено экономическое обоснование применения технических средств для механизации возделывания многолетних насаждений, которое позволило бы минимизировать затраты труда и себестоимость производства плодово-ягодной продукции, так как один и тот же агрегат в одних условиях, при одном объеме работ может быть самым эффективным среди других, при ином же объеме он может оказаться недостаточно эффективным [11, 12].

Минимизация затрат на производство механизированных работ зависит от многих факторов, которые можно представить уравнением удельных затрат

$$I = B + \frac{A}{W_{сез}}, \quad (1)$$

где I – удельные затраты, руб./га; B – пропорциональные затраты, руб./га; $W_{сез}$ – сезонный объем данной работы, выполняемый машино-тракторным агрегатом, га; A – условно-постоянные затраты, руб.; $\frac{A}{W_{сез}}$ – удельные условно-постоянные затраты, руб./га.

Если одну и ту же работу можно выполнить двумя способами, необходимо определить границы наиболее эффективного применения этих способов.

Так, уборку ягод смородины, аронии можно осуществлять посредством однорядного (Victor, фирма Weremczuk, РП) или полурядного комбайна (Беларус-321 + Jarek 5, фирма Jagoda, РП).

Рассмотрим решение этой задачи.

Удельные затраты по двум способам можно представить в виде следующих функций:

$$I_1 = \frac{A_1}{W_{\text{сез}}} + B_1; \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{A_2}{W_{\text{сез}}} + B_2; \quad (3)$$

Решая эту систему уравнений, получаем

$$I = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_1 - A_2}, \quad (4)$$

что записывается как частное определителей

$$I = \frac{\begin{vmatrix} A_1 B_1 \\ A_2 B_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_2 & 1 \end{vmatrix}}. \quad (5)$$

Таким же образом находим:

$$W_{\text{сез}} = \frac{A_1 - A_2}{B_2 - B_1}, \quad (6)$$

или в форме определителей

$$W_{\text{сез}} = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_2 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & B_1 \\ 1 & B_2 \end{vmatrix}}. \quad (7)$$

Система уравнений (2) и (3) имеет решение при условии

$$\begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_2 & 1 \end{vmatrix} \neq 0; \quad \begin{vmatrix} 1 & B_1 \\ 1 & B_2 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Решением системы является точка Р с координатами $W_{\text{сез } p}$ и I_p , которая является точкой пересечения двух функций. В данной точке выполняется условие $I_1 = I_2$, т.е. при объеме работы $W_{\text{сез } p}$ оба способа уборки равнозначны.

Точка Р есть точка границы применения обоих методов. Исходя из того, что функции уравнений (2) и (3) непрерывные во всей области их существования, то достаточно исследовать их поведение в одном интервале.

Проводя исследование в интервале I, достаточно найти, для какого метода удельные затраты при объеме работы $W_{\text{сез}} = 1$ будут наименьшими, т.е.

$$I_1 = A_1 + B_1, \quad (8)$$

$$I_2 = A_2 + B_2. \quad (9)$$

Если $I_1 > I_2$, то в интервале II более экономичен метод 2, а в интервале I – метод 1.

В развернутой форме функции (2) и (3) можно представить в следующем виде:

$$I_1 = \sum \frac{A_1}{W_{сез}} \alpha_1 + R_{кр1} + \sum R_{ТР,ТО1} + 3_1 + F_1; \quad (10)$$

$$I_2 = \sum \frac{A_2}{W_{сез}} \alpha_2 + R_{кр2} + \sum R_{ТР,ТО2} + 3_2 + F_2; \quad (11)$$

$$B_1 = R_{кр1} + \sum R_{ТР,ТО1} + 3_1 + F_1; \quad (12)$$

$$B_2 = R_{кр2} + \sum R_{ТР,ТО1} + 3_2 + F_2. \quad (13)$$

где α – норма амортизационных отчислений; $R_{кр}$ – отчисления на капитальный ремонт, руб./га; $R_{ТР,ТО}$ – отчисления на текущий ремонт и техническое обслуживание, руб./га; 3 – заработная плата механизатора, руб./га; F – стоимость топлива, руб./га.

Находим условия $I_1 = I_2$, т.е. определяем значения сезонной наработки $W_{сез}$, при которой затраты в случае использования обоих способов будут равными.

Данное условие, как было определено выше, выполняется в случае соблюдения равенства

$$W_{сез} = W_{сез p} = \frac{A_1 - A_2}{B_2 - B_1}, \quad (14)$$

или

$$W_{сез p} = \frac{A_1 - A_2}{(R_{кр2} + \sum R_{ТР,ТО2} + 3_2 + F_2) - (R_{кр1} + \sum R_{ТР,ТО1} + 3_1 + F_1)}. \quad (15)$$

Далее определяем:

$$A_1 = Cб_1 \alpha_1 \gamma_1 + Cб_2 \alpha_2 \gamma_2; \quad (16)$$

$$A_2 = Cб_3 \alpha_3 \gamma_3. \quad (17)$$

где $Cб_1$ – балансовая стоимость трактора Беларус-321, руб.; $Cб_2$ – балансовая стоимость комбайна Jarek 5, руб.; $Cб_3$ – балансовая стоимость самоходного комбайна Victor, руб.; γ – удельный вес работы в годовом объеме выполняемых работ.

Подставляя в уравнение значения составляющих, получим, что оба способа уборки ягод будут равноценны при сезонной наработке, равной 60 га (рис. 3).

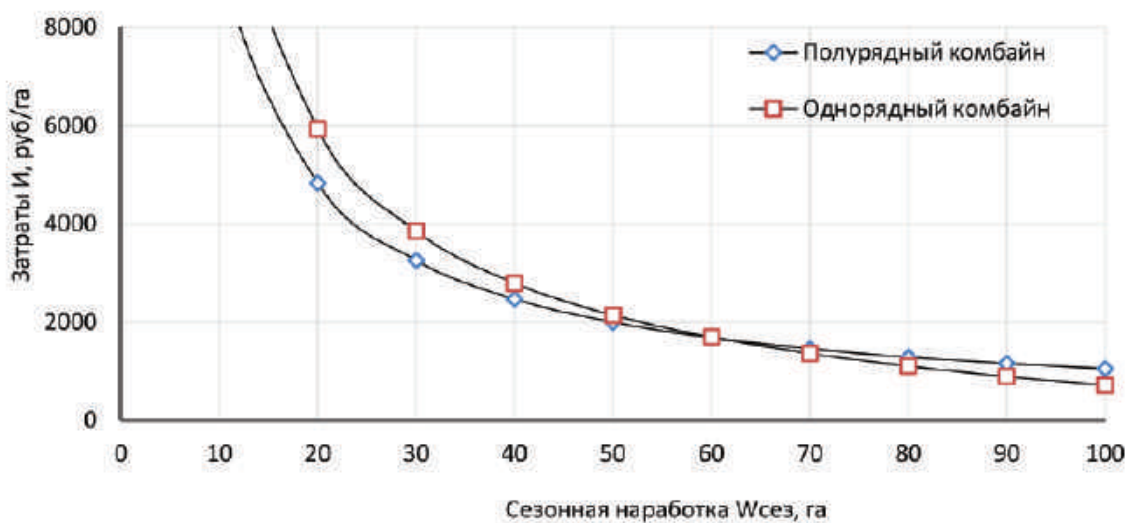


Рис. 3. График сравнительной эффективности применения одно- и полуэридного ягодоуборочных комбайнов на уборке ягод смородины

При этом до сезонной наработки в 60 га экономически целесообразнее на уборке ягод применять полурядный ягодоуборочный комбайн типа Jarek 5 в агрегате с трактором Беларус-321, а при наработке более 60 га более выгодным становится применение однорядного самоходного комбайна Viktor.

Проведем аналогичные расчеты эффективности для операций уборки плодов семечковых культур, сортировки яблок, обрезки деревьев и утилизации обрезанных веток.

Уборка плодов традиционно проводится вручную. Производительность труда при таком способе уборки составляет 0,1 т/ч. Производительность уборки плодов при использовании ягодоуборочных платформ Munchhof Pluck-o-Track составляет 0,25–0,35 т/ч – на каждого сборщика, то есть в 2,5–3,5 раза выше.

При сортировке плодов ручным способом производительность труда низкая (0,1–0,6 т/см.). Автоматизированная сортировка плодов посредством технических линий позволяет получить производительность в 2,0–3,0 раза выше. Так, линия голландского производства Aweta Rollerstar CV-C3.1-7+1 обеспечивает производительность труда в 2,5 т/ч. Стоимость такой линии составляет 150–200 тыс. евро, а количество обслуживающего персонала – 7 человек.

Значительные затраты средств и труда требуются на ежегодную обрезку деревьев и утилизацию обрезанных веток при возделывании многолетних насаждений [1].

Традиционно обрезка деревьев выполняется вручную и весьма трудоемка, однако существуют средства механизации, облегчающие детальную обрезку, в частности, с применением пневмосекаторов, установленных на специализированных самоходных платформах типа Pluck-o-Track фирмы Munchhof, Нидерланды и др. [14–18]. Технология утилизации веток со сгребанием (Беларус-921 с волокушей ВСН-2,5), погрузкой (Амкодор-352С-02) и вывозом древесных отходов за пределы сада (Беларус-921 с прицепом 2ПТС-6) также трудоемка и требует большого количества ручного труда вспомогательных рабочих при выполнении операции сволакивания веток. При этом использование специальной машины типа Perfect 116-180 позволяет полностью механизировать технологический процесс и измельчать ветки непосредственно в междурядьях сада [19–22].

Осуществив расчет затрат по указанным позициям, получим следующие зависимости затрат от сезонной наработки, графическая интерпретация которых представлена на рис. 4–7.

Из графиков, представленных на рисунках, видно, что уборка плодов механизированной ягодоуборочной платформой эффективнее ручного труда при сезонной наработке более 70 га, механизированная обрезка деревьев посредством пневмоинструмента – при наработке более 130 га, автоматическая сортировка плодов линией с системой технического зрения – при наработке более 750 т. Утилизация же веток в междурядье сада посредством их валкования и измельчения эффективнее во всем диапазоне наработки.

В то же время рассмотренные функции затрат представляют удельные приведенные затраты, связанные с работой машин и агрегатов. Однако такой расчет затрат имеет недостаток, так как не учитывает влияния продолжительности выполнения работ на сбор и качество урожая.

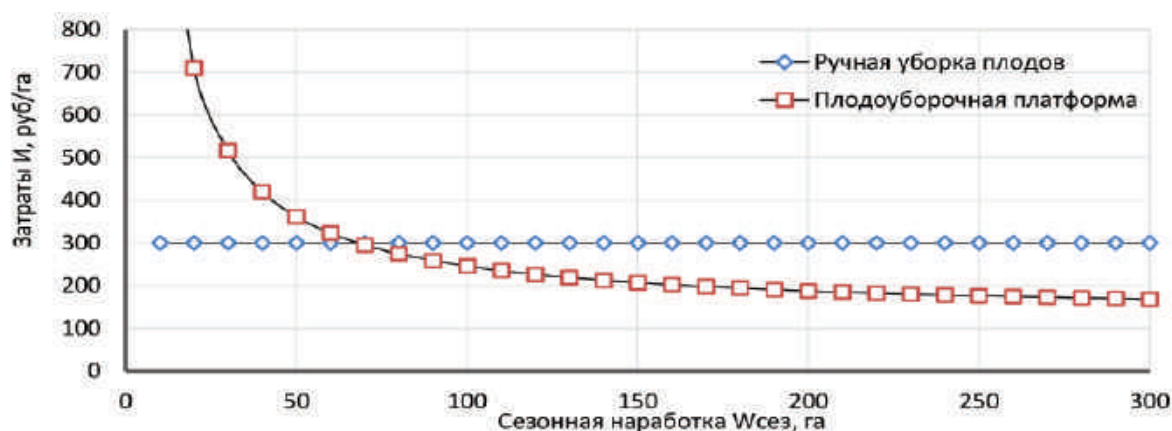


Рис. 4. График сравнительной эффективности применения различных способов уборки плодов семечковых культур

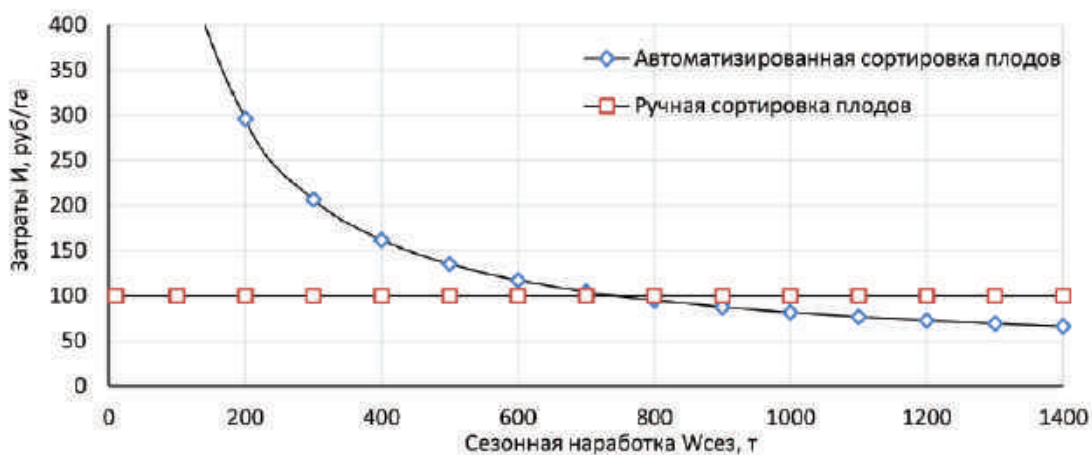


Рис. 5. График сравнительной эффективности применения различных способов сортировки плодов

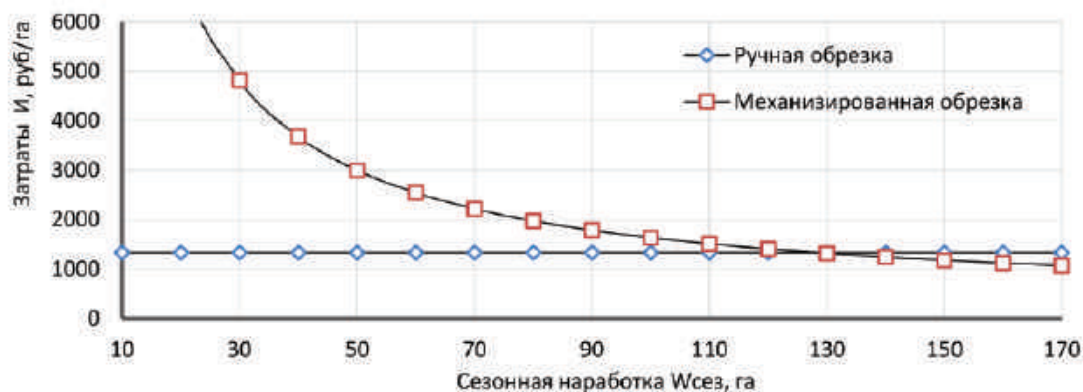


Рис. 6. График сравнительной эффективности применения различных способов обрезки деревьев

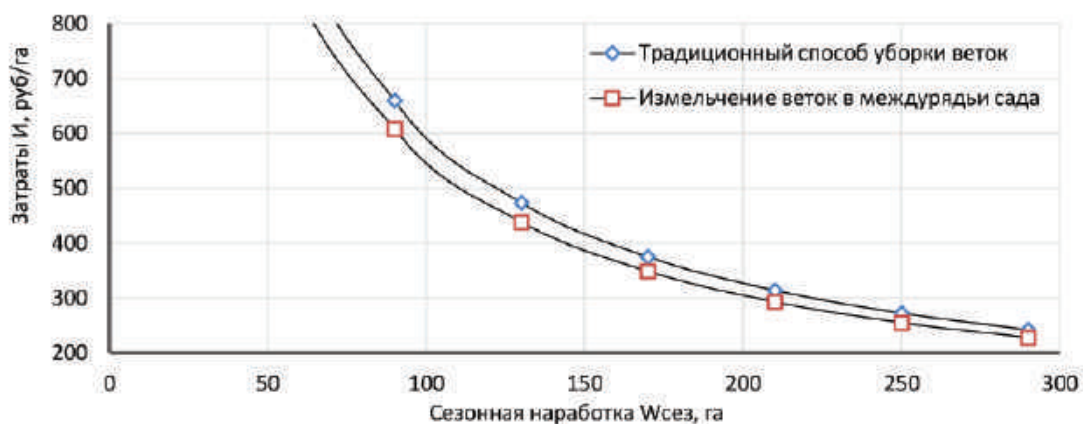


Рис. 7. График сравнительной эффективности применения различных способов утилизации обрезанных веток плодовых деревьев

При этом аграрное производство отличается от других видов производств тем, что предъявляет строгие требования к срокам проведения работ. Значительное их отклонение от оптимальных приводит к уменьшению валового сбора и снижению качества продукции. Размер же получаемых издержек многократно превышает затраты на выполнение операций агрегатами.

Изменение сбора урожая в зависимости от продолжительности выполнения работ может быть представлено степенной зависимостью от времени

$$Y_i = E D_p^2 + B D_p + Y_0, \quad (18)$$

где V_i – изменения сбора урожая, ц/га; E – коэффициент уравнения, ц/га·день²; B – коэффициент уравнения, ц/га·день; D_p – продолжительность выполнения процесса, дни; V_o – урожайность, соответствующая выполнению работ в оптимальные агросроки, ц/га.

Исследование функции на экстремумы позволило определить зависимость для определения оптимальной продолжительности выполнения процесса:

$$D_p = 0,3 \sqrt{\frac{C_o \cdot \alpha \cdot \kappa_g}{0,05 \cdot I \cdot C_u \cdot W_u \cdot T_p}}, \quad (19)$$

где D_p – продолжительность работы, дни; C_o – балансовая стоимость машины, руб.; κ_g – доля времени выполнения данного процесса по отношению к общей продолжительности применения машины в течение года; C_u – товарная цена единицы продукции, руб./ц; W_u – часовая производительность агрегата, т/ц; га/ч; T_p – продолжительность времени смены, ч.

Очевидно, что в рассматриваемых нами ранее операциях возделывания наибольшее влияние на валовый сбор урожая оказывает продолжительность уборочных операций. Поэтому далее будем рассматривать два процесса: уборка яблок (ручная и механизированная) и уборка ягод (полурядным и однорядным комбайнами).

Анализ функции $V_i = f_i(D_p)$ позволил установить, что в пределах значений D_p возможна аппроксимация зависимости, т.е.

$$V_T = V_O - \kappa'_n V_O D_{HO}, \quad (20)$$

или

$$V_T = V_O (1 - \kappa'_n D_{HO}). \quad (21)$$

где V_T – текущая урожайность, ц/га; κ'_n – коэффициент учета потерь урожая, доля/день, при увеличении длительности выполнения операции сверх агротехнического срока; D_{HO} – продолжительность выполнения работ сверх агротехнического срока, дней.

Тогда общие потери урожая от нарушения сроков проведения операций определяются из выражения

$$P_y = V_O - V_T \quad (22)$$

В настоящее время крупнотоварные хозяйства осуществляют производство десертных плодов для длительного хранения и реализации на экспорт. В связи с этим уборку плодов необходимо осуществлять в оптимальные агротехнические сроки. Так, преждевременная уборка плодов приводит к снижению урожая от падалицы и убыли массы плодов при хранении в размере 1–2 % в день вследствие увеличения сроков проведения операции. В ягодоводстве наблюдается аналогичная ситуация [1].

Таким образом, потери урожая плодов от нарушения сроков уборки могут быть представлены в виде зависимости, приведенной на рис. 8.

Тогда зависимость эффективности применения средств механизации от сезонной наработки при уборке плодов и ягод будут выглядеть следующим образом (рис. 9, 10).

Таким образом, можно утверждать, что применение механизированной уборки яблок более эффективно при сезонной наработке от 18 до 34 га по сравнению с ручным трудом, а применение однорядного ягодоуборочного комбайна окупается при сезонной наработке более 35 га.

Практические исследования

В настоящее время в Беларуси насчитывается более 70 крупных садоводческих организаций (с площадью садов от 100 га и выше), возделывающих плодовые и ягодные культуры [24–25]. 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

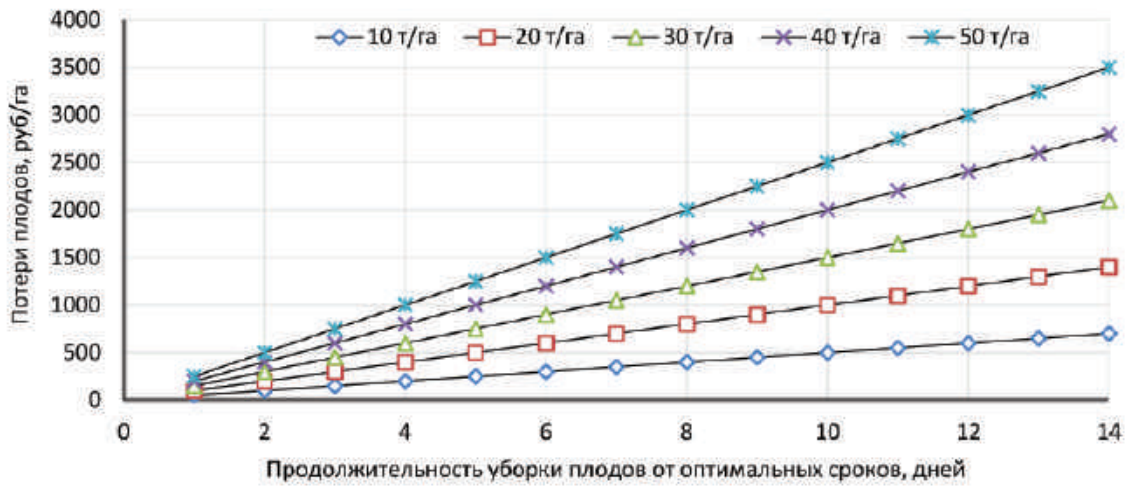


Рис. 8. График зависимости потерь плодов от затягивания сроков их уборки при различной урожайности яблоневого сада

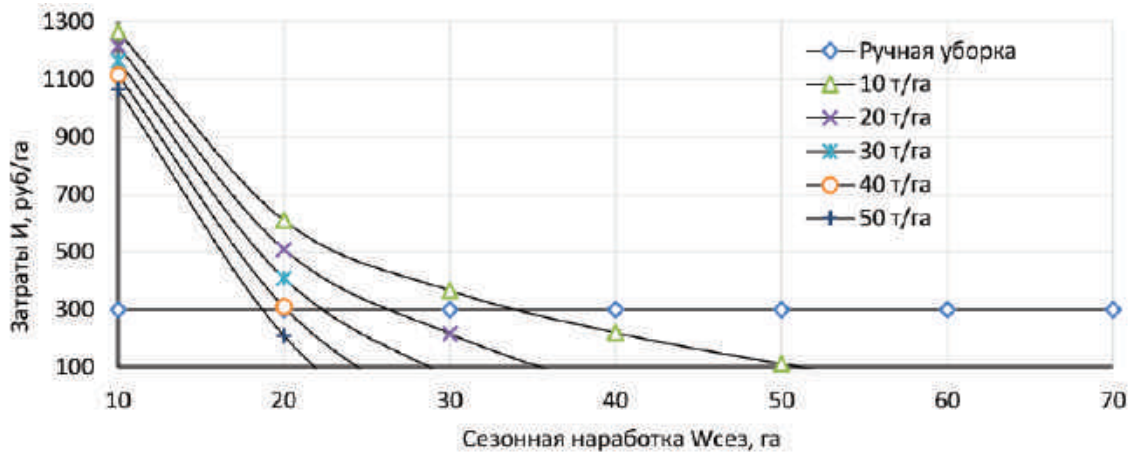


Рис. 9. График сравнительной эффективности применения различных способов уборки плодов семечковых культур с учетом потерь урожая от нарушения агротехнических сроков уборки

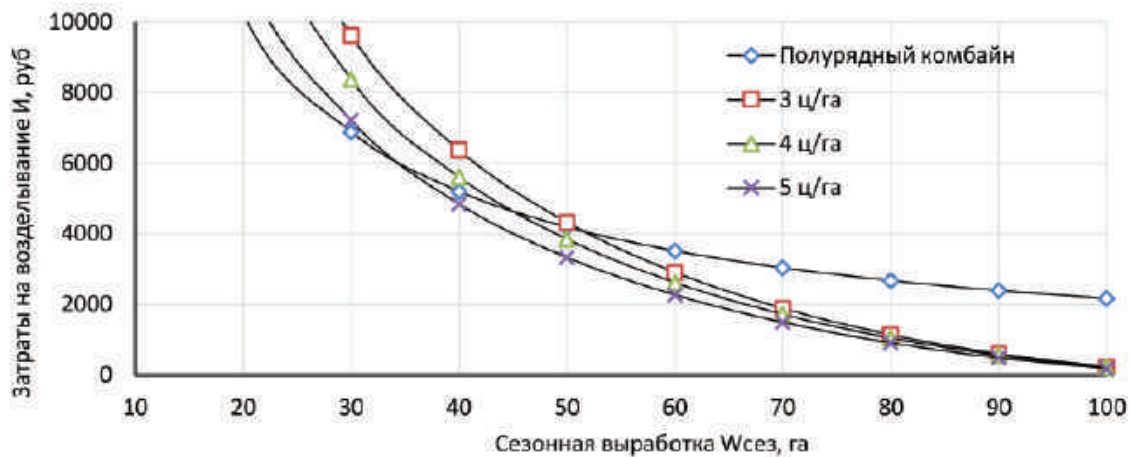


Рис. 10. График сравнительной эффективности применения различных способов уборки ягод семечковых культур с учетом потерь урожая от нарушения агротехнических сроков уборки

уборки ягод смородины, аронии (рис. 11), агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур (рис. 12), комплекс уборки веток КУВ-1,8, предназначенный для утилизации обрезанных веток плодовых деревьев (рис.13), и технологическая линия ЛСП-4 для сортировки яблок посредством системы технического зрения (рис. 14).



Рис. 11. Прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ



Рис. 12. Агрегат самоходный универсальный для сбора плодов и обрезки деревьев АСУ-6



а

б

Рис. 13. Комплекс уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8: а – валкователь веток; б – измельчитель веток.



Рис. 14. Технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4

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

Выводы

1. Технология утилизации обрезанных веток плодовых деревьев непосредственно в междурядье сада посредством валкователя-измельчителя ветвей эффективнее традиционной технологии при любой сезонной выработке агрегата.

2. Эффективность уборки плодов и ягод посредством средств механизации зависит не только от сезонной выработки, но и от потерь урожая от несоблюдения агросроков уборочных работ.

3. Применение механизированных средств для уборки плодов, обрезки деревьев и сортировки плодов целесообразно при годовой выработке технических средств более 18 га, 130 га и 750 т соответственно. Уборка полурядным комбайном эффективна до 35 га. При большем годовом объеме работ целесообразно применение однорядного ягодоуборочного комбайна.

Благодарности. Работа выполнялась в рамках заданий подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг., а также ОНТП «Импортозамещающая продукция» 2010–2015 гг.

Список использованных источников

1. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.]; под общ. ред. М. И. Куликова. – М.: Росинформагротех, 2012. – 164 с.
2. Юрин, А. Н. Механизация трудоемких процессов в садоводстве / А. Юрин, Д. Жданко // Наука. – 2016. – 15 февр. – С. 4.
3. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси [Электронный ресурс] / Я. П. Лобачевский [и др.] // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/razvitie-tehnicheskikh-sredstv-dlya-vozdelvaniya-mnogoletnih-nasazhdenij-v-sadovodstve-rossii-i-belarusi/> – Дата доступа: 30.04.2018.
4. 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 Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.
5. 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.
6. Казакевич, П. П. Интенсивное садоводство: механизация валкования обрезанных веток / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2020. – Т. 58. – № 4. – С. 483–494.
7. Пиуновский, И. И. Интенсификация технологических процессов производства кормов из трав механико-химической обработкой: дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / И. И. Пиуновский. – Минск, 1992. – 388 л.

8. Матвеев, И. Н. Обоснование выбора технологии и состава машинно-тракторного агрегата с использованием коэффициента энергообеспеченности / И. Н. Матвеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары. – 2021. – С. 131–136.
9. Щитов, С. В. Влияние энергозатрат на выбор энергетического средства / С. В. Щитов, Н. В. Спириданчук, Е. С. Поликутина // Научное обозрение. – 2014. – № 8 (2). – С. 535–538.
10. Щитов, С. В. Оценка полных энергозатрат машинно-тракторных агрегатов на предпосевной обработке почвы / С. В. Щитов, О. П. Митрохина // Научное обозрение. – 2014. – № 2. – С. 38–40.
11. Саклаков, Д. В. Технико-экономическое обоснование выбора средств механизации / Д. В. Саклаков, М. П. Сергеев. – М.: Колос, 1973. – 200 с.
12. Гаспарский, В. А. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок / В. А. Гаспарский. – М.: Мир, 1978. – 172 с.
13. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. академия наук Беларуси; Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 520 с.
14. Phil Brown Welding Corp. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://philbrownwelding.com/index.php/new-products>. – Date of access: 17.07.2020.
15. FRUMACO Europe srl. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.frumacoeurope.eu/Apps/WebObjects/RFrumaco.woa/wa/viewFile?id=304&lang=eng> – Date of access: 17.07.2020.
16. Munckhof Fruit Tech Innovators [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.munckhof.org/machine/pluk-o-trak-senior/>. – Date of access: 17.07.2020.
17. N. BLOSI Manufacturers of agricultural machinery [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.nblo.si/en/harvesting_conveyor/harvesting_conveyor.php. – Date of access: 17.07.2020.
18. Feucht fruit technology [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.feucht-obsttechnik.de/en/fruit-harvesting-technology/fruit-harvesting-machines.html>. – Date of access: 17.07.2020.
19. Косилка-валкователь для установки на трактор RX300 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/fama/product-175225-49766.html>. – Дата доступа: 22.08.2020.
20. Валкователь для виноградной лозы MAGIC Series [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/corbins-agricultural-technology/product-183374-64828.html>. – Дата доступа: 22.08.2020.
21. 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.
22. 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.
23. Организации и предприятия по производству, переработке и торговле продукцией плодовоговодства и научному обеспечению отрасли: адресно-телефонный справочник / РУП «Институт плодовоговодства». – Самохваловичи, 2010. – 222 с.
24. Валовый сбор и урожай фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 14 с.
25. О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., № 962 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700962&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 17.07.2020.

УДК 631.358:634

Поступила в редакцию 19.10.2022

Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЗАГРУЗКИ ЯБЛОК В КОНТЕЙНЕР ПЛОДОУБОРОЧНОГО АГРЕГАТА

Аннотация. В данной работе рассмотрен процесс загрузки яблок в контейнеры при механизированной уборке десертных плодов, предназначенных для длительного хранения.

С целью повышения качества уборки и обеспечения снижения повреждения плодов проведено обоснование конструктивно-технологической схемы устройства для загрузки и его параметров, обеспечивающих минимальное повреждение и максимальную загрузку контейнера плодами при уборке без участия человека.

Ключевые слова: плодововодство, уборка плодов, механизированные работы, степень заполнения, рабочий процесс.

A. N. Yurin

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

STUDY OF THE PROCESS OF MECHANIZED LOADING OF APPLES IN THE CONTAINER OF THE HARVESTING UNIT

Abstract. In this work, the process of loading apples into containers during mechanized harvesting of dessert fruits intended for long-term storage is considered.

In order to improve the quality of harvesting and to ensure the reduction of fruit damage, the design and technological scheme of the loading device and its parameters were substantiated, ensuring minimum damage and maximum loading of the container with fruits during harvesting without human intervention.

Keywords: fruit growing, fruit harvesting, mechanized work, degree of filling, working process.

Введение

Уборка плодов – заключительная и решающая операция в общем плане работ по выращиванию плодов, во многом определяющая качественные и количественные показатели производимой продукции и экономики отрасли в целом, на выполнение которой затрачивается более 30 % всех трудовых затрат [1–4].

В последнее десятилетие за рубежом все больше создается универсальных плодуборочных платформ, обеспечивающих повышение производительности труда сборщика в 2,5–3,5 раза по сравнению с ручным трудом и снижение издержек на 10–20 % [5–9].

Съем плодов с таких платформ осуществляется сборщиками вручную, однако все следующие операции по транспортированию плодов и заполнению ими контейнеров осуществляются механизированно.

При этом обоснования конструктивных параметров и режимов работы данных машин до настоящего времени не проведено, что не позволяет в полной мере реализовать потенциал повышения производительности труда в конкретных природно-климатических условиях.

Основная часть

Обоснование параметров устройства для загрузки контейнера. Снятые сборщиками плоды необходимо доставлять к таре и укладывать в неё. Самым рациональным способом транспортирования плодов от места сбора к месту упаковки является доставка их транспортерами.

Транспортировка осуществляется посредством ленточных транспортеров с поперечными планками или без них. При этом скорость транспортера должна быть такой, чтобы обеспечивались подача и спуск плодов в тару с минимальным количеством повреждений. Плоды, падающие с транспортера, ударяются о дно тары или слой плодов, находящихся в ней. При ударе плодов о дно тары их кинетическая энергия переходит в энергию упруго-пластических деформаций (материал тары под действием этого удара остается практически недеформируемым). При падении плодов с транспортера на плоды, лежащие в таре, часть кинетической энергии переходит в энергию деформации как ударяющих, так и ударяемых плодов.

Если принять тару и площадку, на которой она установлена, за неподвижную систему с большой массой, то потеря кинетической энергии при ударе плода в таре выразится как

$$\Delta T = T_0 - T = \frac{1}{2} m_{\text{п}} V_{\text{п}}^2 - \frac{1}{2} m_{\text{п}} U_{\text{п}}^2, \quad (1)$$

где T_0 , T – кинетическая энергия системы плод – тара соответственно в начале и конце удара, Дж; $V_{\text{п}}$ и $U_{\text{п}}$ – скорость плода соответственно в начале и конце удара, м/с.

Коэффициент восстановления K при частично упругом ударе связан соотношением

$$K = U_{\text{п}} / V_{\text{п}}. \quad (2)$$

С учетом формулы (1) выражение (2) примет вид

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_{\text{п}} V_{\text{п}}^2 (1 - K^2). \quad (3)$$

Падение плода с транспортера аналогично падению брошенного тела. Решая задачу падения брошенного тела, получим формулу для определения скорости плода в момент удара, т.е.

$$V_{\text{п}} = \sqrt{V_{\text{тр}}^2 + 2g \cdot h_{\text{пл}}},$$

где $V_{\text{тр}}$ – скорость транспортера, м/с; $h_{\text{пл}}$ – высота падения плода, м.

После постановки значения $V_{\text{п}}$ в формулу (3) окончательно получим

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_{\text{п}} (V_{\text{тр}}^2 + 2g \cdot h_{\text{пл}}) (1 - K^2).$$

Из полученного уравнения следует, что скорость транспортера должна быть минимальной, чтобы уменьшить потерю энергии. Но при этом большая высота падения плода $h_{\text{пл}}$, зависящая от размеров тары, способствует приобретению плодами энергии выше допустимой. При падении плода под собственным весом скорость транспортера определяется выражением

$$V_{\text{тр}} = \sqrt{g \cdot r \cdot \cos \alpha},$$

где r – радиус барабана, м; α – угол наклона транспортера, град.

Таким образом, очевидно, что даже при гравитационном отрыве плода от ленты транспортера потеря кинетической энергии при ударе яблок о дно ящика составляет примерно 0,36 Дж.

По данным А.В Четвертакова, допустимая кинетическая энергия при ударе яблок сорта Антоновка о деревянную поверхность составляет 0,074 Дж, а при ударе о яблоко 0,092 Дж [4]. Допустимая энергия значительно меньше потерянной, следовательно, все плоды получают повреждения. Опытами установлено, что при падении с транспортера в ящик и контейнер повреждается соответственно 82 и 97 % яблок.

Кроме того, скорость транспортера нельзя уменьшать до предельных значений, так как снизится его производительность и, следовательно, производительность всей машины.

Производительность и скорость транспортера связаны соотношением

$$Q = 3600F \cdot V_{\text{тр}} \cdot \rho,$$

где F – сечение транспортируемого материала, м²; ρ – насыпная масса материала, т/м³.

Из рассмотренного следует, что кинетическую энергию плода наиболее целесообразно уменьшать снижением высоты его падения или плавным опусканием. Это может быть обеспечено применением специальных устройств, не дающих возможности падающему плоду развивать кинетическую энергию, превышающую допустимую.

Особенно необходимы такие устройства при уборке плодов в контейнеры. В настоящее время известно сравнительно большое количество принципов, на которых основано действие устройств для гашения энергии. Однако в мировой практике пока еще нет способов наполнения тары, при которых полностью исключалось бы повреждение яблок.

Устройства для гашения энергии плодов можно разделить на две группы [4]. В устройствах первой группы (рис. 1) не изменяется их положение по высоте относительно транспортера, а по мере наполнения опускается ящик или контейнер. В устройствах второй группы (рис. 2) постоянное положение занимает тара, а приспособление для спуска плодов поднимается по мере наполнения ящика или контейнера.

Меньше других повреждают плоды устройства, изображенные на рис. 1, *ж* и 2, *а*, *б*.

В таких устройствах легче решается вопрос управления подъемом и опусканием. Однако такие устройства сложнее по конструкции, поэтому их применение наиболее целесообразно в улавливателях для уборки легкоповреждаемых плодов.

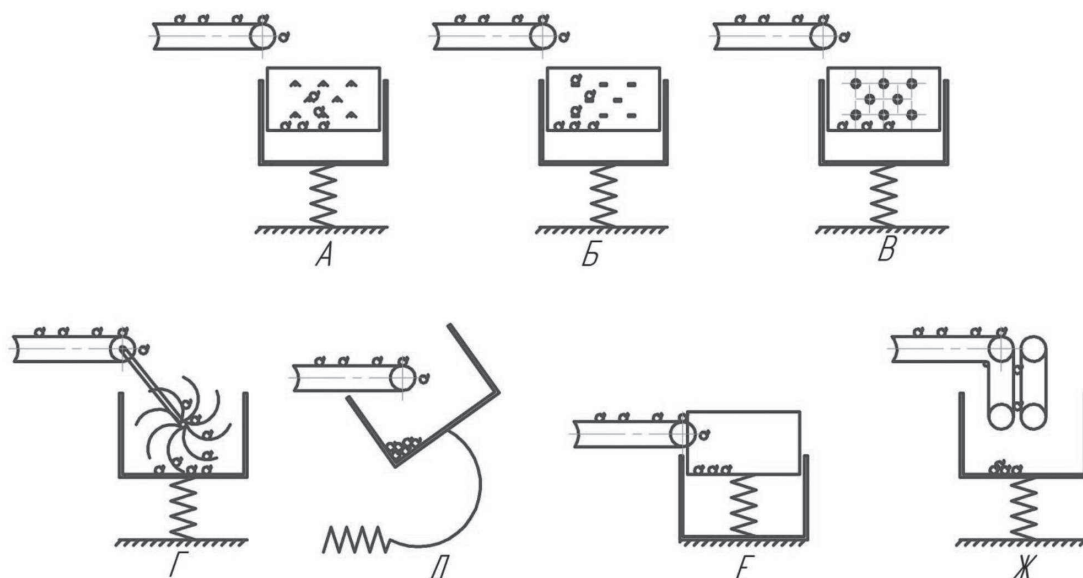


Рис. 1. Схемы устройств первой группы для гашения кинетической энергии при падении плодов с транспортера в тару: *а* – жесткий кожух с эластичными шарнирными клапанами; *б* – жесткий кожух с амортизирующими лентами; *в* – жесткий кожух с вращающимися эластичными вальцами; *г* – лопастная вертушка; *д* – телескопический подпружиненный кронштейн; *е* – контейнер с опускающимся дном; *ж* – парные параллельные транспортеры [4]

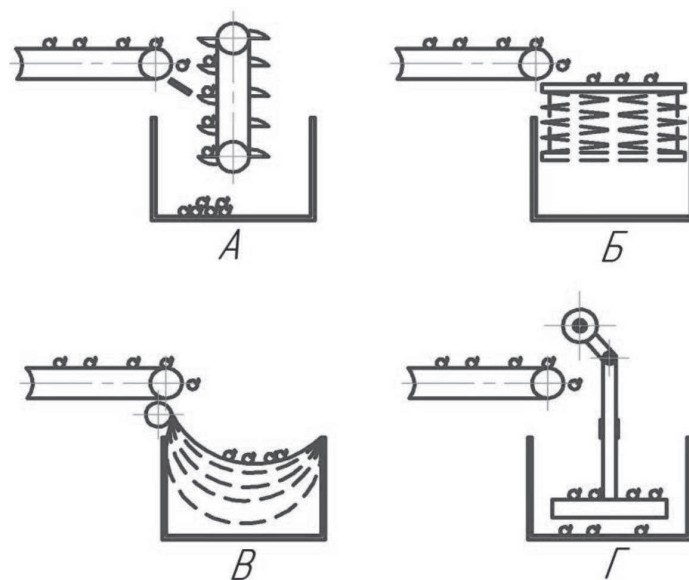


Рис. 2. Схемы устройств второй группы для гашения кинетической энергии при падении плодов с транспортера в тару [4]: *а* – ковшовый элеватор; *б* – полотняный мешок с пантографом; *в* – разматывающееся полотно; *г* – рамка с амортизирующими лентами

В то же время применение устройств первой группы потребует изготовления грузоподъемных устройств для подъема и опускания контейнера, который в загруженном состоянии имеет массу, достигающую 500 кг, что приведет к увеличению массы машины и её удорожанию.

Применение же грузочных транспортеров с устройствами подъема и опускания позволит минимизировать вес конструкции машины (рис. 2, *а*).

Очевидно, что именно эта схема является наиболее предпочтительной для применения в конструктивно-технологической схеме плодуборочного агрегата.

Однако в настоящее время остается нерешенным вопрос обеспечения полного заполнения контейнера плодами при механизированной их загрузке.

Стандартный контейнер для плодов семечковых культур, применяемый в Республике Беларусь, имеет следующие размеры: 1200×1000×840 мм. Его полный объем составляет 0,96 м³, полезный – 0,774 м³.

Плоды семечковых культур (яблоки и груши) содержат практически одинаковое количество сухих веществ, но внутритканевые газы яблок составляют 1/4 часть их объема, а в грушах 1/10 – груши имеют более плотные ткани. Благодаря этому плотность яблок составляет 0,8–0,9 г/см³, а груш – 1–1,2 г/см³. При этом насыпная масса яблок составляет 520–550 кг/м³, а груш – 650–700 кг/м³.

Таким образом, в стандартном плодовом контейнере при полной загрузке помещается 386–409 кг яблок и 484–521 кг груш.

Легко убедиться, что полной загрузки контейнера плодами можно добиться только при ручной их укладке. При осуществлении механизированной или полумеханизированной уборки плодов, когда функцию загрузки плодов в контейнер осуществляет транспортер, степень его загрузки будет уменьшаться.

Так, высыпаемые в контейнер плоды (яблоки) будут под воздействием силы трения образовывать конус высотой с полную высоту внутреннего пространства контейнера.

Объем, занятый плодами, для данного случая равен

$$V_k = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot H_{\text{п}} = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot H_{\text{п}}.$$

Так как $H_{\text{п}} = R \cdot \text{tg}\varphi$ и $\text{tg}\varphi = \frac{H_{\text{п}}}{R}$, то

$$V_k = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot R \cdot \text{tg}\varphi = \frac{1}{3} \pi \cdot R^3 \cdot \text{tg}\varphi,$$

где R в данном случае будет составлять половину малой стороны контейнера.

Следовательно, объем контейнера, заполненный плодами, составит 0,11 м³ (рис. 3). То есть при таком способе контейнер будет заполнен только на 15 %, а дальнейшее заполнение потребует вмешательства ручного труда для разравнивания образовавшегося конуса, что, в свою очередь, приведет к дополнительному травмированию плодов. Кроме того, такое вмешательство в работу ручного труда не соответствует самой идее минимизации участия человека в технологическом процессе сбора плодов.

В реальной плодуборочной машине заполнение контейнера плодами будет происходить по определенному фронту, равному ширине загрузочного конвейера $b_{\text{тр}}$. В таком случае поступающие плоды будут распределяться неравномерно и хаотично. В таком случае, очевидно, контейнер необходимо вращать. Это позволит обеспечить равномерное заполнение и предотвратить излишнее травмирование плодов.

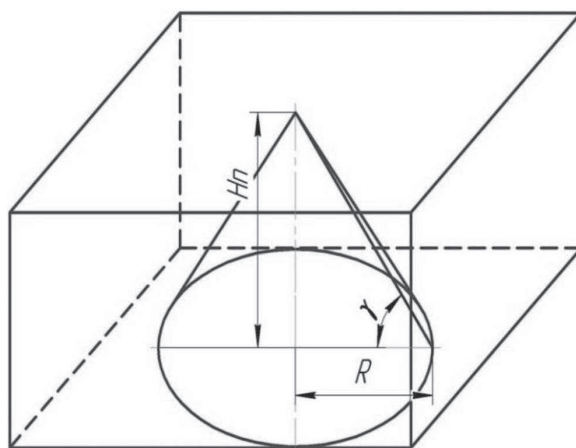


Рис. 3. К определению степени заполнения плодами неподвижного контейнера

В таком случае при заполнении контейнера будет образовываться усеченный конус из плодов с диаметром верхнего основания, равным $b_{\text{тр}}$ (рис. 4).

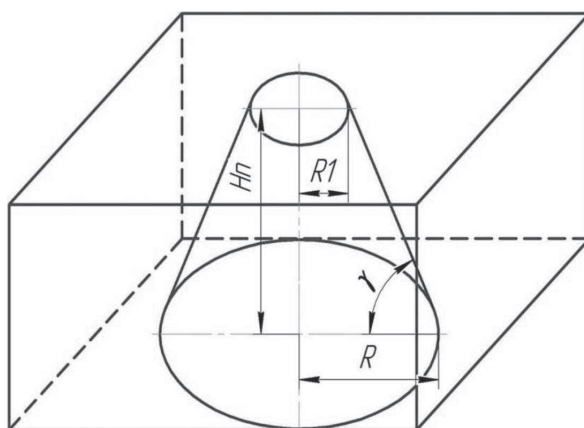


Рис. 4. К определению степени заполнения плодами вращающегося контейнера от транспортера шириной $b_{\text{тр}}$

Объем, занятый плодами, в таком случае определяется выражением

$$V_{\text{к}} = \frac{1}{3} \pi \cdot H_{\text{п}} (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2),$$

где R_1 – радиус нижнего основания, м; R_2 – радиус верхнего основания, м.

В таком случае контейнер можно будет заполнить на 34 %, что также является неудовлетворительным результатом.

Очевидно, для повышения степени заполнения контейнера необходимо сместить ось вращения контейнера относительно расположения загрузочного транспортера таким образом, чтобы максимально отдалить его от центра контейнера.

При работе такого устройства плоды будут выгружаться из окна выгрузного транспортера и заполнять свободное пространство контейнера. Для определения степени заполнения контейнера плодами определим объемы полостей, не заполненных плодами. Из рис. 5 видно, что объемы полостей, не заполненных плодами, можно разделить на три части V_1 , V_2 и V_3 .

Общий же объем полостей, не заполненных плодами, определяется выражением:

$$V_{\text{пол}} = 4V_1 + 2V_2 + V_3.$$

При этом объем V_2 представляет собой призму с треугольным основанием, а V_3 – конус, значение которых можно определить выражениями

$$V_2 = \frac{a \cdot b}{2} l_{\text{к}},$$

где

$$a = b \cdot \text{tg} \gamma, \quad b = \frac{l_{\text{к}} - 2 \cdot b_{\text{тр}}}{4}.$$

Из чего получаем, что

$$V_2 = \frac{(l_{\text{к}}^2 - 4l_{\text{к}} \cdot b_{\text{тр}} + 4b_{\text{тр}}^2) \text{tg} \gamma}{32} \cdot l_{\text{к}}.$$

Объем полости V_3 определяется выражением

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \left(\frac{l_{\text{к}} - 2b_{\text{тр}}}{4} \right)^3 \cdot \text{tg} \gamma.$$

Объем полости V_1 можно определить выражением:

$$V_1 = \frac{c^2 \cdot a}{16} - \frac{\pi \cdot a}{12} \times \left(\frac{c^2}{4} + \frac{c^2}{2} - \frac{c^2 \cdot h}{4} \operatorname{ctg} \varphi + \frac{c^2}{4} - c \cdot a \cdot \operatorname{ctg} \varphi + a^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi \right),$$

где

$$c = \sqrt{\left(\frac{l_{\text{к}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{\text{к}}}{2}\right)^2}.$$

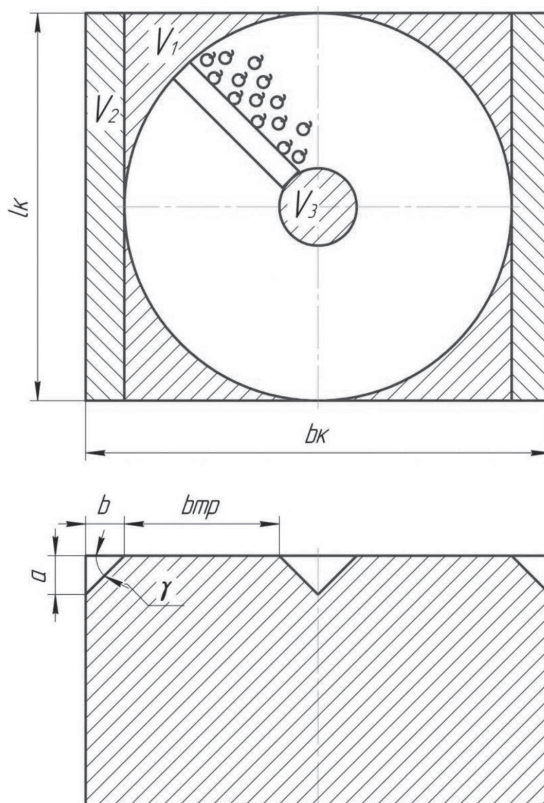


Рис. 5. К определению степени заполнения плодами вращающегося контейнера со смещенной осью вращения

Преобразуя, получим

$$V_1 = \frac{c^2 \cdot a}{16} - \frac{\pi \cdot a}{12} \times \left(\frac{3c^2}{4} - \frac{3c \cdot a}{2} \operatorname{ctg} \varphi + a^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi \right).$$

Из приведённого ясно, что параметры объемов V_1 , V_2 и V_3 в значительной мере зависят от ширины транспортера $b_{\text{тр}}$, так как размеры контейнера постоянны и неизменны, как и угол естественного откоса яблок.

Максимальное значение ширины транспортера может составлять

$$b_{\text{тр}} = \frac{l_{\text{к}}}{2}.$$

При этом $V_3 = 0$.

В таком случае степень заполнения контейнера составит 86%.

Полученные результаты работы были использованы при разработке агрегата самоходного универсального для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур АСУ-6, разработка которого осуществлялась в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Экспериментальные исследования агрегата, проведенные в садах РУП «Институт плодородства» (пос. Самохваловичи), подтвердили правильность теоретических выкладок. Так, при работе машины степень загрузки контейнера составляла 84–92 %, а повреждение плодов не превышало 1 %.

Заключение

1. Анализ конструкций и принципов функционирования загрузочных устройств плодов в контейнеры позволил установить рациональную конструкцию загрузочного устройства стола с вращающимся основанием и загрузочным транспортером с лифтовым устройством, смещенным относительно центра вращения основания.

2. Ширина транспортера должна составлять половину ширины контейнера или 0,5 м, а расстояние от центра вращения контейнера до центра транспортера должно составлять 0,25 м. При этом обеспечивается степень загрузки контейнера плодами не менее 86 %.

3. Экспериментальные исследования устройства для механизированной загрузки плодов в контейнеры в составе агрегата АСУ-6 подтвердили правильность теоретических предпосылок, обеспечив загрузку контейнера плодами в 84–92 % и повреждение не более 1 %.

Список использованных источников

1. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
2. Юрин, А. Н. Механизация трудоемких процессов в садоводстве / А. Юрин, Д. Жданко // Наука. – 2016. – 15 февр. – С. 4.
3. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.]; под общ. ред. М. И. Куликова. – М.: Росинформагротех, 2012. – 164 с.
4. Машины для формирования кроны и уборки урожая плодовых культур / Г. П. Варламов: [и др.]. – М., «Машиностроение», 1975. – 206 с.
5. Phil Brown Welding Corp. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://philbrownwelding.com/index.php/new-products>. – Date of access: 17.07.2020.
6. FRUMACO Europe srl. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.frumacoeurope.eu/Apps/WebObjects/RFrumaco.woa/wa/viewFile?id=304&lang=eng>. – Date of access: 17.07.2020.
7. Munckhof Fruit Tech Innovators [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.munckhof.org/machine/pluko-trak-senior/>. – Date of access: 17.07.2020.
8. N. BLOSI Manufacturers of agricultural machinery [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.nblo.si.com/en/harvesting_conveyor/harvesting_conveyor.php. – Date of access: 17.07.2020.
9. Feucht fruit technology [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.feucht-obsttechnik.de/en/fruit-harvesting-technology/fruit-harvesting-machines.html>. – Date of access: 17.07.2020.

УДК 631.348

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

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 УСТРОЙСТВА ШАТРОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ

Аннотация. В данной статье представлено обоснование конструктивно-технологической схемы туннельного устройства шатрового опрыскивателя и основных его конструктивных параметров.

Ключевые слова: туннельное устройство, шатровый опрыскиватель, диффузор, воздушный поток, вентилятор, раствор препарата.

A. N. Yurin

RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

JUSTIFICATION OF THE STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE TUNNEL DEVICE OF THE TENT SPRAYER

Abstract. This article presents the rationale for the structural and technological scheme of the tunnel device of the tent sprayer and its main design parameters.

Keywords: tunnel device, tent sprayer, diffuser, air flow, fan, drug solution.

Введение

Одной из важнейших проблем сельского хозяйства в условиях Беларуси является борьба с вредителями и болезнями в садоводстве.

В настоящее время для обработки садов применяются вентиляторные опрыскиватели. При работе этих опрыскивателей потери рабочего раствора достигают от 30 % до 90 % в зависимости от периода обработки, что существенно увеличивает вредное воздействие на окружающую среду. Устранение вышеуказанных недостатков существующей технологии химической обработки садов возможно за счет создания и внедрения в производство шатровых опрыскивателей. При работе таких опрыскивателей обработка растений осуществляется в закрытой камере. На растениях остается то количество рабочего раствора, которое может удержать листостебельный аппарат растения и его плоды. Капли рабочего раствора, не осевшие на растениях, улавливаются специальными устройствами и возвращаются обратно в бак опрыскивателя.

Таким образом, разработка и внедрение в производство в республике опрыскивателя туннельного типа, позволяющего уменьшить расход гербицида, является актуальной агроинженерной задачей.

Основная часть

Отсутствие полноты данных по обоснованию конструкции шатровых опрыскивателей и технологического процесса обработки насаждений в закрытой камере обуславливает необходимость проведения исследований.

Для обоснования различных режимов работы туннельного устройства шатрового опрыскивателя проведены следующие исследования:

1. Экспериментальное обоснование конструктивно-технологической схемы туннельного устройства шатрового опрыскивателя.

2. Обоснование угла установки дефлектора туннельного устройства.

Обоснование конструктивно-технологической схемы туннельного устройства. Для определения рациональных параметров туннельного опрыскивателя, а также для уточнения результатов теоретических исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была разработан и изготовлен макетный образец шатрового устройства (рис. 1).

Туннельное устройство (рис. 1) представляет собой рамную конструкцию порталного типа, оснащённую двумя коробами с установленными в них нагнетательными вентиляторами (по два в каждом коробе).

Для проведения экспериментальных исследований были предложены следующие конструктивно-технологические схемы туннельного устройства:

1. Схема со встречным движением воздушных потоков (рис. 2, а).

2. Схема с круговым движением воздушного потока и поперечно расположенными вентиляторами (рис. 2, б).

3. Схема с круговым движением воздушного потока и продольно расположенными вентиляторами (рис. 2, в).

4. Схема с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» (рис. 2, г).



Рис. 1. Туннельное устройство шатрового опрыскивателя

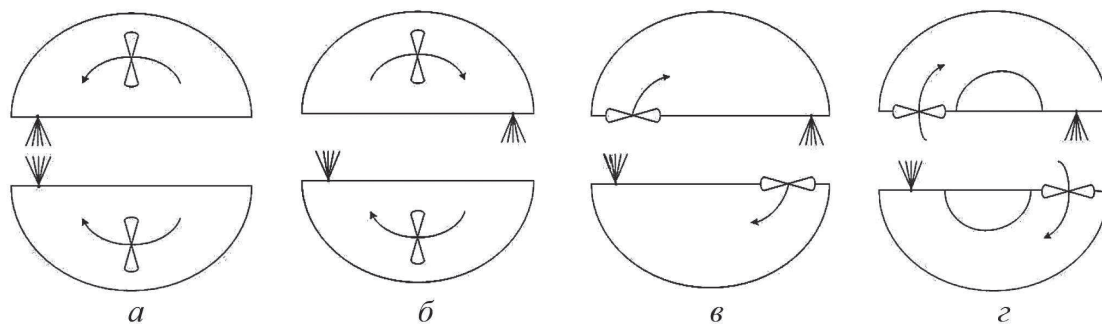


Рис. 2. Конструктивно-технологические схемы туннельного устройства шатрового опрыскивателя:
а – со встречным движением потоков; *б* – с круговым движением потоков и поперечно расположенными вентиляторами; *в* – с круговым движением потоков и продольно расположенными вентиляторами; *г* – с диффузором типа «Улитка»

Экспериментальные исследования приведенных макетов показали, что наиболее перспективной представляется схема с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» (рис. 2, *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 устройства ниже неравномерность распределения скорости воздушного потока по ширине и высоте устройства (на 35–50 и 42–61 % соответственно по сравнению с другими схемами устройства), что обеспечивает более равномерную обработку насаждений.

Обоснование угла установки дефлектора. При работе туннельного устройства шатрового опрыскивателя рабочий раствор транспортируется воздушным потоком, созданным блоками вентиляторов, по кругу в пределах шатрового устройства, осуществляя при этом обработку насаждений в промежутке между половинами шатра.

Для обеспечения качественной обработки необходимо создать воздушный поток высокой скорости и объема путем проникновения рабочего раствора через крону. Иными словами, скорость воздушного потока должна быть избыточна для обработки самых плотных насаждений.

В то же время при обработке менее плотных насаждений будут происходить потери рабочего раствора вследствие сноса части рабочего раствора за пределы приемного «окна» противоположной части шатра.

Очевидно, что для обеспечения наибольшей экономии препарата необходимо сформировать воздушный поток таким образом, чтобы обеспечить его максимальное «попадание» в приемное

«окно» шатра. С этой целью на туннельном устройстве использован дефлектор с изменяемым углом установки в диапазоне $-10\dots+20^\circ$ относительно плоскости, перпендикулярной направлению движения устройства.

Замеры скорости воздушного потока производились на выходе с устройства по высоте и по ширине на расстоянии 500 и 1000 мм от оси симметрии вентилятора, как показано на рис. 3.

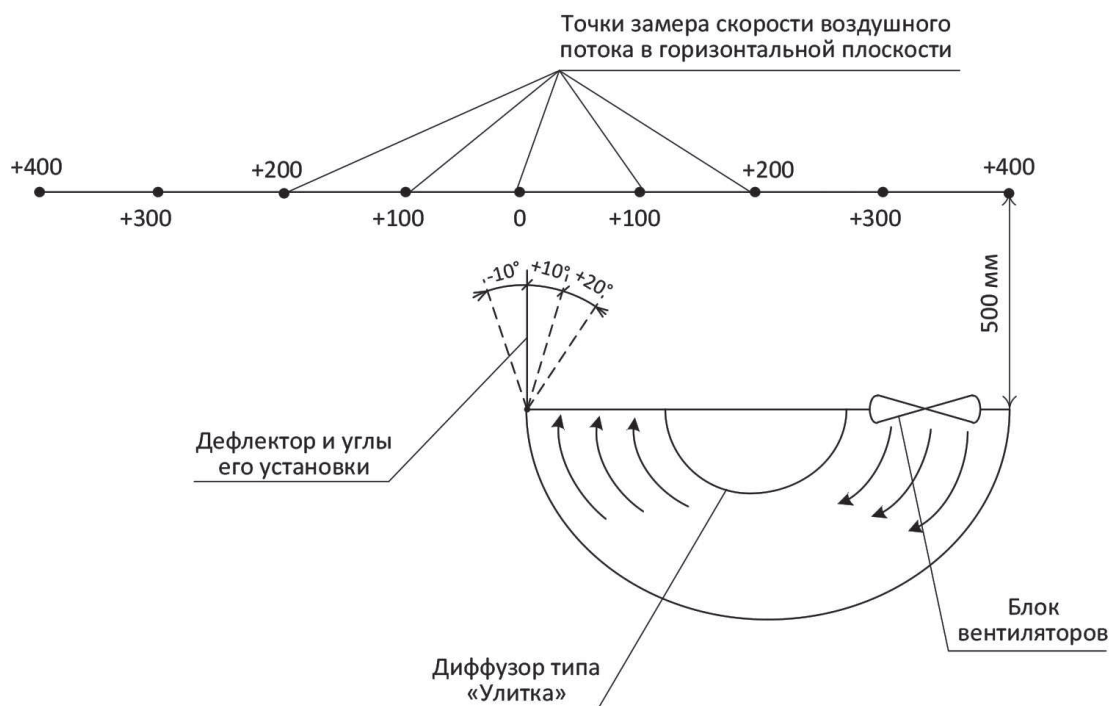


Рис. 3. Исследование скорости воздушного потока при различных углах установки дефлектора

Графическая интерпретация зависимости потерь воздушного потока от угла установки дефлектора приведена на рис. 4. Как видно из рисунка, наименьшие потери потока наблюдаются при угле установки дефлектора $15\text{--}20^\circ$.

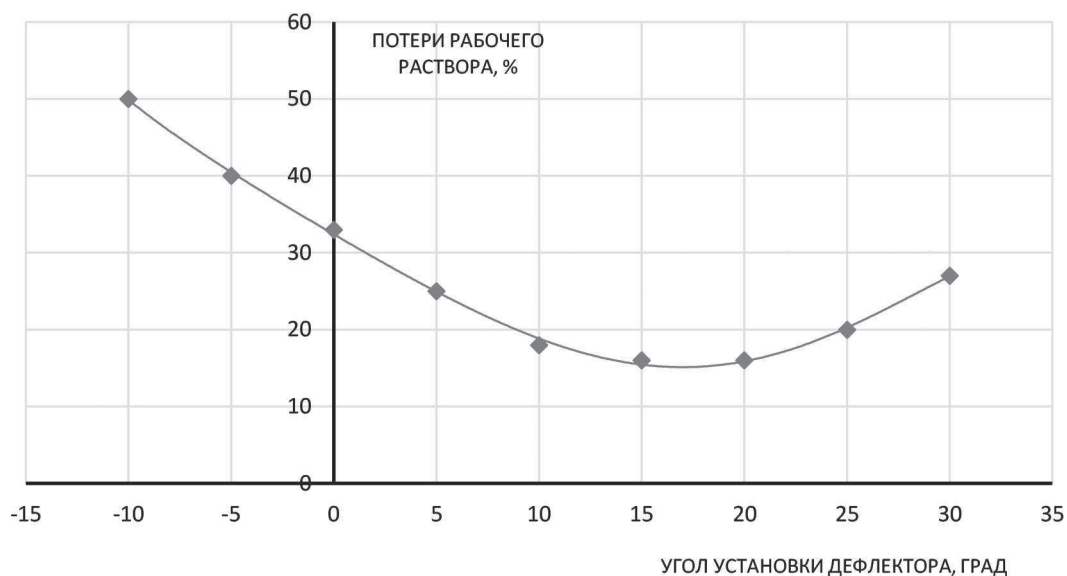


Рис. 4. Зависимость потерь рабочего раствора от угла установки дефлектора

Заклучение

Обоснована рациональная конструктивно-технологическая схемой туннельного устройства шатрового опрыскивателя с круговым движением воздушного потока и диффузором типа «Улитка», а также дефлектором, расположенным под углом 15–20° градусов к плоскости, перпендикулярной направлению движения туннельного устройства опрыскивателя.

Список использованных источников

1. Мержаниан, А. С. Виноградарство / А. С. Мержаниан. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1967. – 464 с.
2. Виноградарство Крыма : учеб.-справ. пособие / А. П. Дикань [и др.]. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2001. – 408 с.
3. Догода, А. П. Состояние и перспективы развития машин для безопасной технологии химической защиты многолетних насаждений / А. П. Догода // Наукові праці Південного філіалу Національного Університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. – Симферополь, 2009. – Вип. 122. – С. 121–126.
4. Энциклопедия виноградарства : в 3 т. / гл. ред. А. И. Тимуш. – Кишинев : Изд-во Молд. Совет. энцикл., 1986–1987. – Т. 3 : Пыльца – Ярус. – 552 с.
5. Национальный стандарт Украины ДСТУ «Машины для обработки виноградников агрохимикатами в закрытой камере (туннельного типа)»
6. Козарь, И. М. Справочник по защите винограда от болезней, вредителей и сорняков / И. М. Козарь. – Киев : Урожай, 1990. – 112 с.

УДК 631.358:634

Поступила в редакцию 24.10.2022

Received 24.10.2022

А. Н. Юрин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

ВЫБОР СХЕМЫ САМОХОДНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ УБОРКИ ЯБЛОК

Аннотация. В данной статье приведен обоснование конструктивно-технологической схемы агрегата самоходного универсального для уборки яблок и обрезки деревьев.

Ключевые слова: плодуборочный агрегат, конструктивно-технологическая схема, уборка яблок, рабочие платформы, контейнеровоз, плоды семечковых культур, ярусы плодовых деревьев.

A. N. Yurin

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

CHOICE OF THE SCHEME OF THE SELF-PROPELLED UNIT FOR APPLE HARVESTING

Abstract. This article provides a rationale for the structural and technological scheme of a self-propelled universal unit for harvesting apples and pruning trees.

Keywords: fruit-harvesting unit, constructive-technological scheme, apple harvesting, working platforms, container carrier, fruits of pome crops, tiers of fruit trees.

Введение

Уборка плодов – заключительная и решающая операция в общем плане работ по выращиванию плодов, которая во многом определяет качественные и количественные показатели производимой

продукции и экономики отрасли в целом. В настоящее время эта операция в республике преимущественно выполняется вручную, что негативно сказывается на производительности труда и себестоимости продукции.

В связи с этим актуальной задачей является создание технических средств для механизации уборки яблок.

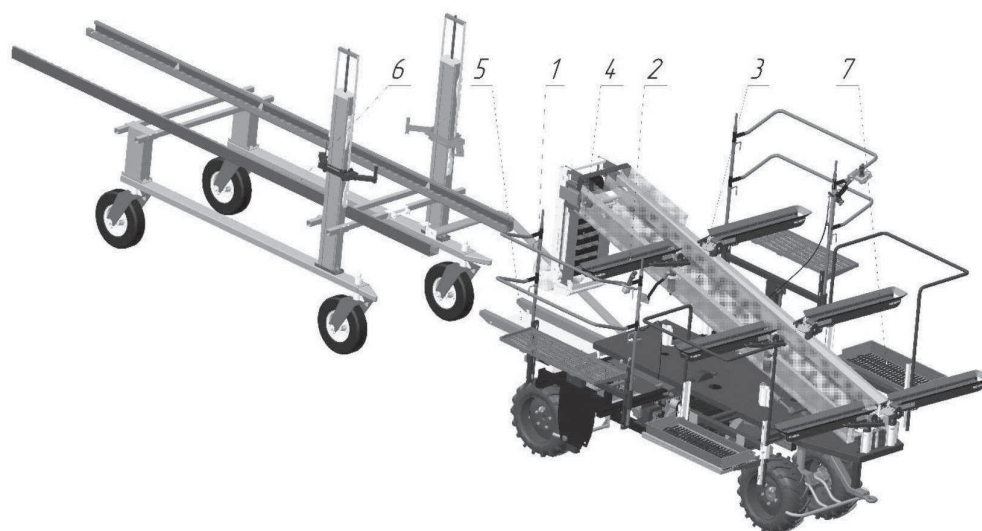
Выбор схемы агрегата

Анализ исследований технологических особенностей различных видов уборки плодов семечковых и косточковых плодов и конструкций машин для уборки плодов позволил установить, что наиболее перспективным орудием для уборки десертных плодов является плодуборочная платформа с контейнеровозом, оборудованная системой конвейеров для транспортировки убранных сборщиками плодов (рисунок). Такой тип плодуборочной платформы является наиболее рациональным для работы в садах интенсивного типа [1–5].

При этом плоды будут сниматься с деревьев вручную, а транспортировка и укладка их в контейнеры будет осуществляться механизировано. Это позволит получить максимальную производительность труда сборщиков при сохранении высокого качества убранный урожая.

Убранные плоды должны укладываться в контейнеры.

Агрегат должен быть оборудован уборочными площадками для второго и третьего ярусов. Для первого яруса площадки не предусматриваются, так как уборку нижнего яруса плодов удобнее осуществлять с земли.



Самоходный агрегат для уборки яблок: 1 – самоходная машина; 2 – лотки; 3 – горизонтальный конвейер; 4 – вертикальный конвейер; 5 – поворотный стол; 6 – контейнеровоз; 7 – площадка

При этом платформы должны иметь возможность изменения своего положения по вертикали и горизонтали для лучшего приспособления к ширине междурядий сада и высоте деревьев. Очевидно, что для снижения трудоемкости и повышения удобства регулировка должна осуществляться механизированно и индивидуально для каждой из площадок.

Для удобства сборщиков агрегат должен быть оборудован системой подручных конвейеров – лотков. Они необходимы для уменьшения времени, в течение которого руки сборщика будут заняты в процессе уборки.

Для максимального снижения трудоемкости съема лотки должны иметь возможность изменять свое положение в горизонтальной и вертикальной плоскости с возможностью фиксации.

Кроме того, учитывая возможную неравномерность распределения урожая плодов семечковых и косточковых плодов по высоте дерева и различную ширину междурядий сада, длина лотков должна быть переменной.

Горизонтальный конвейер должен обеспечивать прием плодов со всех лотков и транспортировку их на вертикальный конвейер, который, в свою очередь, должен укладывать их в контейнер без повреждений.

При этом, учитывая низкие прочностные свойства плодов и их легкую повреждаемость, а также изменение высоты слоя плодов в контейнере в процессе уборки, вертикальный конвейер должен иметь возможность вертикального перемещения. Кроме того, конвейер должен иметь автоматическое устройство, обеспечивающее поддержание минимально возможной высоты выгрузки плодов в контейнер.

При свободной выгрузке плодов в контейнер в нем будет образовываться призма из плодов. Это приведет к уменьшению степени заполнения контейнера плодами и травмированию их при транспортировке. Для устранения данного негативного явления загрузку плодов необходимо осуществлять во вращающийся контейнер на некотором расстоянии от его центра.

В Республике Беларусь при уборке плодов используются в основном деревянные контейнеры промышленного производства с наружными размерами 1200×100×800 мм. Масса заполненного контейнера в зависимости от вида, плотности плода и массы пустого контейнера составляет 350–450 кг. При средней урожайности 30–50 т/га, длине рядов, равной 100–120 м, и ширине междурядий 3,5–4,5 м для сбора плодов с одного ряда необходимо 5–9 контейнеров общей массой 1750–4050 кг. Очевидно, что заполненные плодами контейнеры целесообразно оставлять в междурядьях сада, а на контейнеровозе, агрегатируемом с самоходным агрегатом, перевозить пустые. При этом конструкция контейнеровоза должна быть порталной и высококлиренсной для обеспечения свободного прохода контейнера под направляющими контейнеровоза.

Контейнеровоз должен обеспечивать перевозку не менее 9 контейнеров для обеспечения уборки плодов с одного ряда за один проход. Очевидно, что для этого он должен обеспечивать возможность многорядной установки контейнеров и быстрой их разгрузки.

Таким образом, к исследованию нами была принята конструктивно-технологическая схема самоходного агрегата с контейнеровозом, оборудованного приемными лотками, центральным и вертикальным конвейерами для сбора и транспортировки плодов, столом для размещения на нем контейнера с возможностью его вращения. Контейнеровоз должен иметь высококлиренсную порталную конструкцию и обеспечивать возможность многоярусной установки 9 порожних контейнеров [5].

Выводы

1. Наиболее перспективной схемой агрегата для уборки десертных плодов является конструктивно-технологическая схема самоходного агрегата с контейнеровозом, оборудованного приемными лотками, центральным и вертикальным конвейерами для сбора и транспортировки плодов, столом для размещения на нем контейнера с возможностью его вращения.

2. Контейнеровоз должен иметь высококлиренсную порталную конструкцию и обеспечивать возможность многоярусной установки не менее 9 порожних контейнеров.

Список использованных источников

1. Воробьев, В. Ф. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2012. – 164 с.
2. Завражнов, А. И. Проблемы механизации и формирование технологии и системы машин для интенсивного садоводства / А. И. Завражнов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – №2 – С.15–18.
3. Юрин, А.Н. Агрегат для уборки плодов семечковых культур в условиях Республики Беларусь / А. Н. Юрин [и др.] // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 4 (29). – С. 107–112.
4. Юрин, А. Н. Обоснование рабочей скорости движения плодуборочного агрегата / А. Н. Юрин, В. В. Викторovich // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск : Беларуская навука, 2018. – Вып. 51. – С. 136–142.
5. Юрин, А. Н. Взаимодействие плодов семечковых культур друг с другом и с рабочими поверхностями при механизированной уборке / А. Н. Юрин [и др.] // Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ». – Глеваха, 2020. – Вип. № 11 (110). – С. 108–116.

А. Н. Юрин

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАТФОРМ АГРЕГАТА ДЛЯ УБОРКИ ЯБЛОК И ОБРЕЗКИ ДЕРЕВЬЕВ

Аннотация. В данной статье приведено обоснование параметров платформ для сборщиков плодов и обрезчиков деревьев самоходного агрегата, предназначенного для механизированного выполнения данных операций в садах интенсивного типа Республики Беларусь.

Ключевые слова: агрегат, уборка плодов, обрезка деревьев, платформа, ширина, высота платформы, ярус дерева.

A. N. Yurin

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

DETERMINATION OF PARAMETERS OF UNIT PLATFORMS FOR APPLE HARVESTING AND TREE CUTTING

Abstract. This article provides a rationale for the parameters of platforms for fruit pickers and tree trimmers of a self-propelled unit designed for mechanized performance of these operations in intensive gardens of the Republic of Belarus.

Keywords: aggregate, fruit harvesting, tree pruning, platform, width, platform height, tree tier.

Введение

В настоящее время в Беларуси возделывается около 20 тыс. га садов интенсивного типа (14 тыс. га – семечковые культуры), в которых ежегодно производится 150–200 тыс. тонн плодовой и ягодной продукции. [1–3]

Наиболее трудоемкими процессами в производстве плодов семечковых культур являются обрезка деревьев и уборка плодов, затраты на которые составляют 60–70 % всех трудовых затрат. В настоящее время в республике эти технологические операции выполняются вручную, на что требуется 6,1–9,2 млн чел.-ч. по республике [4–5]. Имеющийся дефицит квалифицированных сборщиков и обрезчиков приводит к тому, что к выполнению данных технологических операций привлекаются низкоквалифицированные сезонные рабочие (школьники, студенты), что уменьшает производительность труда, приводит к снижению качества продукции и урожайности возделываемых культур на 20–30 %. В результате ежегодно в стране недобирается 30–60 тыс. тонн плодов семечковых культур [5].

Основная часть

Наибольший эффект от применения многоместных платформ для уборки плодов и обрезки кроны плодовых деревьев достигнут при использовании платформ в пальметтных садах.

Ширина платформы может быть определена по формуле [4]:

$$B_{\text{плт}} = (B_{\text{меж}} - 2\delta_{\text{т}} - 0,4),$$

где $B_{\text{плт}}$ – ширина междурядья, м; $\delta_{\text{т}}$ – толщина кроны в сторону междурядья, м; 0,4 – двусторонний зазор между габаритными размерами платформы и «стеной» сада, м.

В Республике Беларусь сады высаживаются с междурядьем 3,5–5,0 м. Кроме того, в зависимости от возраста, периода вегетации и вида обрезки толщина кроны может составлять от 0,4 до 0,8 м. Соответственно ширина машины должна быть переменной и составлять от 2,3 до 3,4 м.

Высота расположения верхней рабочей площадки определяется исходя из условий снятия всех верхнерасположенных плодов:

$$H_v = H_{дер} - (1 \div 1,4),$$

где $H_{дер}$ – высота дерева, м; 1,3÷1,4 м – средняя высота расположения рук сборщика от плечевых суставов до основания верхней рабочей площадки.

При механизированном способе уборки плодов и обрезки высота деревьев достигает 4,5 м. Увеличение высоты позволяет повысить урожайность с единицы площади. Однако при ручном способе уборки плодов высоту кроны ограничивает рост обслуживающего персонала. В этом случае высота деревьев составляет 2,7–3,0 м.

Таким образом, максимальная высота рабочей площадки должна составлять 2,6 м (средний рост сборщика принимаем 1,7 м, максимальная высота плода, который он способен снять, – 1,9 м). С учетом требований к формированию кроны семечковых и косточковых культур получаем, что высота расположения плода может составлять 0,6–4,5 м. В то же время для сборщика естественной является уборка плодов с высоты, равной 0,8–1,7 м. Рационально разделить диапазон высот расположения плодов на три яруса.

Учитывая нижний предел расположения плодов на деревьях и минимальную высоту расположения рабочих площадок не менее 350 мм (минимальный дорожный просвет сельскохозяйственной машины – 300 мм и конструктивный размер площадки 50 мм), очевидно, что для удобства и повышения производительности труда рабочие нижнего яруса должны осуществлять уборку плодов с земли.

Таким образом, высота первого яруса (при $H_{дер} = 4,5$ м) должна составлять 0,6–1,9 м, второго – 1,9–3,2 м; третьего – 3,2–4,5 м.

В то же время плодоношение в садах интенсивного типа наступает со 2–3 года вегетации, а промышленное с 4–5 года. При этом высота деревьев может достигать 3 м.

Высота ярусов при этом будет составлять: первого – 0,6–1,4 м, второго – 1,4–2,2 м, третьего – 2,2–3,0 м.

Таким образом, учитывая агротехнические требования и рост сборщиков, определяем высоту рабочих площадок. Устанавливаем, что высота рабочих площадок должна составлять:

для второго яруса:

$$H_{пл2}^{min} = H_{я2}^{min} - H_a^{min},$$

$$H_{пл2}^{max} = H_{я2}^{max} - H_a^{max},$$

где $H_{пл2}^{min}$, $H_{пл3}^{min}$, $H_{пл2}^{max}$, $H_{пл3}^{max}$ – минимальная и максимальная высота платформ, м; $H_{я2}^{min}$, $H_{я2}^{max}$, $H_{я3}^{min}$, $H_{я3}^{max}$ – минимальная и максимальная высота ярусов расположения плодов, м; H_a^{min} , H_a^{max} – минимальная и максимальная высота, с которой может осуществляться уборка плодов сборщиком ростом 1,7 м;

для третьего яруса:

$$H_{пл3}^{min} = H_{я3}^{min} - H_a^{min},$$

$$H_{пл3}^{max} = H_{я3}^{max} - H_a^{max}.$$

Из уравнений получим $H_{пл2}^{min} = 0,6$ м, $H_{пл2}^{max} = 1,5$ м, $H_{пл3}^{min} = 1,4$ м, $H_{пл3}^{max} = 2,8$ м.

Таким образом, диапазон изменения высоты положения площадки второго яруса составит 0,9 м, третьего 1,4 м.

Очевидно, что для удобства эксплуатации и настройки машины регулировка высоты рабочих площадок должна быть легкой и не требовать инструмента. В то же время в любой момент вре-

мени обслуживающему персоналу потребуется не более 1–2 регулировок высоты расположения площадок в сезон. Таким образом, регулировку можно выполнить механической и дискретной с равным шагом.

Заключение

1. Ширина плодуборочного агрегата должна быть переменной и составлять от 2,3 до 3,4 м.
2. Сборщики плодов на агрегате должны быть размещены на трех ярусах.
3. Высота первого яруса должна составлять 0,6–1,9 м, второго – 1,9–3,2 м; третьего – 3,2–4,5 м.
4. Диапазон изменения высоты положения площадки второго яруса должен составлять 0,9 м, третьего – 1,4 м.

Список использованных источников

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Мн., 2013. – 364 с.
2. 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/perspektivu-razvitiya-sadovodstva-v-respublike-belarus/>. – Дата доступа: 30.04.2018.
3. Юрин, А. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс] / А. Юрин, Д. Жданко // Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protsesov-v-sadovodstve/>. – Дата доступа: 30.04.2018.
4. Юрин, А. Н. Агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев в садах / А. Н. Юрин, А. А. Лях // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 8. – С. 39–43.
5. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб.: в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

УДК 631.362:634.10

Поступила в редакцию 24.10.2022

Received 24.10.2022

А. Н. Юрин

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТРЕКИНГА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЛОДОВ ДЛЯ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ И СОРТИРОВКИ

Аннотация. В данной статье описан процесс создания алгоритма трекинга изображения яблок для их отслеживания при оптической сортировке посредством системы технического зрения.

Ключевые слова: алгоритм, трекинг, яблоки, цвет, достоверность, классификация, сортировка.

A. N. Yurin

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

DEVELOPMENT OF A FRUIT IMAGE TRACKING ALGORITHM FOR THEIR CLASSIFICATION AND SORTING

Abstract. This article describes the process of creating an algorithm for tracking the image of apples for tracking them during optical sorting using a vision system.

Keywords: algorithm, tracking, apples, color, reliability, classification, sorting.

Введение

Завершающим этапом предреализационной подготовки плодов является их сортировка [1–8]. Особенно важно это для яблок. Сортировка осуществляется в соответствии с СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей.

В настоящее время существуют системы, предназначенные для съема оптической информации с поверхности плодов для их последующей классификации и сортировки. Они получили название системы технического зрения (далее – СТЗ). Такие СТЗ позволяют значительно повысить производительность труда при сортировке и повысить качество осуществления операции.

Таким образом, обоснование параметров СТЗ и алгоритма ее работы является важной агроинженерной работой.

Основная часть

В 2019 году РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, предназначенная для сортировки яблок посредством СТЗ.

При работе СТЗ линии ЛСП-4 плод, транспортируемый по конвейеру, на определенное время оказывается в поле зрения оптического датчика, который многократно считывает его изображения и передает их в блок управления, который, в свою очередь, сравнивая их с эталонными, заложенными в «память», выдает решение о качестве плода и принадлежности его к тому или иному сорту. При этом каждому плоду присваивается свой уникальный номер, в соответствии с которым происходит сортировка. В таком случае важным является наиболее полный осмотр плода с целью обеспечения приемлемого уровня вероятности обнаружения дефектов плодов.

Так как точно определить состояние яблока только по одной его проекции невозможно, то для окончательного принятия решения о его качестве необходимо получить анализ всех его проекций. Получение этих проекций обеспечивается благодаря принудительному вращению плода, проходящего через камеру СТЗ.

В результате, пока яблоко находится в рабочей зоне СТЗ, оно успевает попасть на несколько кадров. Однако для предотвращения сбоев в работе системы требуется сопоставлять информацию, полученную по отдельным кадрам, для отслеживания повернувшегося плода.

Для достижения этой цели этого в систему встроен алгоритм трекинга движущихся объектов (рис. 1).

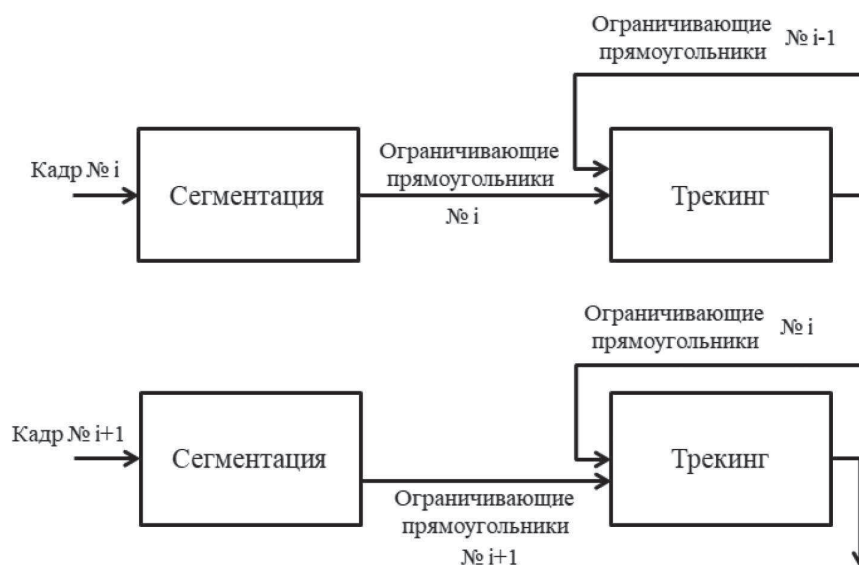


Рис. 1. Взаимодействие алгоритмов сегментации и трекинга

На вход алгоритма трекинга поступает набор координат прямоугольников, ограничивающих яблоки. Алгоритм трекинга учитывает информацию, сгенерированную им для предыдущего кадра видеопоследовательности (если он не первый), и выдаёт каждому ограничивающему прямоугольнику текущего кадра уникальный номер (назначает индивидуальный номер – ИД).

Тем самым алгоритм сопоставляет яблоки на двух кадрах и позволяет идентифицировать одно и то же яблоко на разных кадрах как одно яблоко, а не как несколько разных.

На рис. 2 приведена блок-схема работы предложенного алгоритма трекинга. Здесь BBList обозначает список координат ограничивающих прямоугольников (x_1, y_1, x_2, y_2) , поступающих на вход алгоритма; ObjList – список объектов (ИД и координат ограничивающих прямоугольников (x_1, y_1, x_2, y_2)), сгенерированный алгоритмом трекинга для предыдущего кадра; мин (ObjList) (макс (ObjList)) обозначает, что из списка координат ограничивающих прямоугольников объектов выбирается наименьшая координата левого нижнего угла прямоугольника (наибольшая координата правого нижнего угла). Регистрация объекта обозначает присвоение ему нового ИД и включение его в список объектов, где регистрация – удаление объекта из списка объектов, соотнесение объектов означает присвоение объектам текущего кадра ИД, который выбирается из списка ИД объектов предыдущего кадра. Результат работы алгоритма трекинга объектов приведён на рис. 3.

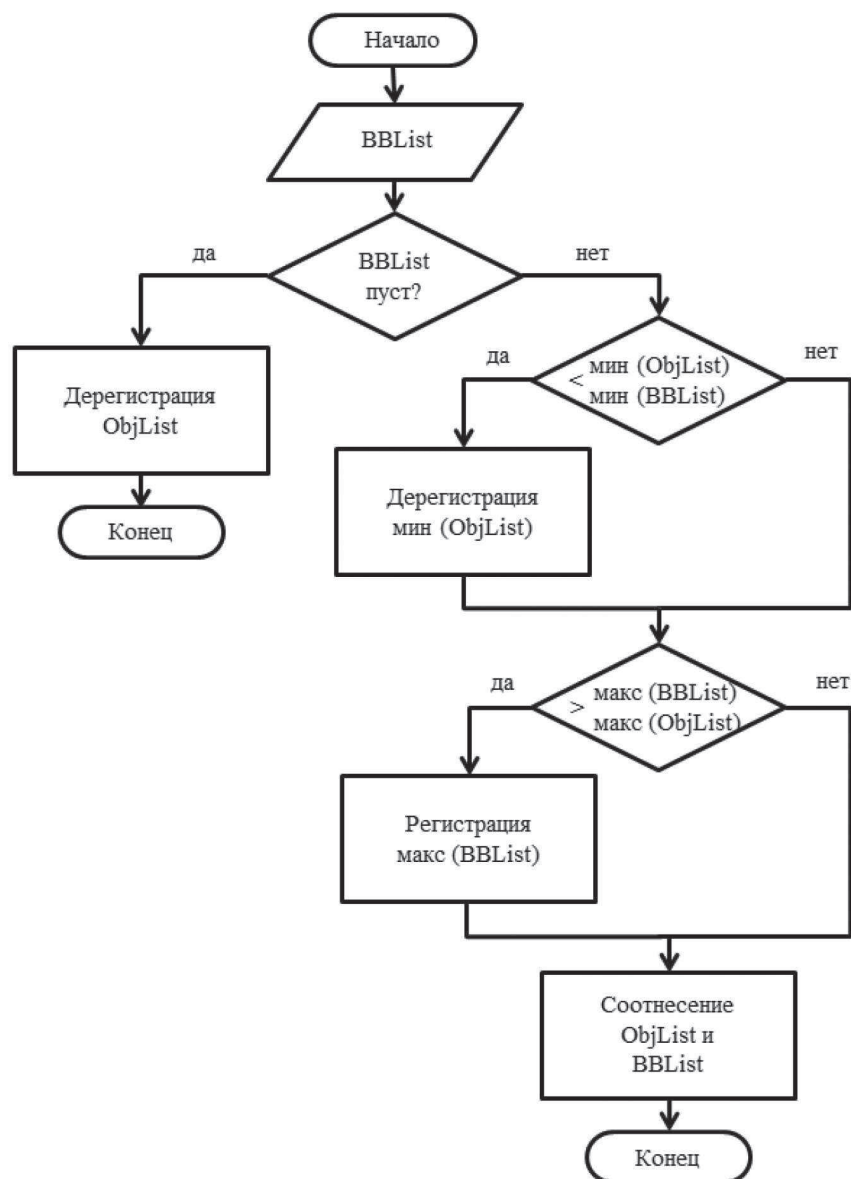


Рис. 2. Блок-схема предложенного алгоритма трекинга объектов

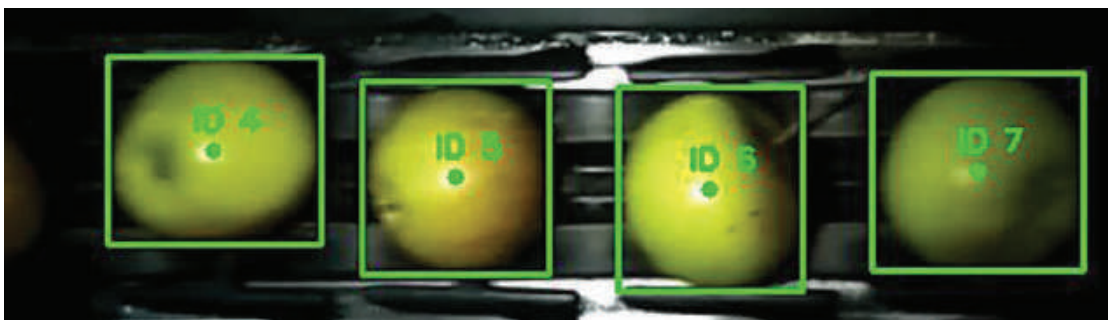


Рис. 3. Результат работы алгоритма трекинга объектов

После выхода плода с присвоенным ИД система начинает отсчет пройденного им расстояния посредством энкодера. Моментом начала отсчета является последний кадр, на котором имеется полное, не усеченное, изображение яблока.

Сортировка плодов системой осуществляется путем разделения потока на четыре потока клапанами под управлением быстродействующих соленоидов. При этом в «память» системы заложены расстояния до каждого из исполнительных механизмов сбрасывателей (рис. 4).

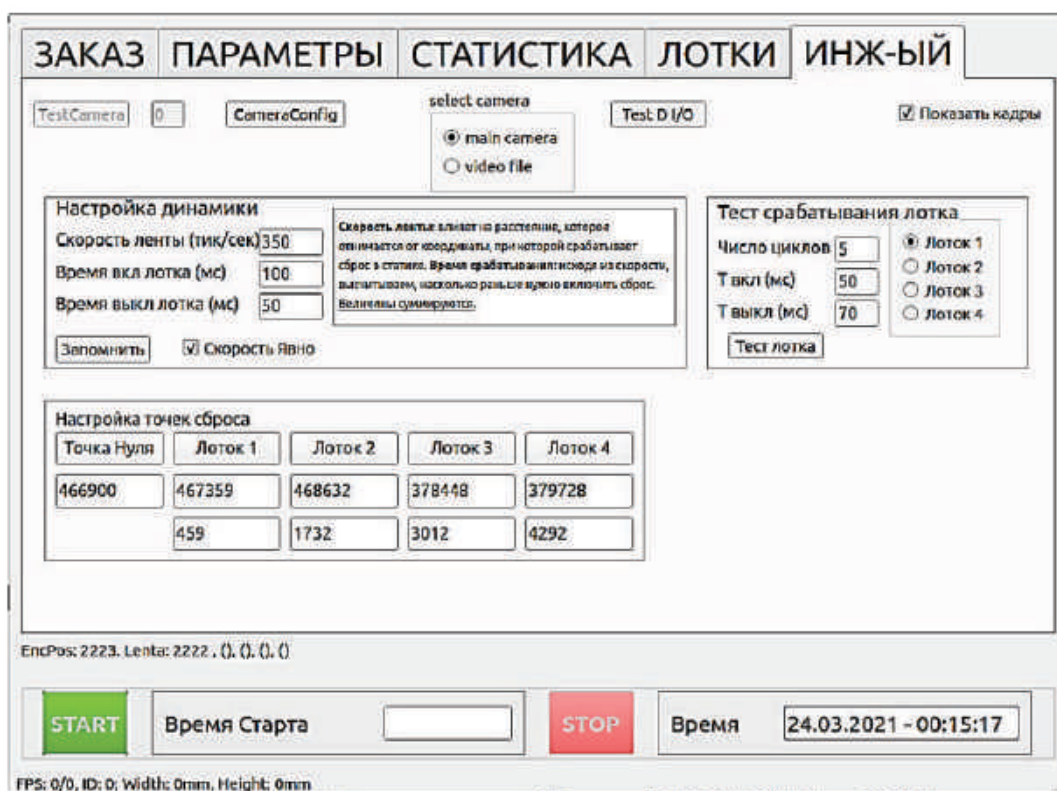


Рис. 4. Установка точек сброса плодов во вкладке «ИНЖЕНЕРНЫЙ» графического приложения СТЗ

Испытания линии показали [9], что алгоритм трекинга позволяет идентифицировать и отслеживать яблоки на конвейере, а также осуществлять разделение плодов по сортам с вероятностью 98 %.

Заключение

Разработан алгоритм трекинга изображения вращающихся плодов на конвейере, позволяющий качественно осуществлять отслеживание изображения сортируемых плодов и разделение потока плодов с вероятностью 98 %.

Список использованных источников

1. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
2. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М. : Колос, 1970. – 247 с.
3. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
4. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Зерноград, 2004. – 19 с.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 235 с.
6. Гордеев, А.С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – №2. – С.48–51.
7. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А. С. Гордеев ; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.
8. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
9. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2022. – 99 с.

УДК 631.353.2

Поступила в редакцию 04.10.2022

Received 04.10.2022

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

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

ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГРАБЛЕЙ-ВАЛКОВАТЕЛЕЙ ГРЕБЁНЧАТОГО ТИПА

Аннотация. В статье представлены лучшие промышленно освоенные образцы конструкций гребённых граблей-валкователей, а также указаны их достоинства и недостатки, которые были учтены РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» при разработке отечественного аналога гребённых граблей-валкователей ГВГ-9,5 на базе ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш».

Ключевые слова: корма, травы, сгребание, валок, засорение, гребённые грабли-валкователи, конструкции, обзор, анализ.

V. V. Mikulski, E. V. Dyba, L. I. Trofimovich, P. V. Yarovenko

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: mikulskyvadim@yandex.by*

REVIEW AND ANALYSIS OF STRUCTURES OF RAKE-SWATHERS COMB TYPE

Abstract. The article presents the best industrially developed designs of comb swath collector rakes and indicates their advantages and disadvantages, which were taken into account by RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization» when constructing the domestic analogue of comb swath collector rakes CSCR-9,5 on the basis of PS «Management Company of the Holding «Lidselmash».

Keywords: feed, grass, raking, swath, clogging, comb swath collector rakes, constructions, review, analysis.

Введение

В Республике Беларусь технологическая операция сгребания высушенной или провяленной массы выполняется с помощью граблей-валкователей ротационного или колесно-пальцевого типа,

которым присущ один существенный технологический недостаток, заключающийся в принципе работы самой машины. Дело в том, что процесс сгребания травяной массы как ротационными, так и колёсно-пальцевыми граблями-валкователями происходит путем волочения рабочих органов по поверхности поля, в связи с чем увеличивается вероятность увлечения в валок камней и других инородных тел. При уборке таких валков увеличивается и вероятность повреждения и выхода из строя рабочих органов кормоуборочной техники, что в свою очередь приводит к увеличению сроков уборки и потере кормов. Кроме того, постоянный контакт рабочих органов граблей с поверхностью почвы приводит к увеличению засорения формируемого валка землей и пылью, особенно при валковании трав на торфяных почвах, что приводит и к потере энергетической ценности кормов [1]. Последнее уже доказано исследованиями, проведенными в регионе интенсивного животноводства в Германии, в результате которых установлено, что увеличение содержания примесей в сухой массе собранного урожая с 2 до 4 % приводит к снижению их энергетической ценности до 4 %, а энергия, усваиваемая коровой, сокращается до 7,5 %. Исследованиями также установлено, что для производства кормов с уровнем содержания примесей не 4, а 2 %, в корма необходимо добавлять концентраты на сумму около 89 евро на 1 гектар в год [2].

С целью снижения загрязнения примесями травяной массы при сгребании ее в валок ряд зарубежных фирм провели соответствующие исследования, по результатам которых разработали новые грабли-валкователи гребенчатого типа [3–8], принцип работы которых основан на минимальном контакте зубьев с поверхностью почвы.

Исследованиями данных фирм установлено, что именно благодаря минимальному контакту зубьев с поверхностью почвы земля и камни не поднимаются и не оседают на валке, что снижает риск повреждения рабочих органов кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика, а также обеспечивает получение более высокого качества корма.

Кроме того, к преимуществам новых граблей-валкователей можно отнести отсутствие в сравнении с ротационными дорогостоящих кулачковых редукторов и карданного привода рабочих органов валкователя, что значительно снижает стоимость машины и сокращает энергопотребление на выполнение процесса сгребания в валок, обеспечивает вспушивание трав и, следовательно, более высокую скорость их сушки в валке, обеспечивает полное оборачивание валков с перемещением их на новое место.

Учитывая весьма убедительные достоинства гребенчатых граблей-валкователей перед ротационными и колесно-пальцевыми, а также приведенный экономический эффект от снижения количества примесей в кормах, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была поставлена задача разработать на базе ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш» отечественный аналог полуприцепных гребенчатых граблей-валкователей. В данной работе рассмотрены лучшие промышленно освоенные образцы конструкций гребенчатых граблей-валкователей зарубежных производителей, а также указаны их достоинства и недостатки, которые были учтены при разработке отечественного аналога.

Основная часть

Анализ конструкций граблей-валкователей гребенчатого типа осуществлялся по данным патентных исследований, в которых были приведены лучшие промышленно освоенные объекты техники таких фирм, как «New Holland North America» (США), «Berrima Engineering» (США), «ELHO» (Финляндия), «Repossi Macchine Agricole S.R.L.» (Италия), «SaMASZ» (Польша), «Umwelttechnik» (Германия). Так лучшим промышленно освоенным образцом гребенчатых граблей-валкователей фирмы «New Holland North America» является модель Rolabar rakes 230 (рис. 1) с рабочей шириной захвата 9,1 м [3].

На рис. 1 видно, что данные грабли-валкователи состоят из дышла 1, на конце которого шарнирно закреплены две балки 2. Каждый конец балки жестко закреплен с поворотной кареткой 3, на которой шарнирно закреплен гребенчатый рабочий орган 4. Поворотная каретка состоит из гидрофицированной рамы 5 и двух задних копирующих колес 6.

Гребенчатый рабочий орган 4 состоит из ведущего 7 и ведомого 8 роторов, которые в свою очередь устанавливаются на оси, расположенные на обоих концах рамы 9, и шести либо семи гре-

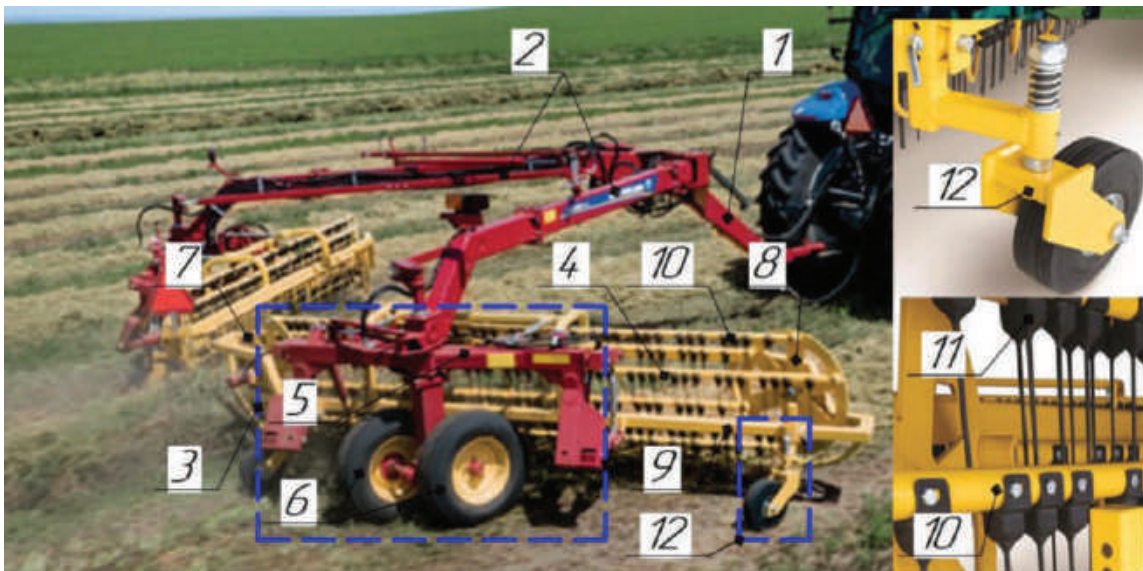


Рис. 1. Гребенчатые грабли-валкователи Rolabar rakes 230 фирмы «New Holland North America»:
 1 – дышло; 2 – балки; 3 – поворотная каретка; 4 – гребенчатый рабочий орган

бечатых балок 10, каждая из которых с обеих сторон шарнирно закреплена по периметру окружности роторов с одинаковым шагом и параллельно друг относительно друга. Каждая гребенчатая балка 10 оснащена резинометаллическими зубьями 11 для чистого (без засорения примесями) сгребания скошенных трав в валок.

Рама гребенчатого рабочего органа опирается на два подпружиненные копирующие передние колеса 12. Регулируемые подпружиненные передние колеса обеспечивают одинаковую высоту установки рабочих органов машины относительно почвы, а сдвоенные оси задних копирующих колес позволяют граблям плавно перемещаться по неровной поверхности, обеспечивая максимально чистое сгребание скошенных трав.

Привод ведущего ротора гребенчатого рабочего органа осуществляется от гидромотора. Регулировка ширины валка осуществляется путем увеличения или уменьшения расстояния между балками. Подъем-опускание и складывание гребенчатых рабочих органов осуществляются соответствующими гидроцилиндрами. Кроме того, гидроцилиндры, обеспечивающие их подъем-опускание, работают в режиме плавающего положения для более уверенного преодоления различных препятствий и неровностей почвы, а система регулируемых пружин (рис. 2), на которые подвешены гребенчатые рабочие органы, воспринимает часть их веса с целью обеспечения минимизации оказываемой силы при аварийном контакте последних с землей.

Управление граблями-валкователями Rolabar rakes 230 осуществляется из кабины трактора при помощи блока управления с интуитивной раскладкой цветокодированных кнопок.

К недостаткам можно отнести то, что работа гидрооборудования данных граблей-валкователей осуществляется от гидросистемы тракторов 1,4–2,0 тяговых классов с расходом масла не менее 34 л/мин, что в свою очередь может привести к перегреву гидронасоса при эксплуатации граблей с отечественными тракторами, так как ёмкость их гидросистемы не превышает 28 л.

Не меньший интерес представляют промышленно освоенные гребенчатые грабли-валкователи фирмы «Reposi Macchine Agricole S.R.L.» модификации 7500FP с рабочей шириной захвата до 7,5 м [4].

В отличие от граблей-валкователей Rolabar rakes 230 грабли-валкователи 7500FP можно агрегатировать как на передней навеске трактора (фронтально), так и на задней (рис. 3). Фронтальное использование граблей-валкователей позволяет выполнять сгребание и укладку скошенных трав в более комфортных условиях, так как в этом случае оператор имеет хорошую обзорность, обеспечивающую максимальный контроль качества выполнения процесса. Кроме того, при фронтальном способе сгребания трав колеса трактора не прижимают скошенную массу, следовательно, после



Рис. 2. Система регулируемых пружин гребенчатых рабочих органов Rolabar rakes 230: *а* – вид слева; *б* – вид спереди



Рис. 3. Гребенчатые грабли-валкователи mod. 7500FP фирмы «Reposi Macchine Agricole S.R.L.»:
а – расположение граблей-валкователей спереди (фронтальное);
б – расположение граблей-валкователей сзади; *в* – в комбинации с пресс-подборщиком

ее сгребания в валок травы будут содержать меньше примесей, нежели при заднем использовании граблей. А прочная, легкая рама граблей позволяет в агрегате с тракторами тягового класса 1.4 значительно экономить топливо по сравнению с использованием полуприцепных граблей аналогичного типа, что в конечном итоге положительно влияет на себестоимость заготавливаемых кормов.

Еще одним достоинством mod. 7500FP является возможность их использования на передней навеске трактора, благодаря чему расширяются функциональные возможности агрегата. Так, появляется возможность одним трактором одновременно выполнять две разные операции: валкование и тюкование, что также приводит к экономии топлива и снижению затрат времени на уборку (рис. 4, в).

Грабли-валкователи mod. 7500FP доступны потребителям в двух исполнениях: с частично независимой гидравлической системой (стационарный насос активирует вращение роторов, а подъем-опускание секций гребенчатых рабочих органов осуществляется от распределителя трактора); с зависимой гидросистемой (вращение роторов с гребнями и подъем-опускание секций гребенчатых рабочих органов осуществляются от распределителя трактора).

Регулировка копирующих колес граблей-валкователей осуществляется с помощью винтовой системы.

Благодаря полунавесной конструкции рабочие органы граблей легко переводятся в транспортное положение, что позволяет безопасно их транспортировать по дороге, а близкое расположение центра массы граблей-валкователей к трактору повышает сцепление задних колес трактора с почвой.

Адаптация гребенчатых рабочих органов к неровной поверхности почвы осуществляется за счет качающихся шарниров и плавающих гидроцилиндров (рис. 4). По мнению производителей, данная система самая надежная и безопасная среди существующих.

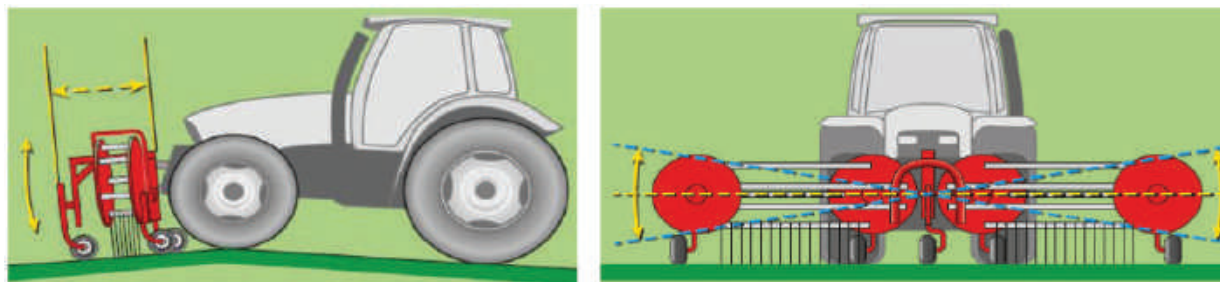


Рис. 4. Работа системы адаптации граблей-валкователей гребенчатого типа mod. 7500FP

Следует также отметить, что производители данных граблей-валкователей совместно с Миланским университетом провели исследования качества сгребания ими кормов, по результатам которых было установлено, что за счет уникальных гребенчатых рабочих органов корм, собранный ими в валок, до 75 % менее загрязнен почвой, чем валки, сформированные роторными или колесно-пальцевыми граблями-валкователями [4].

Фирма «SaMASZ» (Польша) также предлагает полунавесные грабли-валкователи гребенчатого типа под маркой TWIST 600 с шириной захвата 6 м (рис. 5) [5].

По данным производителя, грабли-валкователи TWIST 600 предназначены для быстрого, эффективного и чистого сгребания зеленого корма. Как и грабли-валкователи mod. 7500FP, грабли TWIST 600 могут быть присоединены как спереди, так и сзади трактора, что предполагает их агрегатирование в сочетании с пресс-подборщиком.

Конструкция TWIST 600 аналогична конструкции mod. 7500FP, соответственно, и преимущества их также схожие. Отличием является только то, что производители «SaMASZ» отказались от выполнения гидросистемы граблей-валкователей в двух исполнениях, как на mod. 7500FP. Привод гребенчатых рабочих органов у модели TWIST 600 осуществляется только от гидросистемы трактора.

Фирма «Umwelttechnik» (Германия) также представила полунавесные гребенчатые грабли-валкователи серии Clementer. В данной серии наибольший интерес вызывают грабли-валкователи модели 550 F (рис. 6) [6].



Рис. 5. Грабли-валкователи гребенчатого типа TWIST 600 фирмы «SaMASZ»



Рис. 6. Грабли-валкователи гребенчатого типа Clementer 550 F фирмы «Umwelttechnik»

Основной особенностью данных граблей-валкователей в сравнении с другими является то, что формирование скошенных трав в валок осуществляется не между гребенчатыми рабочими органами, а сбоку. Это достигается за счет параллельного расположения гребенчатых рабочих органов друг относительно друга, а по отношению к трактору они расположены под таким углом, при котором и обеспечивается смещение скошенных трав сторону.

Для обеспечения хорошей адаптации граблей к почве производители решили копирующие колеса рабочих органов расположить как можно ближе к зубьям граблей, что, на наш взгляд, является весьма хорошим конструктивным решением.

Каждое копирующее колесо можно регулировать по высоте винтовым механизмом с помощью рукоятки. Следует также отметить, что конструкция гребенчатых граблей-валкователей серии Clementer 550 F имеет модульную систему, то есть при необходимости уменьшения рабочей ширины захвата граблей одну из секций рабочих органов можно снять или, наоборот, для увеличения рабочей ширины захвата машины к двум имеющимся секциям можно добавить еще одну. Меньшую ширину захвата целесообразно использовать при высоких урожаях скошенных трав или в труднопроходимой местности, большая ширина захвата – для трав с низкой урожайностью на ровной почве (рис. 7).

Фирма «Umwelttechnik» также предлагает потребителям при необходимости дополнительное оборудование к граблям – независимую гидросистему подачи масла, обеспечивающую более надежный привод граблей.

Однако, несмотря на большое количество достоинств полунавесных гребенчатых граблей-валкователей перед полуприцепными, присутствует всё же один, но очень важный недостаток, заключающийся в низкой их производительности. Так, по данным производителей полунавесных гребенчатых граблей-валкователей, максимальная разрешенная рабочая их скорость не превышает 10 км/ч, при этом максимальная скорость полуприцепных граблей-валкователей может достигать



Рис. 7. Модульная система граблей-валкователей Clementer 550 F:
а – одна секция рабочих органов, *б* – три секции рабочих органов

16 км/ч. Кроме того, из-за конструктивных особенностей полунавесных гребёноччатых граблей-валкователей, увеличить их ширину захвата выше 7,5 м довольно затруднительно, что также является ограничивающим фактором в отношении увеличения производительности данных граблей. Конструкция же полуприцепных граблей-валкователей аналогичного типа данного недостатка лишена, и ширина захвата может достигать 12 м и более. Таким образом, по производительности выполнения технологического процесса разница между полуприцепными гребёноччатыми граблями-валкователями и полунавесными может достигать 2–3 раз.

Так, на американском рынке по производству гребёноччатых граблей-валкователей фирма «Berrima Engineering» разработала пять моделей гребёноччатых граблей-валкователей серии BR. Все пять моделей имеют полуприцепную систему навески на трактор. В данной серии наибольший интерес вызывают грабли-валкователи модели 1200С (рис. 8) с шириной захвата 12 м [7].

Отличительной особенностью данной серии от рассмотренных ранее типов гребёноччатых граблей-валкователей является их универсальность. Кроме функции сгребания скошенных трав в валок, грабли-валкователи BR1200С могут при необходимости качественно оборачивать валок (валки) со смещением (рис. 8, *а*), ворошить валок с одновременным формированием его обратно в валок или без формирования (рис. 8, *б*, *в*).

Следует отметить, что рассмотренные полунавесные гребёноччатые грабли-валкователи также могут оборачивать валок, однако из-за недостаточного угла наклона рабочих органов относительно трактора масса валка при оборачивании может переплетаться, образуя так называемую «веревку». Грабли-валкователи BR1200С лишены данных недостатков, так как за счет прочной, надежной и универсальной конструкции их рамы, секции рабочих органов граблей можно отрегулировать на любой угол наклона, который необходим для предотвращения образования «веревки» при оборачивании валков.

Несмотря на внушительные размеры граблей BR1200С разработчикам всё же удалось спроектировать широкозахватные многофункциональные грабли-валкователи с весьма хорошо продуманной системой перевода секций гребёноччатых рабочих органов в компактное транспортное положение (рис. 8, *г*). Так, транспортная ширина данной модели составляет всего 2,5 м, что позволяет так же безопасно транспортировать её по дороге общего назначения, как и полунавесные модели TWIST 600 или mod. 7500FP.

Для копирования неровностей почвы разработчики, кроме установки стандартной системы в виде копирующих колес с простой регулировкой их по высоте, как у полунавесных граблей-валкователей, используют систему, схожую с Rolabar rakes 230 – плавающие гидроцилиндры с демпферной системой погашения вибраций и резких перепадов неровностей почвы. Однако в качестве демпфирующего устройства выступают не пружины, как у Rolabar rakes 230, а пневмоподушки, разработанные известной канадской фирмой Timbren.

В ходе проведения патентных исследований также было установлено, что фирма «SaMASZ» осуществляла разработку полунавесных граблей-валкователей гребёноччатого типа модели TWIST 600 по лицензии финской фирмы «ELHO», которая по настоящее время является национальным



Рис. 8. Грабли-валкователи гребенчатого типа BR1200С фирмы «Berrima Engineering»:
а – оборачивание валков со смещением, *б* – ворошение валка с одновременным формированием его обратно в валок,
в – ворошение валка, *г* – в транспортном положении

правообладателем данной разработки. В связи с этим при обзоре выпускаемой продукции «ELHO» было установлено, что в настоящее время данная фирма выпускает три модели гребенчатых граблей: полунавесные V-Twin 600 и V-Twin 4600; полуприцепные V-Twin 750 и V-Twin 950 Super. Среди данных моделей наибольший интерес вызывают полуприцепные грабли-валкователи модели V-Twin 950 Super (рис. 9) с рабочей шириной захвата 9,5 м [8].



Рис. 9. Грабли-валкователи гребенчатого типа V-Twin 950 Super фирмы «ELHO»

Грабли V-Twin 950 Super имеют гидравлически регулируемую рабочую ширину захвата диапазоном от 4,5 до 9,5 м. Также они оснащены подвеской HydroBalance, которая обеспечивает плавное копирование рельефа почвы. Стандартная модель V-Twin 950 Super также может формировать валок как справа, так и слева относительно трактора. Эта функция особенно полезна, если между прокосами небольшое пространство и необходимо избежать движения по ним. Еще одной стандартной опцией является использование только одного из роторов для укладки смещаемого валка граблями в уже сформированный валок или для оборачивания валка со смещением точно так же, как и при работе с BR1200C.

V-Twin 950 Super имеют небольшую ширину в транспортном положении – 2,4 м, причем имеется возможность её регулировки до 3,2 м путем смещения ходовых колес, что обеспечивает более высокую устойчивость граблей при перемещении их по дороге, а также при работе на склонах.

Так же, как и BR1200C, грабли-валкователи V-Twin 950 Super могут оснащаться дополнительно ворошилками, а также независимой гидросистемой подачи масла.

Заключение

Таким образом, по результатам обзора и анализа лучших промышленно освоенных образцов конструкций гребёчатых граблей-валкователей установлено, что, несмотря на многочисленные достоинства полунавесной системы сгребания травяной массы в валок, по показателям производительности и функциональным возможностям они всё же уступают полуприцепной системе. Кроме того, несмотря на значительное повышение стоимости граблей-валкователей при установке дополнительного оборудования – независимой гидросистемы подачи масла, последние обеспечивают более надёжный привод граблей и предохраняют их гидросистему от возможного перегрева. При анализе конструкций граблей-валкователей с точки зрения их перевода из транспортного положения в рабочее и обратно, а также их компактности при транспортировке установлено, что и полунавесные и полуприцепные их системы перспективны и существенных недостатков не имеют.

Список использованных источников

1. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабоцкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб.: в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 3–10.
2. Тройные комбинации дисковых косилок // Проспект фирмы KUHN (Франция), 2017. – 20 с.
3. RAKES 230/258 // Проспект фирмы «New Holland North America» (США), 2019. – 8 с.
4. Передние и задние гидравлические гребенки с центральным валком mod. 6000FP/7500FP // Проспект фирмы «Repossi Macchine Agricole S.R.L.» (Италия), 2017. – 4 с.
5. Ворошилки роторные, грабли роторные 2019/2020 // Проспект фирмы «SaMASZ» (Польша), 2019. – 17 с.
6. Leicht – futterschonend – geringer energieaufwand CLEMENTER // Проспект фирмы «BB-Umwelttechnik» (Германия), 2020. – 8 с.
7. Грабли для сена Roller Bar – это сила и простота, позволяющая преодолевать большие расстояния // Проспект фирмы «Berrima Engineering» (США), 2018. – 8 с.
8. Ассортимент продукции ELHO 2020 // Проспект фирмы «ELHO» (Финляндия), 2019. – С. 6–9.

А.А. Кувшинов

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ПНЕВМОПРОВОДУ

Аннотация. Установлены зависимости определения потерь давления при транспортировании материалов по горизонтальному пневмопроводу. Разработан метод, позволяющий определять величину потерь давления с использованием только таких свойств материала, как его конечная скорость и коэффициент кинетического трения.

Ключевые слова: зависимость, потери давления, пневмопровод, кинетическая энергия, частица, материал, аэросмесь.

A.A. Kuvshinov

*RUE "NPC NAS of Belarus on Agriculture Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: kur@ro.ru*

DETERMINATION OF PRESSURE LOSSES DURING PNEUMATIC TRANSPORTATION OF MATERIALS THROUGH A HORIZONTAL PNEUMATIC PIPELINE

Abstract. Dependencies for determining the loss of pressure during transportation of materials on horizontal pneumatic pipeline. A method has been developed that allows you to determine the value of pressure loss using only such material properties as its final speed and coefficient of kinetic friction.

Keywords: dependence, pressure loss, pneumatic pipeline, kinetic energy, particle, material, air mixture.

Введение

В настоящее время существует несколько теоретических методов определения потерь давления при транспортировании материалов в пневмопроводах. Большинство методов основано на ряде допущений и упрощений, которые ограничивают их использование при проектировании систем пневматического транспорта [1]. Например, предполагают, что материал состоит из частиц сферической формы, однородных по размерам. При расчетах также используется предположение, что материал представляет собой слабо сконцентрированную массу, в которой частицы находятся в незначительном взаимодействии друг с другом [2].

Методы определения потерь давления при пневматическом транспортировании вследствие трения частиц, рассчитанные с применением таких допущений, оказываются непригодными для проектирования установок, применяющихся для перемещения неоднородных материалов в реальных условиях [3].

Основная часть

При движении аэросмеси по пневмопроводу кинетическая энергия транспортируемых частиц уменьшается вследствие сопротивления воздушного потока и трения частиц между собой и о стенки пневмопровода [4]. Потери давления в транспортном пневмопроводе можно разделить на две составляющие: потери давления от перемещения воздушного потока $dp_{\text{в}}$ и потери давления от перемещения транспортируемых частиц $dp_{\text{м}}$, т.е.:

$$dp = dp_B + dp_M, \quad (1)$$

Для рассмотрения потерь давления в горизонтальном пневмопроводе выделим элемент длиной dx . Результирующая сила давления на элемент будет

$$dP = -dpF, \quad (2)$$

где F – площадь пневмопровода.

Сила трения воздушного потока о стенки пневмопровода:

$$dT_B = \tau_B \pi D dx, \quad (3)$$

где τ_B – касательное напряжение между стенками пневмопровода и воздушным потоком; D – диаметр пневмопровода.

Подставив значение касательного напряжения из (3), получим:

$$dT_B = \frac{\lambda_B \rho V_B^2}{4} \frac{\pi D dx}{2}, \quad (4)$$

где λ_B – коэффициент трения воздуха о стенки пневмопровода; V_B – скорость воздушного потока; ρ – плотность воздуха.

Против направления транспортирования действует также сила сопротивления движению частиц материала dQ_M . Применив для нашего случая закон Ньютона, получим:

$$dP - dT_B - dQ_M = dG_B a_B. \quad (5)$$

Подставив значения составляющих из выражений (2), (3) и (4) в уравнение (5), получим:

$$-dpF - \frac{\lambda_B \rho V_B^2}{4} \frac{\pi D dx}{2} - dQ_M = dG_B a_B, \quad (6)$$

где dG_B – масса воздуха; a_B – ускорение воздушного потока на участке dx , которое можно выразить следующим образом:

$$a_B = \frac{V_B dV_B}{dx}, \quad (7)$$

С учетом (7) и проведя несложные преобразования, получим потери давления:

$$dp = -\lambda_B \frac{dx \rho V_B^2}{D} - \rho V_B dV_B - \frac{dQ_M}{F}, \quad (8)$$

Знак минуса показывает, что с увеличением x давление падает. Первые два члена правой части уравнения представляют собой потери давления воздушного потока, а третий – потери давления от присутствия частиц материала в воздухе. Потери давления воздушного потока состоят из потерь на трение воздуха в пневмопроводе и потерь на ускорение транспортирующего воздуха.

Потери давления, вызываемые присутствием частиц материала в воздушном потоке, определяются по уравнению:

$$dp_M = -\frac{dQ_M}{F}, \quad (9)$$

Для элементарной длины пневмопровода можно применить уравнение движения:

$$dQ_M - dT_M = dG_M a_M, \quad (10)$$

где dQ_M – сила сопротивления движению частиц материала; dT_M – сила трения частиц материала; dG_M – масса частиц материала; a_M – ускорение частиц материала.

Подставив в уравнение (9) значение dQ_M из выражения (10) и проведя преобразования, получим:

$$\frac{dQ_M}{F} - \frac{dT_M}{F} = \frac{dG_M a_M}{F}, \quad (11)$$

или

$$\frac{dQ_M}{F} = \frac{dG_M}{F} \left(\frac{dT_M}{dG_M} + a_M \right). \quad (12)$$

Учтем действующую против направления движения силу трения, определяемую по данным [3] из выражения:

$$dT_M = dG_M \frac{K_M V_M^2}{2D}, \quad (13)$$

где K_M – коэффициент трения материала о стенки пневмопровода; V_M – мгновенная скорость движения частиц материала.

Масса материала, приходящаяся на единицу объема пневмопровода:

$$\frac{dG_M}{F dx} = \frac{\mu V_B \rho}{V_M} dx, \quad (14)$$

Подставив выражения (13) и (14) в уравнение (12), получим:

$$\frac{dQ_M}{F} = \frac{\mu V_B \rho}{V_M} dx \left(\frac{K_M V_M^2}{2D} + a_M \right), \quad (15)$$

Отсюда потери давления, вызванные наличием материала в воздушном потоке:

$$dp_M = -\frac{\mu V_B \rho K_M V_M}{2D} dx - \mu V_B \rho dV_M, \quad (16)$$

так как

$$a_M = \frac{V_M dV_M}{dx}.$$

Первая составляющая выражения (16) представляет потери давления от трения движущихся частиц о стенки пневмопровода:

$$dp_{MT} = -\mu \frac{K_M}{D} \frac{V_M}{V_B} \frac{\rho V_B^2}{2} dx. \quad (17)$$

Приведенную зависимость перепишем в виде:

$$dp_{MT} = -\mu \frac{K_M}{D} \frac{V_K}{V_B} \frac{\rho V_B^2}{2} \frac{V_M}{V_K} dx, \quad (18)$$

где V_K – конечная скорость движения частицы материала.

Это уравнение справедливо при разгоне, т.е. когда изменяется скорость частиц материала V_M .

При установившемся движении отношение $V_M/V_K = 1$, тогда выражение (18) имеет вид:

$$dp_{MT} = -\mu \frac{\lambda_M}{D} \frac{\rho V_B^2}{2} dx, \quad (19)$$

где λ_M – коэффициент трения частиц материала в пневмопроводе при установившемся движении,

$$\lambda_M = K_M \frac{V_K}{V_B}. \quad (20)$$

Из приведенных уравнений видно, что коэффициент трения материала λ_m при установившемся движении зависит от постоянной K_m , которая зависит от рода транспортируемого материала, степени шероховатости стенок пневмопровода и наклона пневмопровода.

Второй составляющей выражения (16) являются потери давления на ускорение материала:

$$dp_{\text{мy}} = -\mu \rho V_m dV_m = -\mu \frac{\rho V_B^2}{2} \frac{2dV_m}{V_B}. \quad (21)$$

Эти потери давления встречаются лишь при ускоренном движении материала, например, за питателем или отводом. Встречаются эти потери и в прямолинейном пневмопроводе высоконапорных установок, если воздушный поток движется ускоренно вследствие расширения.

Подставив значение выражения (2), (4) и (13) в уравнение (5) и интегрируя в пределах от $x = 0$ до $x = L$, получим общие потери давления в горизонтальном пневмопроводе:

$$dp = -\lambda_B \frac{L}{D} \frac{\rho V_B^2}{2} - \frac{\rho V_B^2}{2} - \mu \lambda_m = \frac{L}{D} \frac{\rho V_B^2}{2} - \mu \frac{2V_m}{V_B} \frac{\rho V_B^2}{2}. \quad (22)$$

Из уравнения (22) видно, что потери давления в пневмопроводе зависят от скорости и ускорения воздуха и частиц материала, плотности воздуха, геометрических параметров системы, коэффициента трения воздуха и частиц материала о стенки транспортного пневмопровода и массовой концентрации аэросмеси. При использовании уравнения (22) основная трудность заключается в определении значения коэффициента трения частиц материала в пневмопроводе λ_m , зависящего от многих факторов. Этот коэффициент входит в составляющую потерь давления, вызванных наличием материала в воздушном потоке.

Преобразуем уравнение (19) для расчета dp_m в случае разгона и установившегося движения частиц материала. Используем для этих целей уравнение Невье-Стокса:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{d^2 V_B}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV_B}{dr} \right) + R = 0, \quad (23)$$

где p – статическое давление; ν – кинематическая вязкость воздуха; R – силы, действующие на единицу длины потока.

Так как второй член левой части уравнения (23) выражает потери давления от перемещения воздушного потока, то в соответствии с выражением (1) можно записать:

$$\frac{dp_m}{dx} = \rho R. \quad (24)$$

Обозначив время пребывания в пневмопроводе одной частицы τ , а число частиц, поступающих в пневмопровод в единицу времени, n , получим, что общее количество частиц, содержащееся в пневмопроводе длиной L , будет равно $n \cdot \tau$. Количество частиц, находящихся в единице потока движущейся аэросмеси, пропорционально скорости частиц и поэтому равно R/V_m , где R – постоянная. Поэтому:

$$n\tau = \frac{\pi D^2}{4} \rho k \int_0^L \frac{dx}{V_m} = \frac{\pi D^2}{4} \rho k \int_0^\tau dt = \frac{\pi D^2}{4} \rho k \tau. \quad (25)$$

Продольная аэродинамическая сила, действующая на массу частиц, находящихся в потоке, состоит из сил лобового сопротивления, движущихся в потоке аэросмеси частиц.

Силу лобового сопротивления отдельной частицы можно определить по формуле Ньютона:

$$N = CS\rho \frac{(V_B - V_m)^2}{2}, \quad (26)$$

где C – коэффициент сопротивления отдельной частицы, зависящий от формы тела и состояния ее поверхности; S – миделево сечение тела; N – сила лобового сопротивления.

Для случаев ускоренного движения из формулы (26) определим коэффициент, учитывающий ускорение частицы материала:

$$\psi = \frac{CS\rho}{2m},$$

где m – масса частицы материала.

С учетом этого сила, действующая на единицу длины потока аэросмеси:

$$R = N \frac{k}{V_M} = m\psi(V_B - V_M)^2 \frac{k}{V_M}. \quad (27)$$

Подставляя выражения (25) и (27) в (24), получим:

$$\frac{dp_M}{dp} = \frac{4mn\psi(V_B - V_M)^2}{\pi D^2 V_M}.$$

Следовательно, потери давления от перемещения частиц материала для случаев ускорения и установившегося движения:

$$dp_M = \frac{4mn\psi}{\pi D^2} \int_0^L \frac{(V_B - V_M)^2}{V_M} dx = \frac{4mn\psi}{\pi D^2} \int_0^\tau (V_B - V_M)^2 dt. \quad (28)$$

Предположив, что в горизонтальном пневмопроводе перемещается одна частица материала, представим ее уравнение движения в виде:

$$a_M = \psi(V_B - V_M)^2 - fq, \quad (29)$$

где f – коэффициент кинетического трения между частицей материала и стенкой пневмопровода.

Считаем, что коэффициент кинетического трения соответствует суммарному трению скольжения и столкновений частиц одна о другую и о стенки пневмопровода. Интегрируя уравнение (29) при начальных условиях, получим:

$$V_M = V_B - V_0 \left[\frac{\exp(C_1\tau) + C_2}{\exp(C_1\tau) - C_2} \right], \quad (30)$$

где $V_0 = \sqrt{\frac{fq}{\psi}}$, $C_1 = 2\psi V_0$, $C_2 = \frac{V_B - V_M - V_0}{V_B - V_M + V_0}$.

Подставив (30) в (28) и проинтегрировав, получим выражение для определения потерь давления, вызванных наличием частиц материала в воздушном потоке:

$$dp_M = \frac{4mn\psi V_0^2}{\pi D^2 C_1} \left[C_1\tau - \frac{4C_2}{\exp(C_1\tau) - C_2} + \frac{4C_2}{1 - C_2} \right]. \quad (31)$$

Интегрируя уравнение (30), получаем выражение, которое можно использовать для нахождения времени пребывания в пневмопроводе частицы материала:

$$L = (V_B - V_0)\tau - \frac{1}{\psi} \lg \left[\frac{\exp(C_1\tau) - C_2}{1 - C_2} \right]. \quad (32)$$

Коэффициент трения частиц материала в пневмопроводе λ_M определим, приравняв правые части уравнений (19) и (31) и подставив значение массовой концентрации аэросмеси:

$$\mu = \frac{dG_M}{dG_B} = \frac{4mn}{V_B \pi D^3 \rho}. \quad (33)$$

Тогда:

$$\lambda_M = \frac{V_0 D}{L V_B} \left[C_1\tau - \frac{4C_2}{\exp(C_1\tau) - C_2} + \frac{4C_2}{1 - C_2} \right]. \quad (34)$$

При определении коэффициента λ_m необходимо учитывать влияние взаимодействия частиц между собой в процессе движения. Из уравнения (26) при $V_0 = 0$ и $V_m = V_k$, используя закон Ньютона, определим коэффициент ускорения частиц при установившемся движении ψ_0 :

$$\psi_0 = \frac{q}{V_k^2}. \quad (35)$$

В уравнении (35) используется величина средней конечной скорости массы частиц, так как она отражает режим движения скоплений материала в воздушном потоке. Конечную скорость частиц массы необходимо определять с учетом изменения плотности воздуха по длине пневмопровода. Для учета взаимодействия частиц между собой в процессе движения введем в уравнение для расчета λ_m в случае разгона показатель уменьшения коэффициента ускорения:

$$\varphi = \frac{\psi V_k^2}{q}. \quad (36)$$

Показатель уменьшения коэффициента ускорения по предварительным данным зависит главным образом от массовой концентрации аэроаэрозоля и определяется экспериментальным путем.

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований установлены зависимости, которые можно использовать при практическом определении потерь давления при транспортировании материалов по горизонтальному пневмопроводу. Разработанный метод позволяет определять величину потерь давления с использованием только таких свойств материала, как его конечная скорость и коэффициент кинетического трения.

Список использованных источников

1. Хрусталева, Б.М. Пневматический транспорт / Б.М. Хрусталева, Н.В. Кислов. – Минск : ООО «Информационная служба недвижимости», 1998. – 452 с.
2. Малис, А. Я. Пневматический транспорт для сыпучих материалов / А.Я. Малис, М.Г. Касторных. – М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.
3. Чальцев, М. Н. Теория и разработка пневмотранспортных систем //Вестник Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 1. – С. 40–43.
4. Пневматический транспорт : пат. 2344983 Российской Федерации, МПК В65G 51/00 / А.Е. Падалко : заявитель Падалко А.Е. – № 2006134922/11 ; заявл. 02.10.2006 ; опубл. 27.01.2009.
5. Селезнев, В.Е. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, С.Н. Прялов – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 436 с.

УДК 631.3.072

Поступила в редакцию 02.09.2022

Received 02.09.2022

А. А. Жешко, А. В. Ленский

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

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. Рассмотрены особенности построения функциональной и информационной моделей автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы.

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

FUNCTIONAL AND INFORMATION MODELS OF THE AUTOMATED SYSTEM OF RATIONAL ACQUISITION OF MACHINE-TRACTOR AGGREGATES

Abstract. The features of development a functional and information models of an automated system of rational acquisition of machine-tractor aggregates for basic tillage are considered.

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

Введение

Проектирование автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов предполагает несколько обязательных этапов, которые способствуют достижению наиболее сбалансированного результата во внешней реализации приложения и получению эффективной структуры программного кода.

Метод и стратегия решения задачи комплектования машинно-тракторных агрегатов определяются способом представления внутренних данных, что требует адаптации алгоритма для реализации в приложении, разработки документации к программному обеспечению, которая, помимо справочной информации, также должна включать технические требования на автоматизированную систему, проведения тестирования разработанной программы и сравнения расчетных данных с протоколами испытаний сельскохозяйственной техники.

Основная часть

На начальном этапе проектирования автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов выполняется описание системы на концептуальном уровне. Между объектами системы при комплектовании машинно-тракторного агрегата происходит обмен синхронными и асинхронными сообщениями.

На рис. 1 представлена диаграмма развертывания автоматизированной системы, которая состоит из клиентской части, представляющей собой физическое устройство на платформе Android б+, на котором реализовано приложение, а также сервера Agronaut, на котором хранятся PHP-скрипты с кодом контроллера и модели приложения.

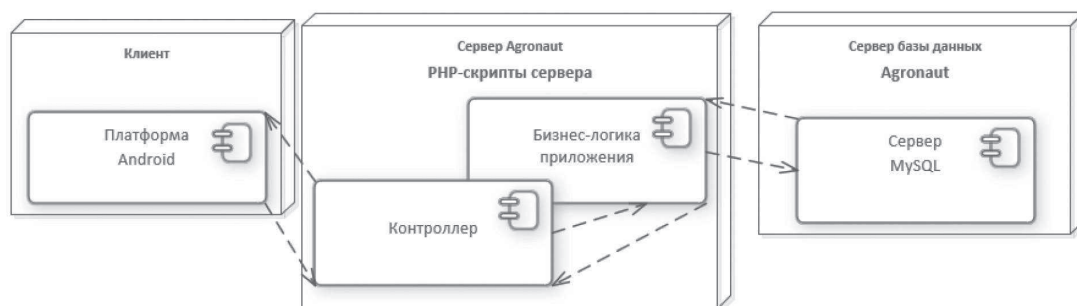


Рис. 1. Диаграмма развертывания автоматизированной системы для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов

Таким образом, автоматизированная система для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов реализована в рамках паттерна «Модель-Представление-Контроллер» [1].

Функциональная модель работы приложения и ее декомпозиция. Для формализации и описания бизнес-процессов автоматизированной системы рационального комплектования машинно-трак-

торных агрегатов целесообразно воспользоваться методологией функционального моделирования и графической нотацией IDEF0, которая нацелена на раскрытие соподчиненности объектов моделирования. Отличительной особенностью методологии IDEF0 является рассмотрение логических взаимосвязей объектов модели, а не поточности их выполнения. При этом система представляется как «черный ящик» с входными и выходными данными, управлением и механизмом реализации определенной функции.

На рис. 2 представлена диаграмма на основе методологии IDEF0, представляющая функциональную модель системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата. Как видно из диаграммы, основной функцией системы является комплектование машинно-тракторного агрегата, исходными данными служат технические характеристики энергетического средства I1 и сельскохозяйственной машины для основной обработки почвы I2, на выходе в результате функционирования системы получаем скомплектованный агрегат O1 [2].

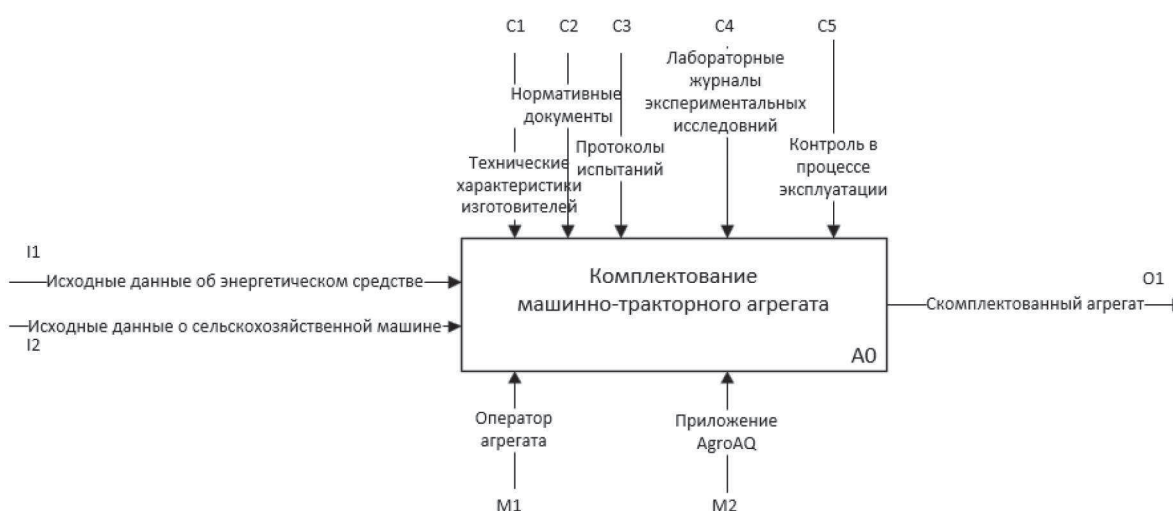


Рис. 2. Диаграмма на основе методологии IDEF0, представляющая функциональную модель системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата на уровне A0

Управляющими элементами при этом являются:

- 1) C1 – технические характеристики от производителей энергосредств и сельскохозяйственных машин для основной обработки почвы;
- 2) C2 – нормативные документы, например отраслевые нормы выработки и расхода топлива на механизированные работы в сельском хозяйстве;
- 3) C3 – протоколы испытаний сельскохозяйственной техники;
- 4) C4 – лабораторные журналы экспериментальных исследований;
- 5) C5 – контроль в процессе эксплуатации.

Механизмы реализации комплектования заключаются в совместных действиях оператора машинно-тракторного агрегата M1, который осуществляет выбор исходной информации и воздействие на элементы управления приложением, а также в функционале приложения AgroAQ M2, которое позволяет выполнять необходимые вычисления и выдавать рекомендации относительно рациональности комплектования конкретного машинно-тракторного агрегата.

На рис. 3 представлена декомпозиция функциональной модели на уровне A1–A4.

Декомпозиция процесса комплектования машинно-тракторного агрегата представлена следующими основными функциями:

A1 – подготовка исходных данных, в качестве входных данных выступают элементы I1 и I2. Процесс осуществляется оператором МТА M1, а правильность отработки функции контролируется элементами C1 и C2 за счет загрузки в каждый последующий селективный элемент управления перечня техники и параметров, логически взаимосвязанных с выбранными на предыдущем шаге. Необходимо отметить, что функционал приложения также участвует в реализации механиз-

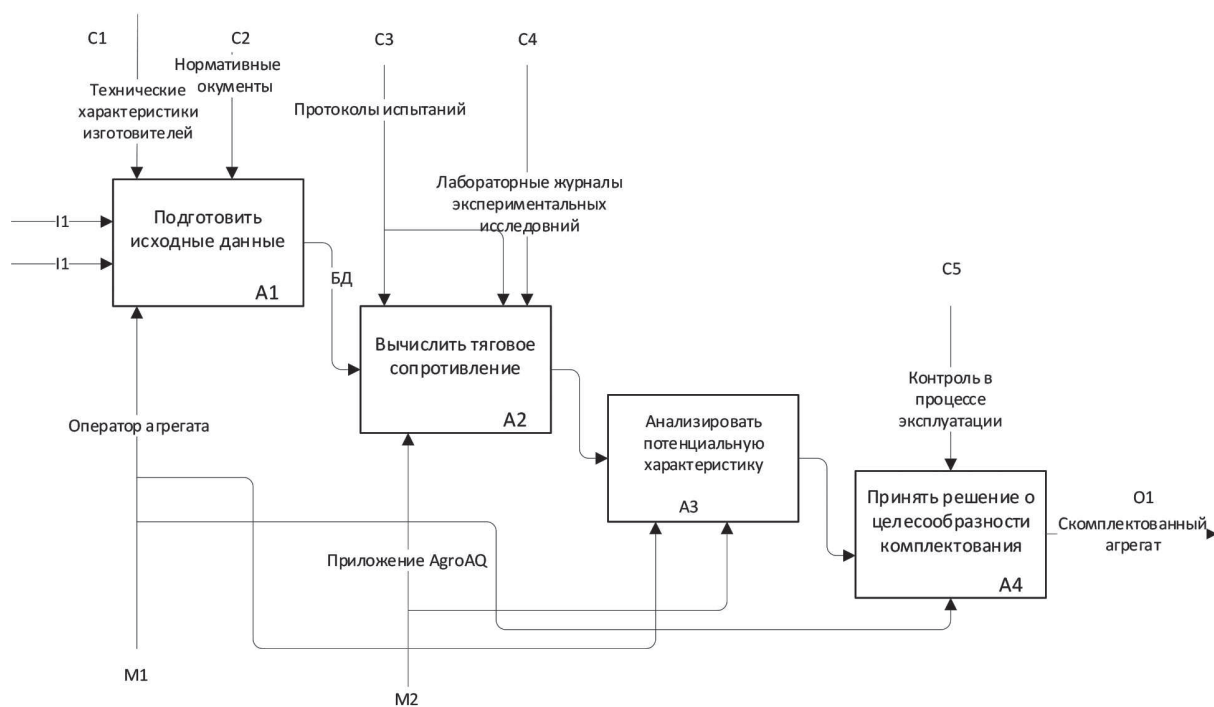


Рис. 3. Декомпозиция функциональной модели системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

ма подготовки исходных данных, однако роль оператора МТА при этом существенно преобладает. Переход от блока А1 к А2 сопровождается формированием запроса к базе данных с индексами, выбранными в блоке А1, и передачей информации из базы данных для вычислений в блоке А2;

А2 – вычисление тягового сопротивления осуществляется исключительно за счет функционала приложения М2, в процессе выполнения расчетов происходит согласование получаемых результатов с данными протоколов испытаний техники С3, кроме того, расчеты основаны на математических моделях, построенных по результатам экспериментальных исследований С4; результаты расчета передаются к блоку А3 и используются для построения потенциальной характеристики трактора, а также для формирования рекомендаций о рациональности комплектования машинно-тракторного агрегата;

А3 – анализ потенциальной характеристики и ознакомление с рекомендациями о рациональности комплектования осуществляется оператором М1, приложение AgroAQ осуществляет построение потенциальной характеристики и формирует рекомендации на основании выполненных расчетов;

А4 – принятие решения о рациональности комплектования агрегата осуществляется оператором М1. Для контроля С5 за правильностью принятого решения в процессе отладки приложения и в период расширения его функционала могут участвовать инженерные работники, разработчик, оператор МТА и другие заинтересованные лица.

Декомпозиция функции подготовки исходных данных модели представлена на рис. 4. Механизмом реализации функции является оператор МТА М1.

А1.1 и А1.2 – выбор марки машины и трактора соответственно, осуществляется на основании данных, хранящихся в базе, которая согласована с техническими характеристиками заводов-изготовителей техники и другими нормативными документами;

А1.3 – выбор типа почвы осуществляется из предлагаемого перечня, который соответствует общепринятой классификации для возделывания основных сельскохозяйственных культур;

А1.4 – формирование комплекта рабочих органов сельскохозяйственной машины для основной обработки почвы осуществляется на основе данных, приведенных в технических характеристиках.

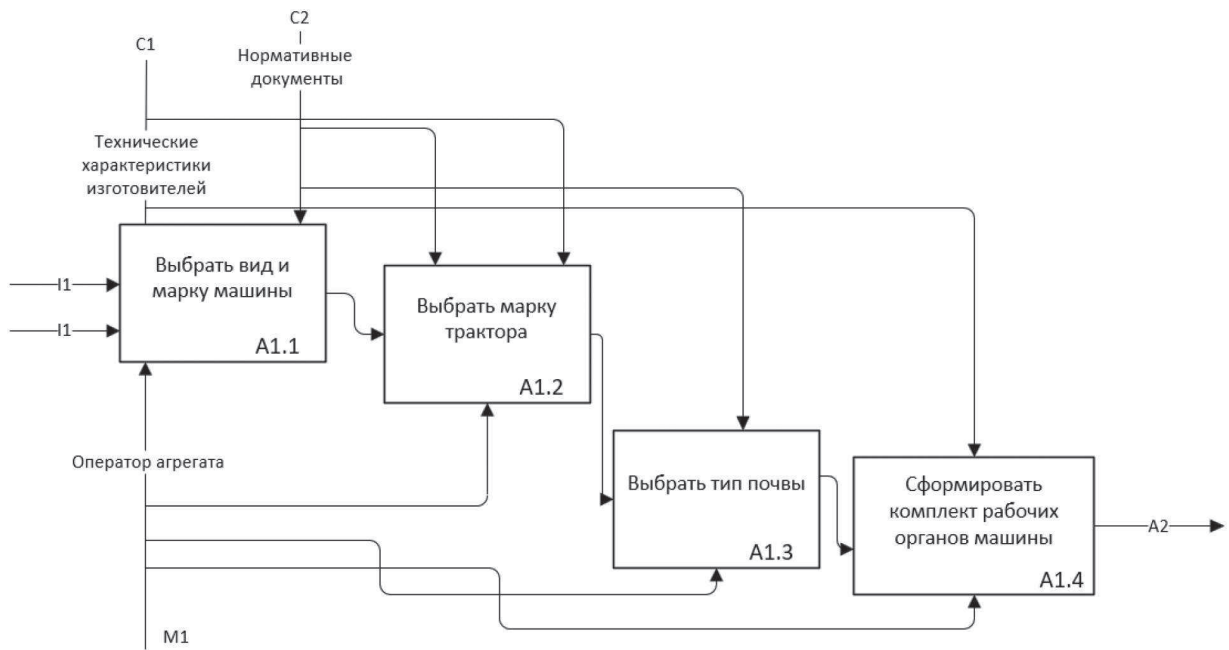


Рис. 4. Декомпозиция функции подготовки исходных данных модели системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

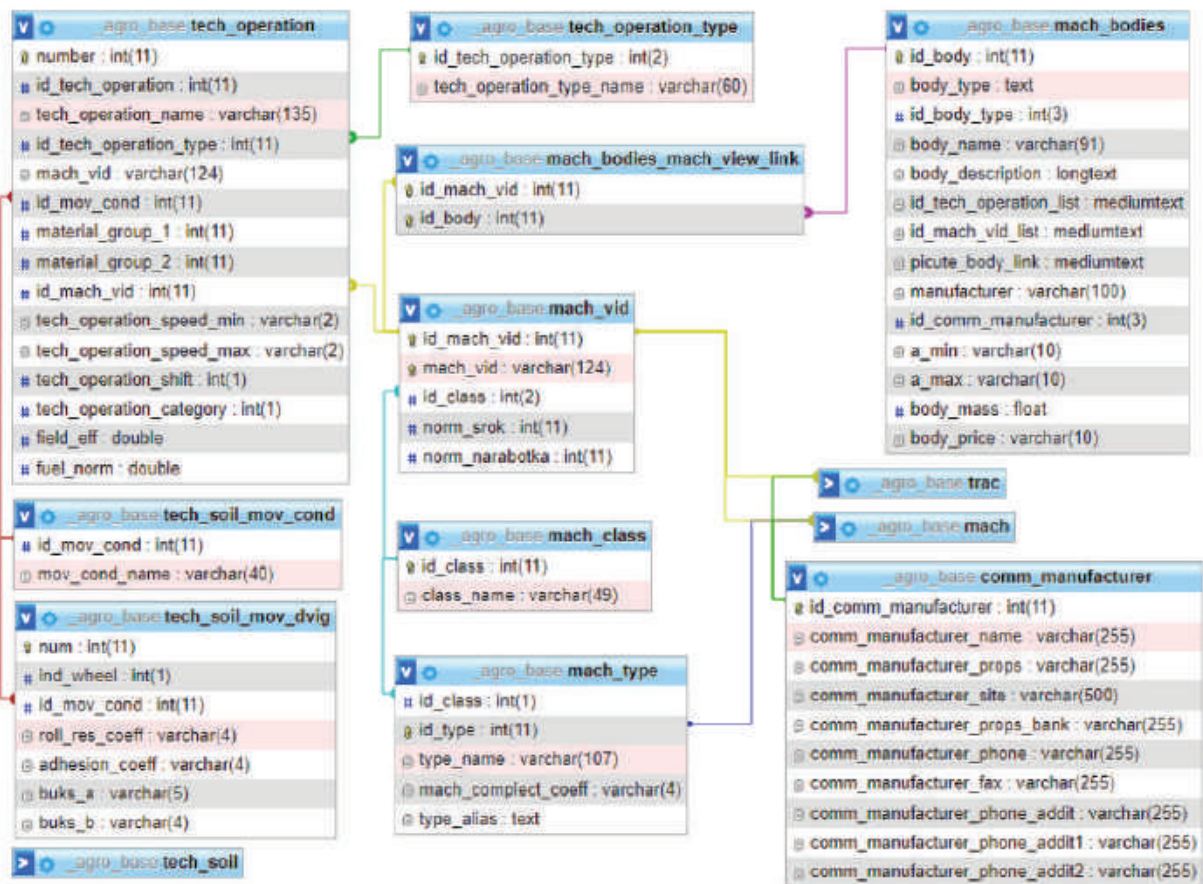


Рис. 5. Информационная модель автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов

Таким образом, функциональное моделирование системы позволило выделить основные процедуры, которые должны быть реализованы в системе для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов:

- подготовка исходных данных и вычисление тягового сопротивления;
- построение потенциальной характеристики;
- разработка вспомогательных функций, необходимых для реализации основных.

Информационная модель системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов. Сущности информационной модели и связи между ними представлены на рис. 5. Основной точкой входа модели является сущность `mach_vid`, которая содержит информацию о более 80 видах машин, применяемых в сельскохозяйственном производстве. Ввиду специфики разрабатываемого приложения пользователю предоставляется перечень из 7 наименований видов для основной обработки почвы. Для группировки сущности `mach_vid` применяются вспомогательные таблицы `mach_class` и `mach_type`, связанные с таблицей `mach_vid` отношением «один ко многим» [3, 4].

После выбора вида машины пользователю предлагается выделить связанную с индексом вида марку машины из перечня, приведенного в сущности `mach`. Таблица `mach` связана с таблицей `mach_vid` логическим отношением «многие к одному». В зависимости от сделанного выбора пользователю предлагается выделить марку трактора для расчетов (перечень марок тракторов хранится в таблице `trac`).

Таблица `tech_soil` является свободной от связей и позволяет учитывать в расчетах корректирующий коэффициент в зависимости от типа почвы: суглинистая, рыхлопесчаная и т.д.

Уточнить и сформировать комплект рабочих органов машины позволяют данные таблицы `mach_bodies`, которая связана соотношением «многие ко многим» через промежуточную таблицу `mach_bodies_mach_vid_link` с таблицей `mach_vid`.

Таким образом, информационная модель является основой для формирования и наполнения интерактивных элементов интерфейса приложения, а сформированная база данных является поставщиком данных в расчетные модули. Система рационального комплектования машинно-тракторного агрегата реализована в приложении AgroAQ [5].

Заключение

1. Предложены функциональная модель работы приложения для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов и ее декомпозиция, а также декомпозиция процесса подготовки исходных данных, что позволило выделить основные функции, которые должны быть реализованы в системе для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.

2. Разработана информационная модель системы, определены точки входа модели и логические связи между сущностями, а также обоснованы применяемые программные средства и среды для реализации приложения.

3. Система рационального комплектования машинно-тракторного агрегата реализована в приложении AgroAQ. Согласно расчетам, отклонения между значениями часового расхода топлива при испытании сельскохозяйственной техники со значениями, полученными расчетным путем, составляют менее 10 %, что подтверждает корректность работы автоматизированной системы для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.

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.
5. Ленский, А. В. Методы определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин / А. В. Ленский, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 188–198.

Л. Г. Сапун, В. Н. Дашков, А. В. Захаров, И. О. Захарова

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: tractor_av@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЭМАЛИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

Аннотация. В статье с помощью экспертного метода оценки по показателям экономичности, долговечности и технологичности разработана оценочная классификация в баллах изделий животноводческих ферм, позволившая определить номенклатуру изделий для эмалирования.

Ключевые слова: коррозия, агрессивность микроклимата, стеклоэмалевые покрытия, остаточные напряжения, показатель долговечности, технологические системы.

L. G. Sapun, V. N. Dashkov, A. V. Zakharov, I. O. Zakharova

EE "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: tractor_av@mail.ru

JUSTIFICATION OF NOMENCLATURE OF PRODUCTS FOR ENAMELING OF EQUIPMENT USED ON LIVESTOCK FARMS

Abstract. In the article, with the help of an expert assessment method on the indicators of economy, durability and manufacturability, an assessment classification was developed in the points of products of livestock farms, which made it possible to determine the range of products for enameling.

Keywords: corrosion, aggressiveness of microclimate, glass-enamel coatings, residual stresses, durability index, technological systems.

Введение

Количество животноводческих ферм и комплексов по республике превышает 5 тыс., а количество единиц применяемого на них оборудования – более 100 тыс. [1, 2].

Основной проблемой, возникающей в процессе эксплуатации оборудования, является малый ресурс монтируемых в нем металлоизделий. Это обусловлено коррозионной активностью микроклимата помещений из-за высокой влажности и наличия агрессивных газовых примесей.

Так, срок службы цинковых покрытий в микроклимате животноводческих помещений составляет 5...6 лет. Толщина защитного слоя в этом случае должна быть не ниже 50...60 мкм [3].

Одним из эффективных средств защиты металлов от коррозии являются стеклоэмалевые покрытия, отличающиеся долговечностью, механической прочностью, а также гигиеническими свойствами.

По расчетам себестоимость эмалированных труб систем горячего водоснабжения в промышленном строительстве на 10...15% ниже оцинкованных, а стойкость, как показали испытания, в 5...6 раз выше [4].

Основная часть

При выборе и обосновании номенклатуры изделия был применен экспертный метод оценки. Учитывались показатели экономичности, долговечности и технологичности.

Экономический показатель устанавливает эффективность использования эмалевых покрытий по сравнению с другими способами защиты.

Показатель долговечности устанавливает зависимость срока службы эмалевых покрытий от условий эксплуатации. Он включает следующие требования: не подвергать изделия с эмалевыми покрытиями растяжению, воздействию ударных нагрузок, термическому воздействию открытым пламенем. При соблюдении этих требований эмалевые покрытия превосходят по защитным свойствам другие покрытия, которые применяются в настоящее время для защиты от коррозии металлоизделий, эксплуатирующихся в животноводческих помещениях.

При анализе показателя технологичности, т.е. пригодности изделий к нанесению на их поверхность эмалевых покрытий, необходимо учитывать ряд особенностей: изделия должны быть простой конфигурации, не иметь глухих полостей и отверстий. Эмалевые покрытия при обжиге (870...880 °С) прогорают на острых кромках. Кроме того, на сопряженных поверхностях, выполненных под углом, концентрируются внутренние напряжения в металле и эмалевом покрытии, что может приводить к разрушению защитного слоя (толщина покрытия 150...200 мкм). Поэтому все переходы на поверхности изделий должны быть плавными или закругленными (R не менее 12–15 мм). Для предотвращения недожогов сопряженные части изделий не должны отличаться друг от друга по толщине более чем в 2,5–3 раза.

Исходя из условий технологичности, были выделены показатели, учитывающие следующие факторы:

- габаритные размеры и геометрическую форму изделий;
- наличие глухих полостей и острых кромок;
- радиус сопряжений и наличие разнотолщинных деталей.

Для оценки показателей технологичности разработана оценочная классификация в баллах (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1. Критерии, учитывающие габаритные размеры и геометрическую форму

Критерий, учитывающий габаритные размеры	Балл	Критерий, учитывающий геометрическую форму	Балл
Изделия с габаритами до 1000×800×500 мм	5	Изделия без изгибов, переходов, ответвлений	5
Изделия с габаритами до 1600×800×500 мм	4	Изделия, имеющие один изгиб, переход или ответвление	4
Изделия с габаритами до 2000×800×500	3	Изделия, имеющие 2 или более изгиба или перехода	3
Изделия с габаритами до 2500×1000×1000	2	Изделия, имеющие запорную арматуру	2
Изделия с габаритами более 2500×1000×1000	1	Изделия, имеющие переходы в сочетании с запорной арматурой	1

Таблица 2. Критерии, учитывающие в изделиях наличие глухих полостей и острых кромок

Критерий, учитывающий в изделиях наличие глухих полостей	Балл	Критерий, учитывающий наличие острых кромок	Балл
Изделия, не имеющие глухих полостей	5	Изделия не имеющие острых кромок	5
Изделия с неглубокой ребристостью	4	Изделия с радиусом закругления кромок более 0,5 мм	4
Изделия, изготовленные из спаренных уголков и швеллеров	3	Изделия с труднодоступными местами для зачистки сварных швов	3
Изделия с неглубокими глухими полостями	2	Изделия с радиусом закругления острых кромок менее 0,5 мм	2
Изделия имеющие глубокие карманы и пазухи	1	Изделия изготовленные из листового металла толщиной I и менее мм	1

Таблица 3. Критерии, учитывающие в изделиях радиус сопряжений и наличие разнотолщинных деталей

Критерий, учитывающий наличие сопряженных частей	Балл	Критерий, учитывающий в изделиях наличие разнотолщинных деталей	Балл
Изделия не имеющие сопряжений	5	Изделия изготовленные из одинакового по толщине проката	5
Изделия, имеющие сопряжения с радиусом закругления 10 и более мм	4	Изделия с сопряженными деталями, отличающимися по толщине в 1,5 раза	4

Критерий, учитывающий наличие сопряженных частей	Балл	Критерий, учитывающий в изделиях наличие разнотолщинных деталей	Балл
Изделия, имеющие сопряжения с радиусом закругления 7-9 мм	3	Изделия с сопряженными деталями, отличающимися по толщине в 2 раза	3
Изделия с радиусом закругления 5-6 мм	2	Изделия с сопряженными деталями, отличающимися по толщине в 3 раза	2
Изделия, имеющие сопряжения с радиусом закругления менее 5 мм	1	Изделия с сопряженными деталями, отличающимися по толщине более, чем в 3 раза	1

Таким образом, оценка производится по следующей методике. Вначале определяют комплексный показатель по эталонному изделию:

$$Q_{\Sigma} = \sum m_i \cdot Sp_{\Sigma i} = m_1 \cdot Sp_{\Sigma 1} + m_2 \cdot Sp_{\Sigma 2} + \dots + m_6 \cdot Sp_{\Sigma 6}, \quad (1)$$

где m_i – коэффициент весомости i -го показателя, значения которого приведены в табл. 4; $Sp_{\Sigma i}$ – оценка i -го показателя в баллах.

Для эталонного изделия $Sp_{\Sigma i} = 5$.

Таблица 4. Значение коэффициентов весомости

Единичные показатели, учитывающие	Коэффициент весомости
1. Габаритные размеры	1,00
2. Геометрические формы	0,35
3. Наличие в изделиях глухих полостей	0,50
4. Наличие в изделиях острых кромок	0,25
5. Наличие в изделиях сопряженных частей	0,20

Затем производится укрупненная группировка по назначению технологических систем оборудования животноводческих ферм (табл. 5).

Таблица 5. Укрупненная группировка по назначению технологических систем

Группы	Технологические системы
I	Изделия систем водоснабжения
II	Изделия систем микроклимата
III	Изделия стойловых ограждений
IV	Изделия нестандартного оборудования
V	Изделия для монтажа низковольтной аппаратуры

Далее находим значение комплексного показателя по базовому изделию.

$$Q_{\Sigma} = \sum m_i \cdot Sp_{\Sigma i}, \quad (2)$$

где $Sp_{\Sigma i}$ – берется из табл. 6, которая разработана исходя из средних характеристик изделий, относящихся к данной группе. Значение комплексного показателя Q_{Σ} для данной группы постоянно.

Следует определить значение комплексного показателя для детали

$$Q_{\partial} = \sum m_i \cdot Sp_{\partial i}, \quad (3)$$

где $Sp_{\partial i}$ – определяется по характеристике детали.

Критериями оценки служит обобщенный показатель, который для группы технологических систем определяется из выражения

$$P_0 = Q_{\Sigma} - Q_{\partial}, \quad (4)$$

Таблица 6. Укрупненная оценка пригодности технологических систем к эмалированию, в баллах

Технологические системы	Критерии, учитывающие						Комплексный обобщенный показатель (P_d)
	габаритные размеры изделий	геометрические формы изделий	в изделиях глухие полости	в изделиях наличие острых кромок	в изделиях наличие сопряженных частей	в изделиях наличие разнотолщинных частей	
Изделия систем водоснабжения	3	2	5	5	2	3	9,80
Изделия систем микроклимата	2	2	4	4	3	3	8,05
Изделия стойловых ограждений	1	2	4	3	3	5	6,95
Изделия нестандартного оборудования	3	3	4	4	2	4	9,35
Изделия для монтажа низковольтной аппаратуры	3	3	3	4	3	4	9,10

Обобщенный показатель детали равен:

$$P_d = Q_{\Sigma} - Q_{di} \quad (5)$$

Критериями оценки пригодности деталей для эмалирования служит выражение:

$$P_d < P_0 \quad (6)$$

С учетом изложенного обоснована номенклатура изделий животноводческих ферм, подлежащих эмалированию (табл. 7).

Таблица 7. Номенклатура изделий животноводческих ферм, подлежащих эмалированию

Укрупненные группы	Наименование изделий	Обобщенный показатель (P_d)
Изделия трубопроводов и систем водоснабжения ($P_0 = 4,20$)	Трубы для водоснабжения	3,25
	Автопоилки для КРС	2,35
	Автопоилки для свиней	2,35
	Автопоилки желобковые для птиц	3,95
	Соединители к автопоилкам	4,10
	Уровневые коробки желобковых автопоилок	2,30
Изделия систем микроклимата ($P_0 = 5,95$)	Кожух вентилятора	4,90
	Лопасты вентилятора	4,35
	Воздуховоды	5,50
	Соединительные патрубки	4,95
Изделия стойловых ограждений ($P_0 = 7,05$)	Стойки	6,95
	Соединители	5,70
	Опоры	4,40
	Кронштейны	4,40
Изделия нестандартного оборудования ($P_0 = 4,65$)	Испарители молокоохладительных установок	4,10
	Корыта односторонние	4,10
	Пояса клеточных батарей птицеферм	3,60
Изделия для монтажа низковольтной аппаратуры ($P_0 = 4,9$)	Шкафы управления	4,35
	Кабельные стойки	4,50
	Полки кабельных стоек	3,00
	Лотки кабельные	2,60
	Отражатели светильников	3,35

Заключение

Разработанные показатели экономичности, долговечности и технологичности позволили предъявить к оборудованию животноводческих ферм ряд требований, которые необходимо учитывать при выборе номенклатуры изделий для эмалирования.

По разработанной оценочной классификации в баллах изделий оборудования животноводческих ферм, установлены укрупненные группы наиболее пригодных для эмалирования: трубопроводы и системы водоснабжения, системы микроклимата, стойловые ограждения, нестандартное оборудование, узлы низковольтной электроаппаратуры.

Эмалевые покрытия можно использовать также для защиты желобковых поилок для птицы, испарителей молокоохладительных установок и других монтируемых в животноводческих помещениях металлоизделий.

Список использованных источников

1. К вопросу защиты от коррозии оборудования животноводческих ферм на основе стекломалевых покрытий / Л. Г. Сапун [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, 2020. – Вып. 54. – С. 59–64.
2. Производство молока : уч.-мет. пособие / Н. В. Казаровец [и др.] ; Минсельхозпрод РБ, УО БГАТУ ; под общ. ред. Н. В. Казаровца. – Минск : БГАТУ, 2011. – 168 с.
3. Петцольд, А. Эмаль и эмалирование : справочник / А. Петцольд, Г. Пешманн. – М. : Металлургия, 1990. – 572 с.
4. Гладуш, В. М. Эмалирование труб для систем горячего водоснабжения / В. М. Гладуш, К. Б. Тверовская // Водоснабжение и санитарная техника. – 1982. – №8. – С. 3–8.

УДК 631.171:621.865.8

Поступила в редакцию 27.09.2022
Received 27.09.2022

А. С. Воробей

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

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – ЗАЛОГ БУДУЩЕГО ДЛЯ АПК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. В статье проведен обзор и анализ существующих программных комплексов, роботизированных платформ и машин на основе искусственного интеллекта. Представлен перечень машин, разработанных РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в рамках VI технологического уклада.

Ключевые слова: искусственный интеллект, роботизированная платформа, мониторинг, техническое зрение, беспилотные летательные аппараты, программные комплексы.

A. S. Verabei

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

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IS THE KEY TO THE FUTURE FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. The article provides a review and analysis of existing software systems, robotic platforms and machines based on artificial intelligence. A list of machines developed by RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization” within the framework of the VI technological order is presented.

Keywords: artificial intelligence, robotic platform, monitoring, technical vision, unmanned aerial vehicles, programs complexes.

Введение

Аргумент в пользу массового внедрения ИИ-технологий в сельском хозяйстве часто формулируется так: население земли к 2050 году достигнет 10 млрд человек, радикально увеличить обрабатываемые площади невозможно, необходимо повысить интенсивность их использования.

Мир стоит на пороге шестого технологического уклада. Его контуры только начинают складываться в развитых странах мира, в первую очередь в США, Японии и КНР, и характеризуются нацеленностью на развитие и применение наукоемких, или, как теперь говорят, высоких технологий. У всех на слуху био- и нанотехнологии, геновая инженерия, мембранные и квантовые технологии, фотоника, микромеханика, термоядерная энергетика. Синтез достижений на этих направлениях должен привести к созданию, например, квантового компьютера, искусственного интеллекта и в конечном счете обеспечить выход на принципиально новый уровень в системах управления государством, обществом, экономикой. Специалисты по прогнозам считают, что при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития шестой технологический уклад окончательно оформится к 2025 г., а в фазу зрелости вступит в 2040-е гг.

Как отметил Президент Беларуси Александр Лукашенко, именно те страны, которые генерируют новые знания, имеют преимущество в коммерческом использовании этих идей, в экспорте высокотехнологической продукции, приносящей миллиардные прибыли. Более того, те, кто первым распространяет технологии, занимают лидирующие позиции в мире [1].

Основная часть

В Беларуси направление ИИ-технологий возникло не сегодня. Еще в 2007 г. в Директиве Президента от 14.06.2007 № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» была поставлена задача создать условия для наращивания выпуска инновационной и высокотехнологичной продукции, созданной с использованием технологий V и VI технологических укладов.

Все стратегии и программы, принятые на государственном уровне, а также международное сотрудничество направлены на поддержку инноваций и улучшение условий ведения бизнеса. Наибольшее внимание уделяется развитию высоких технологий и высокотехнологичных производств, основанных на разработках V и VI технологических укладов. Как результат, страна вышла на 38-е место из 190 экономик мира в рейтинге Doing Business Всемирного банка и является одним из самых активных государств по общему количеству реформ для улучшения делового климата. Беларусь расширяет сектор информационно-коммуникационных технологий и входит в десятку наиболее интенсивно развивающихся стран мира. Положение республики в Глобальном индексе инноваций в отдельных категориях, оценивающих уровень человеческого капитала и исследований, также довольно высоко.

Проблема роста населения Земли и, как следствие, возрастающая потребность в продовольствии, урбанизация и нехватка рабочей силы, а также экономические проблемы стимулируют поиск путей повышения эффективности сельского хозяйства благодаря новым технологиям и инновационным методам управления. Робототехника и автономные системы призваны преобразовать отрасли сельского хозяйства со значительными экономическими, социальными и экологическими эффектами. Долгосрочное видение технического перевооружения сельского хозяйства заключается в развитии нового поколения интеллектуальных, гибких, надежных, совместимых, взаимосвязанных роботизированных систем.

Так, на сегодняшний день хорошие результаты в мониторинге полей показывает система Taranis (рис. 1). Это система израильского производства, которая способна собирать данные о растениях, определять неблагоприятные воздействующие факторы и давать рекомендации по их устранению. В ходе анализа ситуации используется информация, полученная от датчиков наблюдения, метеоданные, аэрофотоснимки с высоким разрешением. Taranis может определить секторы поля с замедленным ростом растений, выявить пострадавшие от насекомых, недополучающие питательных веществ, болеющие растения. Taranis предложит варианты выхода из сложившейся ситуации, а также рассчитает оптимальные сроки.

Американская компания IBM выпустила платформу под названием Watson Decision Platform for Agriculture, которая обрабатывает информацию, полученную при дистанционном зондировании земли. Фермеру могут быть предоставлены данные о поражении посевов кукурузы болезнями или вредителями. Watson Platform, как и Taranis, способна предложить аграрию пути решения воз-

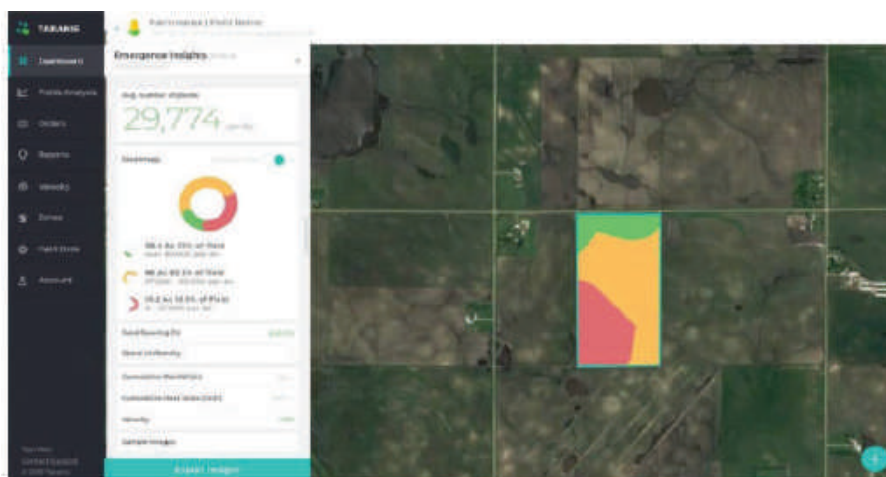


Рис. 1. Интерфейс системы *Taranis*



Рис. 2. Интерфейс приложения *Plantix*

никшей проблемы. Будут рассчитаны необходимое количество пестицидов, оптимальные сроки обработки проблемных участков, оценено состояние растений и предложены профилактические меры. Система способна, собрав данные о влажности, местности и метеорологической ситуации, предоставить график изменения влажности почвы, прогноз по урожайности и его динамику на основании данных прошлых сезонов.

Платформа на базе искусственного интеллекта Health Change Maps and Notifications от Farmers Edge и аналогичное решение от Hummingbird Technologies информируют фермера об эффективности работы техники, состоянии растений, появлении вредителей или болезней, дефиците питательных веществ и др. Для анализа используются данные спутников, снимки беспилотников, информация наземных средств мониторинга.

Одним из сервисов по диагностике заболеваний растений является приложение Plantix от компании Peat (рис. 2). Приложение позволяет диагностировать более 60 заболеваний. Сервис содержит большую библиотеку снимков, которые удобно систематизированы. С постепенным увеличением числа загруженных изображений улучшаются и алгоритмы диагностики заболеваний.

Полезным является приложение Scouting на цифровой платформе Xarvio. Обработывая фотоснимки, приложение способно выявлять заболевания, повреждения и нарушения в развитии растений. Сервис способен провести идентификацию сорняков, предоставить данные об обеспеченности растения азотом. Существует функция отправки уведомления об обнаружении опасного заболевания или вредителей вблизи растений.

Лидером в применении беспилотных летательных аппаратов в с/х давно является Япония, где в отрасли эксплуатируются 2400 экземпляров. В основном они используются для распыления агрохимикатов и посева риса (рис. 3).



Рис. 3. Распыление с помощью беспилотника

Нельзя не сказать о роли БПЛА при внедрении минимальных технологий. Как известно, берегающее земледелие – это долгосрочная система точного ведения полевых работ, снижения затрат и минимизации ущерба, наносимого природе. Его внедрение уменьшает деградацию почв, сохраняет их плодородие и влагу и в конечном счете повышает урожайность. Система точного земледелия требует постоянного и внимательного наблюдения за посевами полевых культур, прежде всего за проплешинами, пятнами растений, погибших от наводнений или засухи, очагами засоренности и заселения вредителями, которые трудно заметить при наземном осмотре.

Но пока беспилотники в аграрной отрасли используются недостаточно. Искусственный интеллект с помощью сенсорных датчиков фиксирует условия роста вегетативной массы, отражает в таблицах и графиках климатические данные, предупреждает о заморозках и влагообеспеченности почвы. При этом на полях пшеницы, к примеру, он может предупредить о заражении септериезом, ржавчиной и фузариозом. А на картофеле – о фитофторозе, черном альтернариозе и других болезнях.

Теоретические и прикладные исследования по роботизированной уборке фруктов и овощей огромны. На рис. 4 показаны роботизированные платформы для сбора урожая, в том числе [2–17]:

- Harvey (*a*), автономная мобильная роботизированная платформа с манипулятором UR5 для сбора сладкого перца, выращенного в теплицах и других защищенных системах выращивания;
- TED от Naïo Technologies (*b*), первый полностью автономный электрический робот на рынке, который эффективно обслуживает и обрабатывает ряды виноградной лозы с высокой степенью точности;
- SWEEPER (*c*), платформа уборочной машины с роботом-манипулятором Fanuc LRMate 200iD (корпорация Fanuc America, Рочестер-Хиллз, Мичиган);
- Wall-Ye 1000 mobile (*d*), оснащен GPS, солнечными батареями (10–12 часов автономной работы, функции: рыхление, скашивание, обрезка веток, сбор урожая);
- Citrus robot (*d*), разработанный в Университете Флориды робот для сбора цитрусовых, в котором используется специальный захват, установленный на исследовательском манипуляторе робототехники модели 1207 (Цинциннати, Огайо);
- DogTooth (*e*), робот для сбора клубники с собачьим клыком (Грейт Шелфорд, Кембридж, Великобритания);
- Shibuya Seiki (*ж*), робот, который может собирать плоды клубники каждые 8 секунд;
- Tomato harvesting robot (*з*), робот для сбора помидоров от Suzhou Botian Automation Technology Co., Ltd (Цзянсу, Сучжоу, Китай);
- Cucumber robot (*и*), робот для сбора огурцов, разработанный в Вагенингенском университете и исследовательском центре;



Рис. 4. Примеры роботов для ухода за виноградниками и уборки фруктов: а) HarveyQueensland; б) TED Naïo Technologies; в) SWEEPER; г) Wall-Ye 1000 mobile; д) Citrus robot University of Florida; е) DogTooth; ж) Shibuya Seiki; з) Tomato harvesting robot; и) Cucumber robot Wageningen UR; к) Apple harvesting robot; л) Apple harvesting; м) Apple picker; н) Apple picking vacuum; о) UR5 apple robot; п) Apple catching Washington State University

– Apple harvesting robot (к), робот для сбора яблок с изготовленным на заказ манипулятором, установленным поверх модифицированного мобильного робота-гусеничного робота;

– Apple harvesting (л), один из первых манипуляторов, разработанный для проекта «УРОЖАЙ» и модифицированный для сбора яблок;

– Apple picker (м), роботизированная система с линейным приводом для сбора яблок, разработанная FFRobotics (Gesher HaEts 12, Израиль);

– Apple picking vacuum (н), робот с вакуумным механизмом для сбора яблок от AbundantRobotics (Хейворд, Калифорния, США);

– UR5 apple robot (о), с мягким роботизированным универсальным захватом для сбора яблок, разработанный в Сиднейском университете;

– Apple catching (п), разработанный в Университете штата Вашингтон.

Большинство из этих проектов в своем визуальном сервоуправлении использовали конфигурацию «взгляд – в руке – взгляд – движение». Помимо проблем с трансформацией каркаса, это решение не является многообещающим, если плоды сильно закрыты листьями растений с высокой плотностью.

Главное преимущество роботов для сбора плодов – это замена монотонного ручного труда, способность устройства работать без перерыва в любое время суток с одинаковой производительностью, что в итоге делает процесс значительно более эффективным. Важным условием роботизации процессов в сельском хозяйстве выступает возможность составления определенных алгоритмов, которые лежат в основе функционирования робототехники.

Следующим этапом роста эффективности сельхозпроизводства становится редактирование генома растений и животных. Генотип большинства растений, животных, как и человека, сейчас хорошо изучен, накоплены масштабные библиотеки богатой генетической информации. На этой основе селекционеры с помощью картирования генома семян выбирают такие комбинации, которые позволяют отбирать потомство с высокой урожайностью. Примерно таким же способом работают и с продуктивностью животных. Биотехнологии стали мировым лидером в разработке новых

сортов улучшения пород скота, в противостоянии вредителям, сорнякам и болезням. Человеку не просто, даже через электронный микроскоп, перенести микроскопический ген из одной клетки в другую, часто случаются ошибки, вызывающие мутации, – искусственный роботизированный интеллект справляется с этим точнее и успешней.

В сфере инноваций технологического VI уклада в рамках выполнения заданий Государственных программ в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» были разработаны макетные образцы программных комплексов и машин на основе искусственного интеллекта:

1. Многофункциональные программные комплексы для растениеводства и животноводства:

– Agropaut – программный комплекс для рационального комплектования машинно-тракторного парка, экономической оценки технологий возделывания культур, оптимизации траектории движения МТА, мониторинга структуры посевных площадей и их визуализации на основе электронных карт полей и др.

– ИКФС Майстар 4.0 – программное обеспечение для управления стадом, которое объединяет информацию производственно-экономического характера с зоотехническими параметрами: получение и накопление информации (удой, время, проточность, электропроводимость), сигнализация отклонений от стандартного состояния коровы, сепарирование молока, определение продуктивности, сохранение полной информации об очередной лактации, оценка всех отклонений от планируемых величин, статистическая обработка и др.

2. Применение системы технического зрения и нейронных сетей глубокого обучения для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме.

3. Использование системы технического зрения для сортировки картофеля и яблок.

Машина оптической сортировки картофеля для отделения некондиционных клубней картофеля из общего вороха на основе технического зрения и автоматической инспекции создана в рамках Государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 годы, подпрограммы «Механизация и автоматизация процессов в АПК» (рис. 5, 6). Она состоит из вальцово-подающего конвейера 1, приводного ремня 2, системы распознавания 3, компьютера 4 и пневматической системы отделения 5.

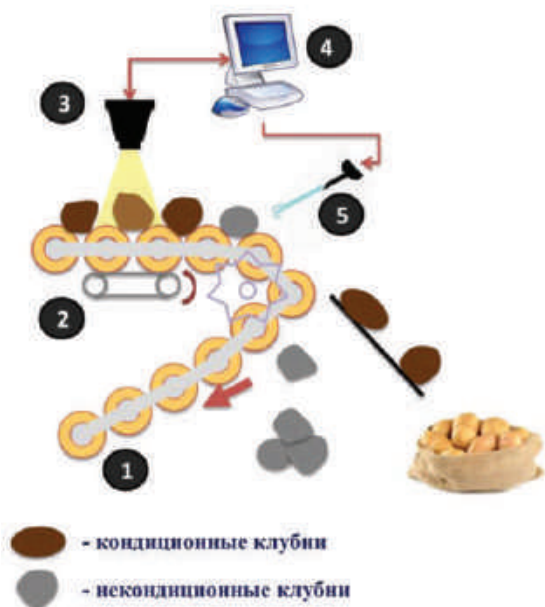


Рис. 5. Схема автоматической сортировальной машины: 1 – вальцово-подающий конвейер; 2 – приводной ремень; 3 – система распознавания; 4 – компьютер; 5 – система отделения



Рис. 6. Макетный образец автоматической сортировальной машины: 1 – рама; 2 – вальцово-подающий конвейер; 3 – пневматическая система отделения; 4 – компрессор; 5 – мотор-редуктор 2ЧМ-40; 6 – мотор-редуктор МПЧ-25М1; 7 – система распознавания; 8 – приводной ремень

Вальцово-подающий конвейер представляет собой бесконечный тяговый рабочий орган с закрепленными на нем вальцами. Параметры вальцов: длина $l = 160$ мм, максимальный диаметр $d_{\max} = 70$ мм, минимальный диаметр $d_{\min} = 60$ мм и зазор между вальцами $c = 21$ мм, количество вальцов – 36. Вальцовый конвейер предназначен для транспортировки и вращения клубней картофеля.

Пневматическая система отделения некондиционных клубней картофеля состоит из электронного блока управления 1, импульсного клапана 2, форсунки 3, компрессора 4 (рис. 7). Она предназначена для отделения некондиционных клубней картофеля.

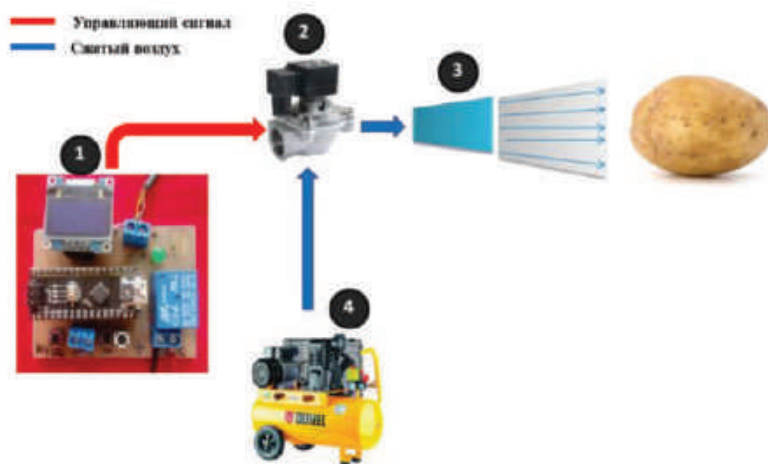


Рис. 7. Схема пневматической системы отделения: 1 – электронный блок управления; 2 – импульсный клапан; 3 – форсунка; 4 – компрессор

Импульсный клапан осуществляет кратковременную подачу воздуха. Для управления режимом работы импульсного клапана специально изготовлен электронный управляющий блок. Блок управления позволяет установить необходимую длительность открытия клапана.

Система распознавания состоит из высокоскоростной камеры, вычислительного модуля, структурированной подсветки, модуля коммуникации. Она предназначена для распознавания дефектов клубней картофеля и выдачи сигнала исполнительному устройству (рис. 8).



Рис. 8. Схема распознавания

С целью повышения качества междурядной обработки лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» в рамках задания 4.39 «Исследование точности вождения пропашных культиваторов с целью повышения качества междурядных обработок» ГПНИ «Качество и эффективность

агропромышленного производства», 2016–2020 гг., подпрограмма «Механизация и автоматизация процессов в АПК» выполнялась разработка и изготовление автоматической управляемой навесной системы (АУНС) для отслеживания защитной зоны культурных растений при междурядной обработке сахарной свеклы (рис. 9).



Рис.9. Автоматическая управляемая навесная система

АУНС состоит из механической части и аппаратно-программного обеспечения. Механическая часть представляет собой рамную конструкцию с верхней и нижней направляющими, по которым перемещается подвижная рамка с навешиваемым на неё культиватором. Перемещение подвижной рамки вправо или влево осуществляется гидроцилиндром посредством электромагнитного распределителя.

Основные характеристики АУНС представлены в таблице.

Основные характеристики АУНС

Наименование показателя	Значение показателя
Тип системы	навесная
Масса устройства, кг	220
Грузоподъемность, т	до 1,5
Рабочее напряжение бортовой электросети трактора, В	12
Смещающий диапазон подвижной рамки, мм	±250
Габаритные размеры, мм: – ширина – высота	1635 865
Допустимое количество ошибок, %	3
Скорость движения МТА, км/ч	от 5 до 10
Агрегируемый класс трактора, кН	1,4

В основу работы системы автоматического управления пропашным культиватором положена концепция использования визуальной информации о положении растений в рядке, полученной с видеокamеры. Вычислительный модуль на основании полученной от камеры видеoinформации и заложенной в него логики способен через блок управления воздействовать на гидрораспределитель, а тот, в свою очередь, посредством гидроцилиндра и подвижной части смещает сельскохозяйственную машину, к примеру культиватор, в нужную сторону. Оператор, которым является механизатор, может самостоятельно влиять на логику работы вычислительного модуля через сенсорный монитор.

Результаты исследований, проводимых на опытных посевах сахарной свеклы, показали, что точность отслеживания защитной зоны растений составила от $\pm 2,0$ см до $\pm 2,3$ см. Кроме того, использование автоматической управляемой навесной системы со скоростью 7,6–7,8 км/ч в кон-

трольных точках показало, что в защитной зоне рядка уничтожался 91 % сорняков. Что касается повреждения культурных растений в процессе исследований, то повреждаемость находилась в пределах агродопуска – 3 % при условии работы МТА со скоростью, не превышающей 8 км/ч. Превышение МТА скорости 8 км/ч снижает качество выполнения междурядной обработки, что сказывается на числе поврежденных культурных растений.

В рамках белорусского фонда фундаментальных исследований, согласно заданию «Разработка концепции создания универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур» по договору с БРФФИ № Т21МН-003 от 01.07.2021 была предложена структура автоматизированной универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур.

Конструкция роботизированной платформы будет состоять из шасси, которое будут включать в себя раму и управляемые мотор-колеса, системы навигации и управления, системы питания, датчика системы технического зрения (рис. 10).

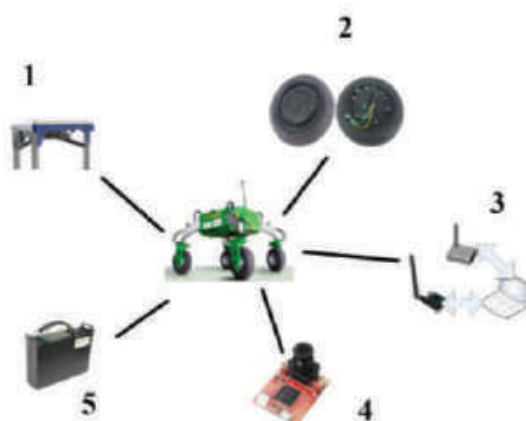


Рис. 10. Структурная схема роботизированной платформы: 1 – рама; 2 – управляемые мотор-колеса; 3 – система навигации и управления; 4 – система технического зрения; 5 – система питания

Достаточно весомым компонентом любого способа движения является радиус поворота агрегата. Ведь чем меньше радиус поворота, тем меньше времени и энергии затрачивается на совершение разворота.

Роботизированная платформа при повороте будет приводить все колеса в положение 40° (рис. 11). При прямолинейном движении все четыре колеса будут иметь возможность подруливания, при этом они будут являться ведущими (рис. 12).

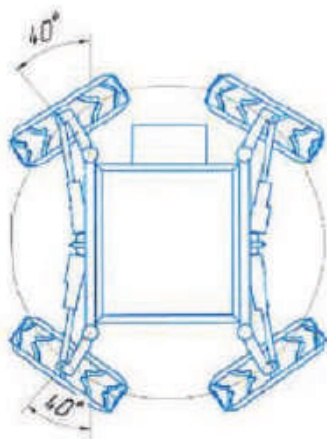


Рис. 11. Положение колес при развороте

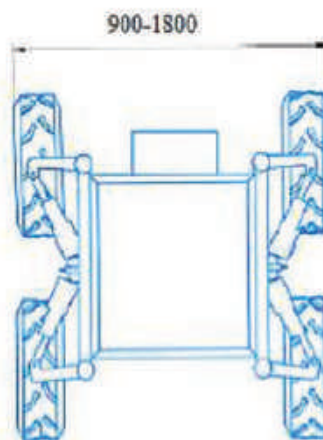


Рис. 12. Положение колес для прямолинейного движения

Развитие процессов интеллектуализации позволит снизить количество занятых на опасных и вредных производствах в сельском хозяйстве, прежде всего на работах с ядохимикатами, а также на рутинных процессах. Это, в свою очередь, позволит повысить привлекательность отрасли для молодых кадров, а также привлекательность организаций сельского хозяйства для инвесторов. Технологии искусственного интеллекта позволяют увеличить точность прогнозов урожайности культур, продуктивности животных, состояния почвы и погоды. Это позволит также снизить неопределенность на рынке, затраты на страхование, привлечь дополнительные инвестиции.

Вместе с тем применение технологий искусственного интеллекта требует обработки огромных объемов данных, энергетических затрат и дорогостоящего цифрового оборудования, что повышает требования к инфраструктуре производства и увеличивает затраты на применение искусственного интеллекта.

Заключение

Технологии искусственного интеллекта обладают значительным потенциалом для увеличения производства продуктов питания путем анализа и оптимизации сельскохозяйственного производства в каждом конкретном регионе.

Вместе с тем вопросы дальнейшего расширения применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве и других отраслях требуют дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Шумилин, А. Г. Инновационные отрасли завтрашнего дня / А. Г. Шумилин // Наука и инновации. – 2017 – Спец. вып. – С 13–14.
2. Nived, C. Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields / C. Nived, L. Philipp, S. Alexander // The International Journal of Robotics Research. – 2017. – Vol. 36, № 10. – P. 1045–1052.
3. Bac, C.W. Robust pixel-based classification of obstacles for robotic harvesting of sweet-pepper / C. W. Bac, J. Hemming, E.J. Henten // Comput. Electron. Agric. – 2013. – № 96. – P. 148–162.
4. Lehnert, C. Autonomous sweet pepper harvesting for protected cropping systems / C. Lehnert, A. English, C. McCool, A.W. Tow, T. Perez // IEEE Robot. Autom. Lett. – 2017. – Vol. 2, № 2. – P. 872–879.
5. Bontsema, J. CROPS: Clever robots for crops / J. Bontsema, J. Hemming, E. Pekkeriet, W. Saeys, Y. Edan, A. Shapiro // Eng. Technol. Ref. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 1–11.
6. Mehta, S. S. Vision-based control of robotic manipulator for citrus harvesting / S. S. Mehta, T. F. Burks // Comput. Electron. Agric. – 2014. – № 102. – P. 146–158.
7. Mehta, S. S. Robust visual servo control in the presence of fruit motion for robotic citrus harvesting / S. S. Mehta, W. MacKunis, T. F. Burks // Comput. Electron. Agric. – 2016. – № 123. – P. 362–375.
8. Bulanon, D. M. Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection / D. M. Bulanon, T.F. Burks, V. Alchanatis // Biosyst. Eng. – 2008. – Vol. 101, № 2. – P. 161–171.
9. Henten, E. J. Field test of an autonomous cucumber picking robot / E. J. Henten, B. A.J. Tuijl, J. Hemming, J. G. Kornet, J. Bontsema, Os.E.A. Van // Biosyst. Eng. – 2003. – Vol. 86, № 3. – P. 305–313.
10. Henten, E.J. Optimal manipulator design for a cucumber harvesting robot / E.J. Henten, D.A. Van't Slot, C.W.J. Hol // Comput. Electron. Agric. – 2009. – Vol. 65, № 2. – P. 247–257.
11. De-An, Z. Design and control of an apple harvesting robot / Z. De-An, L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, C. Yu // Biosyst. Eng., 2011. – Vol. 110, № 2. – P. 112–122.
12. Davidson, J. R. Dual Robot Coordination for Apple Harvesting / J. R. Davidson, C. J. Hohimer, C. Mo, M. Karkee // ASABE Annual International Meeting. – 2017. – № 1.
13. Davidson, J. R. Proof-of-concept of a robotic apple harvester / J. R. Davidson, A. Silwal, C. J. Hohimer, M. Karkee, C. Mo, Q. Zhang // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2016. – P. 634–639.
14. He, L. Effect of fruit location on apple detachment with mechanical shaking / L. He, H. Fu, M. Karkee, Q. Zhang // Biosyst. Eng. – 2017. – № 157. – P. 63–71.
15. Bac, C. W. Improving obstacle awareness for robotic harvesting of sweet-pepper / C. W. Bac // Wageningen University. – 2015.
16. Bao, G. J. Pneumatic bio-soft robot module: Structure, elongation and experiment / G. J. Bao, P. F. Yao, Z. G. Xu, K. Li, Z. H. Wang, L. B. Zhang // Int J Agric & Biol Eng. – 2017. – Vol. 10, № 2. – P. 114–122.
17. Nguyen, T. T. Task and motion planning for apple harvesting robot / T. T. Nguyen, E. Kayacan, J. Baedemaeker, W. Saeys // IFAC Proc. – 2013. – Vol. 46, № 18. – P. 247–252.

А. С. Воробей¹, В. В. Голдыбан¹, Ю. Н. Бабак²

¹ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

² ГУ «Белорусская МИС»

пос. Привольный, Минский р-н, Республика Беларусь

E-mail: yuribabak@tut.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОСАДКИ КАРТОФЕЛЯ

Аннотация. В статье рассмотрена проблема равномерности посадки клубней картофеля и пути ее решения в конструкции современных картофелесажалок. Предложена перспективная конструкция высаживающего аппарата, обеспечивающая точную посадку клубней картофеля.

Ключевые слова: пневматические высаживающие аппараты, клубни, картофель, вакуум, точная посадка.

A. S. Verabei¹, V. V. Goldyban¹, U. N. Babak²

¹ RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

² SI «Belarusian MTS»

s. Privolny, Minsk dis., Republic of Belarus

E-mail: yuribabak@tut.ru

WAYS TO INCREASE THE UNIFORMITY OF POTATO PLANTING

Abstract. In article was saw problem uniformity of feed the tubers of potatoes and ways it decide in construction modern planters. A promising design of the planting apparatus is proposed, which ensures accurate planting of potato tubers.

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

Введение

Картофель считается культурой с высоким потенциалом продовольственной безопасности и высокой продуктивностью из-за ее способности обеспечивать высокий урожай на единицу затраченного семенного материала за более короткий вегетативный период (в основном менее 120 дней) по сравнению с основными зерновыми культурами, такими как кукуруза. По энергетическим запасам картофель 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 получил название «второго хлеба».

В современной сложной экономической ситуации его значение в продовольствии возрастает.

Основная часть

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 зависят дальнейший рост и развитие растений [1].

Для посадки клубней картофеля чаще всего используют четырехрядные сажалки с высаживающим аппаратом ленточного либо цепного типа с двумя рядами ложечек для захвата и транспортирования семенного материала. Отечественная промышленность выпускает ряд картофелесажалок

с данным типом высаживающих аппаратов: СК-4 (ГП «Экспериментальный завод» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск), КСМ-4 (ОАО «Агропромсельмаш», г. Лида), Л-202 и Л-207 (ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш», г. Лида). Использование двух рядов ложечек позволяет обеспечить производительность отечественных сажалок до 6–10 га за смену.

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-х. 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, 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-ложечковым высаживающим аппаратом не превышает 65–80 % [2].

Повысить равномерность распределения клубней в поле, снизить количество двойников и пропусков можно за счет улучшения конструкции картофелесажалки.

Учеными из Ганьсуского сельскохозяйственного университета города Ланьчжоу (Китай) в работе [3] предложена картофелесажалка с компенсирующим устройством. Проведены исследования системы контроля посадки и компенсационного контроля для картофелесажалки (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – обгонная муфта; 2 – цепь; 3 – системный контроллер; 4 – привод; 5 – датчики положения ложечки; 6, 7 – комплект фотоэлектрических датчиков для определения дозировки клубней; 8 – дозатор клубней

Ими было предложено использовать в конструкции картофелесажалок компенсирующие устройства на базе односторонней муфты. Когда система идентификации пропусков с помощью инфракрасного излучения либо емкостного датчика фиксирует случай пропуска, посадка последующих клубней будет произведена на более высокой скорости высаживающего аппарата посредством электродвигателя через компенсирующую одностороннюю муфту. После завершения компенсации системный контроллер отключает компенсирующий двигатель, и привод высаживающего аппарата будет производиться от опорных колёс сажалки.

С целью повышения равномерности посадки картофеля в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» предложена конструкция высаживающего аппарата ременного типа,

которая предназначена для посадки откалиброванных клубней картофеля и топинамбура на грядках в 2 ряда с междурядьями 75 см и шириной гряды 1,5 м [4].

Идея компенсации пропусков и двойников реализована в картофелесажалке грядкового типа СГ-2 с высаживающими аппаратами ременного типа (рис. 2). Из бункера в почву клубни попадают, пройдя три уровня. Вначале они покидают гидравлически наклоняемый бункер через подающий люк и падают на транспортер. Тот подает их во вторую секцию, где угловые датчики контролируют подачу клубней на шесть ремней круглого сечения; эти ремни постепенно выстраивают клубни в ряд. Большой поролоновый ролик на переднем конце ремней замедляет клубни так, что они падают в борозду равномерно. Избыточные клубни направляются спиральным роликом с двух возвратных транспортеров, по одному с каждой стороны от основного, обратно на ремни круглого сечения. Скорость ремней (следовательно, и расстояние между клубнями) контролируется автоматически, с использованием информации от ультразвукового датчика, который сканирует поток клубней, высаживаемых в почву.

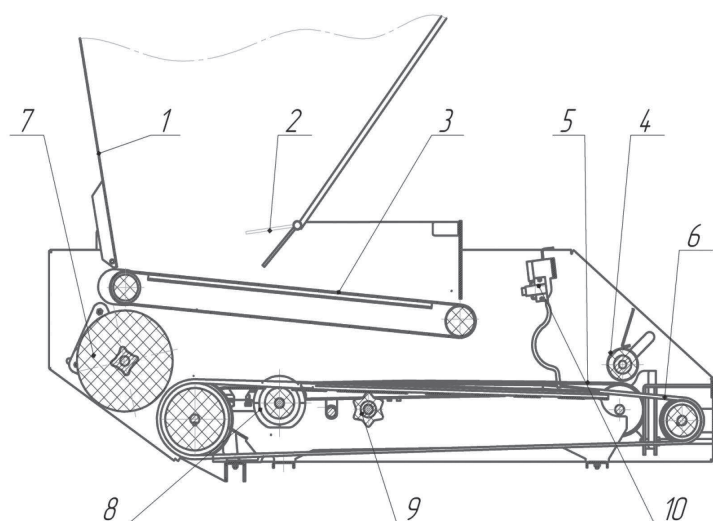


Рис. 2. Высаживающий аппарат сажалки СГ-2: 1 – бункер, 2 – заслонки, 3 – подающий конвейер, 4 – отбойный валец, 5 – возвратные транспортеры, 6 – посадочный ремень, 7 – поролоновый ролик, 8 – кулачок, 9 – встряхиватель, 10 – датчик уровня

Учеными из инженерного колледжа Китайского сельскохозяйственного университета Пекина (Китай) был предложен высаживающий аппарат картофелесажалки цепочно-чашечного типа (рис. 3, 4) [5].

Система управления дозированием состоит из микроконтроллера, управления двигателем и GPS-навигации. Управляющий сигнал усиливается с помощью цифро-аналогового преобразователя. Рабочая скорость изменяется при помощи GPS. Главный контроллер реализует управление обратной связи, используя алгоритм ПИД-регулирования.

Также в высаживающем аппарате цепочно-чашечного типа в отверстиях стаканов располагаются два лазерных датчика. Один лазерный датчик определяет количество пропусков клубней, а второй – количество двойников в чашечках, и оба они подают сигнал на микроконтроллер. Микроконтроллер с помощью цифро-аналогового преобразователя снижает скорость движения цепочно-чашечного конвейера, это позволяет снизить число образуемых двойников в чашечках, за счет чего в свою очередь повышается точность раскладки клубней в борозде.

Учеными из колледжа машиностроения и электротехники Китая была предложена схема работы высаживающего аппарата ленточно-ложечного типа [6].

Высаживающий аппарат согласно рис. 5 состоит из натяжного устройства, ложечек, расположенных на ленте, воздушной камеры, ремня, бункера для клубней, системы очистки клубней.

Принцип работы высаживающего аппарата для посадки клубней заключается в том, что при включении вентилятора воздушной камеры в ней образуется отрицательное давление. При этом

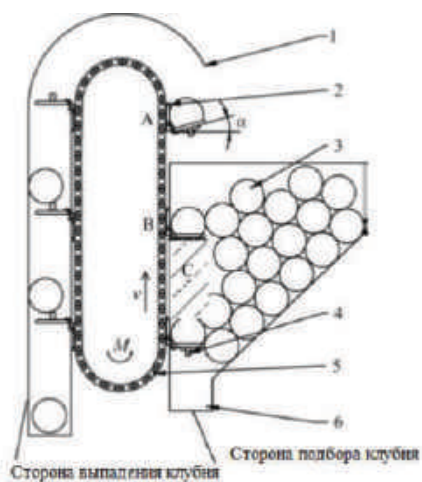


Рис. 3. Схема высаживающего аппарата картофелесажалки цепочно-чашечного типа: 1 – шахта; 2 – цепь; 3 – клубни картофеля; 4 – чашечка для клубней; 5 – приводная цепь; 6 – бункер



Рис. 4. Экспериментальная установка картофелесажалки цепочно-чашечного типа: 1 – ящик для забора клубней; 2 – мотор-редуктор; 3 – контроллер; 4 – привод; 5 – рама; 6 – бункер; 7 – цепь; 8 – высаживающий стакан; 9 – защитная пластина; 10 – натяжное устройство

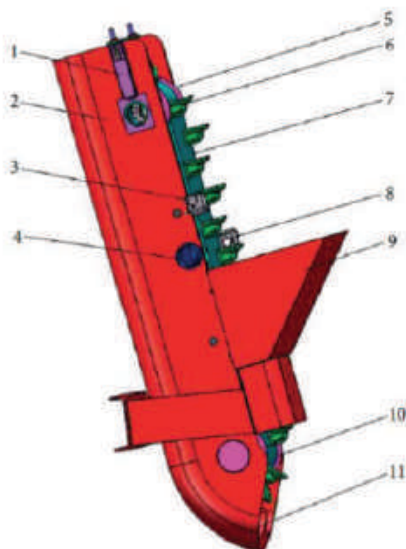


Рис. 5. Конструкция высаживающего аппарата ленточно-ложечного типа: 1 – натяжное устройство, 2 – рама, 3 – чистики, 4 – воздушная камера, 5 – выпускное отверстие, 6 – реверсивной диск, 7 – ложечка, 8 – ремень, 9 – бункер, 10 – ведомое колесо, 11 – сошник

поверхность каждой ложечки соприкасается с воздушной камерой, формирует всасывающую силу, удерживающую клубень картофеля. Каждая ложечка захватывает один клубень картофеля. Когда ложечка перемещается в воздушную камеру, клубни картофеля через отверстие в воздушной камере удерживаются вакуумом в ложечках. Клубни, на которые не действует сила всасывания, падают обратно в бункер.

Выполнив обзор и анализ и оценив достоинства и недостатки высаживающих аппаратов различных типов, считаем, что наиболее перспективным для равномерной посадки клубней картофеля является высаживающий аппарат вакуумного типа.

Для повышения равномерности посадки клубней картофеля в высаживающем аппарате вакуумного типа планируется использовать отрицательное (вакуумное) давление, чтобы захватить посевной материал, и положительное (воздушное давление) давление, чтобы высадить его в борозду в точно определенный момент.

Предполагается, что высаживающий аппарат вакуумного типа будет состоять из вращающегося колеса, на концах которого будут располагаться всасывающие рукава с расширяющимися захватами (рис. 6).

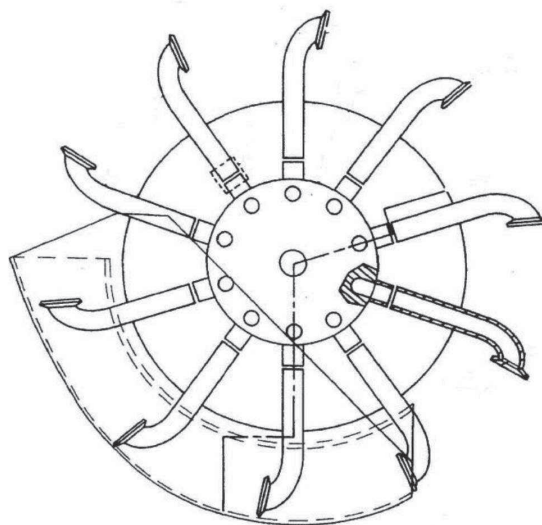


Рис. 6. Подъемное колесо вакуумного высаживающего аппарата (вид сбоку)

Основная идея будет заключаться в вакуумном механизме захвата клубня из бункера-дозатора, удержании его в процессе перемещения до тех пор, пока воздушный поток не заставит его высвободиться в строго определенный момент. Система позволит полностью исключить центробежную силу и обеспечить точную посадку на любой скорости. Использование отрицательного давления воздуха для удержания клубней позволит исключить захват одновременно двух клубней, а их надёжная фиксация – не допустить появления пропусков.

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.

Высаживающий аппарат вакуумного типа, в отличие от других имеющихся на сегодняшний день высаживающих аппаратов, является более перспективным для равномерной раскладки клубней картофеля в рядке.

Список использованных источников

1. Arega A, Tekalign A, Solomon T, Tekile B (2018) Effect of Inter and Intra Row Spacing on Tuber Yield and Yield Components of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Guji zone, Southern Ethiopia // *Journal of Advancements in Plant Science*, 1: 102
2. Техника сельскохозяйственная. Машины для посадки картофеля. Методы испытаний : ГОСТ 28306-2018 – Взамен ГОСТ 28306-89 ; введ. 01.01.2020. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 34 с.
3. Guanping, W. Realization of an integrated seeding and compensating potato planter based on one-way clutch / W. Guanping, S. Wei, , C. Lea-Der, Z. Hua, L. Xiaolong, L. Hongling, Y. Xiaoping, Y. Hao / *Int. J. Agric & Biol. Eng.* – 2020.– Vol. 13 No.3 79, P.79–87.
4. Механизация выращивания картофеля // *Вестник овощевода.* – 2017. – № 5–6. – С. 18–21.
5. Lü J. Design and experiment of precision air-suction type planter for potato / J. Lü, S. Yi, G. Tao, X. Mao // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 34(10):2018, 16–24 / DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.10.002.
6. Niu, K. Design and experiment on automatic compensation system of spoon-chain potato metering device / Niu, K, Zhou L M, Yuan Y W, Liu Y C, Fang X F. // *Transactions of the CSAM*, 2016; 47(10): 76–83.
7. Wanzhi, Z. Optimized Design and Experiment on Novel Combination Vacuum and Spoon Belt Metering Device for Potato Planters / Z. Wanzhi, L. Chenglong, L. Zhaoqin, Q. Xieteng, L. Haoyu, // *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2020, Article ID 1504642, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2020/1504642>.

В. Е. Тарасенко¹, А. А. Жешко², О. О. Мухля¹

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.ru;

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ РАБОТЫ С СИСТЕМАМИ «НАСОС-ФОРСУНКА» И «НАСОС-ТРУБКА-ФОРСУНКА»

Аннотация. Рассмотрены основные результаты модернизации диагностического стенда и приведены расчеты на прочность, подтверждающие надежность предлагаемой конструкции стенда

Ключевые слова: диагностический стенд, двигатель внутреннего сгорания, система питания, инжектор, давление, привод, муфта.

V. E. Tarasenko¹, A. A. Zheshko², O. O. Mukhlya¹

¹ EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.ru

² RUE “SPC of the National Academy of Sciences of Belarus on agricultural mechanization”,

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

THE RESULTS OF THE MODERNIZATION OF THE DIAGNOSTIC STAND FOR WORKING WITH THE “PUMP-NOZZLE” AND “PUMP-TUBE-NOZZLE” SYSTEMS

Abstract. The main results of the modernization of the diagnostic stand are considered and strength calculations are given, confirming the reliability of the proposed design of the stand

Keywords: tractor, diagnostic stand, internal combustion engine, power system, injector, pressure, drive, clutch.

Введение

Выполнение работ по техническому диагностированию, обслуживанию и ремонту машин невозможно осуществить без специального технологического оборудования, использование которого на сельскохозяйственных предприятиях позволяет облегчить тяжелые и трудоемкие операции, повысить производительность труда и качество выполнения работ, снизить и исключить влияние вредных факторов производства на окружающую среду и здоровье человека [1].

Направления совершенствования топливной аппаратуры сегодня концентрируются на повышении давления впрыска и улучшении дисперсности впрыснутого топлива, что в сочетании с параллельно разрабатываемыми системами очистки и дожигания выхлопных газов приведет к увеличению экономичности дизелей при обеспечении параметров токсичности выхлопных газов в пределах установленных норм [2–4]. Новые разработки все больше удовлетворяют форсированию дизелей по мощности, снижению веса, повышению надежности в эксплуатации [1]. Улучшение топливной экономичности и экологичности автотракторных ДВС решается высоко-технологичной модернизацией их топливных систем [5–6]. В настоящей работе рассматриваются основные результаты модернизации диагностического стенда и приведены расчеты на прочность, подтверждающие надежность предлагаемой конструкции.

В последние десятилетия ведущие производители автотракторных двигателей освоили новое поколение дизельных двигателей, которые оснащены топливными системами с давлениями впрыскивания до 300 МПа и выше и имеют электронное управление. При этом выполнение перспективных экологических нормативов (Tier-3 и EURO-5 и выше) возможно с применением не только аккумуляторной топливной системы Common Rail, как наиболее подходящей для дизелей всех экологических классов и наиболее серийно производимой, но и систем «насос-форсунка» (компонент UIS) (рис. 1) и «насос-трубка-форсунка (единичный ТНВД)» (компонент UPS) (рис. 2) [7].

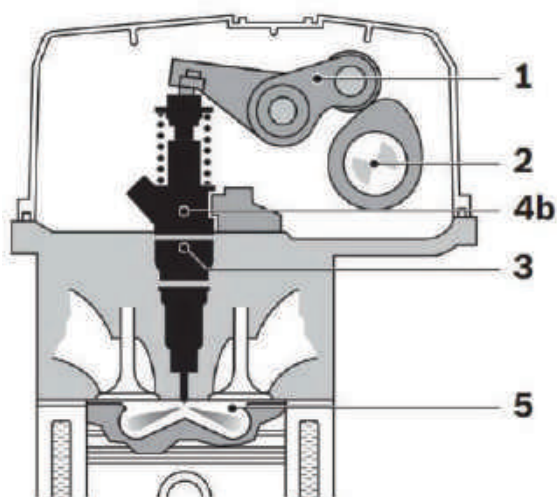


Рис. 1. Размещение компонента UIS для двигателей грузовых автомобилей: 1 – коромысло; 2 – распределительный вал; 3 – насос-форсунка UIS для грузовых автомобилей; 4b – электромагнитный клапан, расположенный внутри насос-форсунки; 5 – камера сгорания

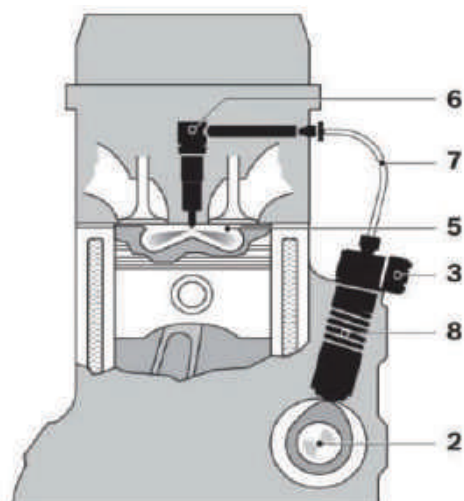


Рис. 2. Размещение компонента UPS для двигателей грузовых автомобилей: 2 – распределительный вал; 3 – электромагнитный клапан; 5 – камера сгорания; 6 – форсунка; 7 – магистраль высокого давления; 8 – компонент UPS

Система UIS конструктивно состоит из одного изделия, в котором конструктивно объединены и элемент создания давления, и исполнительный элемент впрыскивания топлива (рис. 3). Система UPS состоит из разнесённых в пространстве элементов создания давления (единичного насоса), впрыскивания (форсунки) и соединительного трубопровода (рис. 4).



Рис. 3. Изображение компонента UIS для двигателей грузовых автомобилей Delphi 2pin и Delphi 4pin



Рис. 4. Изображение компонента UPS для двигателей грузовых автомобилей Bosch, Delphi

Для обеспечения оптимальных показателей по расходу топлива, эффективной мощности дизеля и соответствия все более возрастающим требованиям к токсичности отработавших газов требуется своевременное выполнение работ по диагностированию, регулировке и ремонту дизельной топливной аппаратуры.

На кафедре «Технологии и организация технического сервиса» УО «БГАТУ» в образовательном процессе использовался стенд для тестирования топливных насосов высокого давления (ТНВД) ДД 10-04, который положительно зарекомендовал себя при тестировании ТНВД классов «Евро 0, 1, 2» в части проверки на нём насосов рядных, роторных и распределительных типов. Комплектация стенда не позволяла осуществлять тестирование систем «насос-форсунка» и систем «насос-трубка-форсунка». Проведенная модернизация позволила осуществлять проверку насос-форсунок, форсунок, работающих в паре с индивидуальными ТНВД и индивидуальных ТНВД [7].

Важным обстоятельством при принятии решения была возможность одновременного использования двух методик определения качественных показателей работы насос-форсунок и насосных секций:

- методика компании BOSCH, где осуществляется определение длительности посадки клапана-золотника с момента активации ВРР (begin of injection period);

- методика компании DELPHI (оборудование HARTRIDGE), где осуществляется определение временных характеристик нарастания внутреннего давления топлива, определение периода создания максимального (пикового) внутреннего давления, с использованием датчика LOAD CELL.

Конструктивно насос-форсунки и насосные секции способны создавать высокое давление топлива посредством его сжатия. А к функциям блоков управления впрыском (ЭБУ) относят контроль длительности задержки впрыска от начала подъёма плунжера и сжатия топлива в надплунжерном пространстве и контроль длительности впрыска путём активации электромагнита. Электромагнит воздействует на золотниковый элемент (анкер), а тот в свою очередь перекрывает (запирает) дренажное отверстие слива. С этого момента начинается создание высокого давления топлива и соответственно впрыск топлива в цилиндр двигателя.

По методике компании BOSCH на мобильной машине и на диагностическом стенде контролируется момент запираания дренажного отверстия. При перемещении и посадке (запирании) анкера происходит электромагнитное токовое возмущение, момент которого, в соответствии с границами регулирования, ЭБУ определяет как начало процесса создания давления топлива и далее уже ведёт расчёт длительности впрыска, опираясь на полученное значение.

По методике компании DELPHI (Hartridge) на стенде, благодаря наличию тензометрического датчика LOAD CELL, происходит измерение изменения внутреннего давления топлива в соответствии с моментами задержки и активации впрыска. Также по диаграммам внутреннего давления топлива и их положению относительно контрольных точек давления происходит кодирование насос-форсунок и насосных секций с последующим прописыванием полученных на стенде кодов в ЭБУ ДВС.

Также предложено установить в модернизированный стенд датчик давления топлива BOSCH на 270 МПа (для определения пикового давления при тестировании систем с насосными секциями).

В стенд дополнительно установили: тестовый САМБОХ с изменяемым ходом плунжера от 10 до 20 мм, блок управления «ПОТОК-UIS», блок измерения производительности «Поток FM-2», радиатор охлаждения тестовой жидкости; дополнительные фильтры для защиты высокоточной системы измерения от воздействия грязи и металлических частиц, выходящих из испытуемого компонента; оптический инкрементальный энкодер на 2500 точек (для определения положения кулачка); топливопроводы.

Внешний вид и конструктив стенда после модернизации соответствует современным требованиям эстетики и безопасности промышленного оборудования (рис. 5).

К настоящему времени модернизированный диагностический стенд ДД 10-04 с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-2» и блоком управления «Поток-UIS» позволяет выполнять проверку и тестирование насос-форсунок, форсунок (работающих в паре с индивидуальными ТНВД) и индивидуальных ТНВД.

В соответствии с рис. 5 стенд ДД 10-04 после модернизации включает следующие основные элементы:

- асинхронный электродвигатель привода АИРМ132М2У3 (мощностью 15 кВт, с частотой вращения 1430 мин⁻¹);

- бак (45 л) с установленным на его крышке асинхронным электродвигателем АИР80А4У3 с подкачивающим насосом БГ12-4УХЛ4 и фильтрами;
- нагреватель (1,5 кВт) калибровочного масла в баке (емкостью 45 л);
- систему термостабилизации калибровочного масла с двумя охладителями (радиатором) и датчиком для контроля температуры калибровочного масла ISO 4113, подаваемого к тестируемому компоненту с заданным диапазоном настройки ($40 \pm 2^\circ\text{C}$);
- SAMBOX с дополнительными адаптерами для установки тестируемых компонентов;
- приводную муфту;
- систему фильтрации калибровочного масла, состоящую из фильтров Bosch 1 457 434 437;
- масло-бензостойкие топливопроводы диаметром 10 мм и 8 мм;
- полугибкие топливопроводы высокого давления топлива «PARKER»;
- блок управления «Поток-UIS» для управления стендом совместно с измерительным блоком «Поток FM-2»;
- защитный экран с блокировкой его открытого состояния.

Определение параметров работы компонентов производится по заданной программе, состоящей из тест-планов, с возможностью тестирования в ручном или автоматическом режимах.

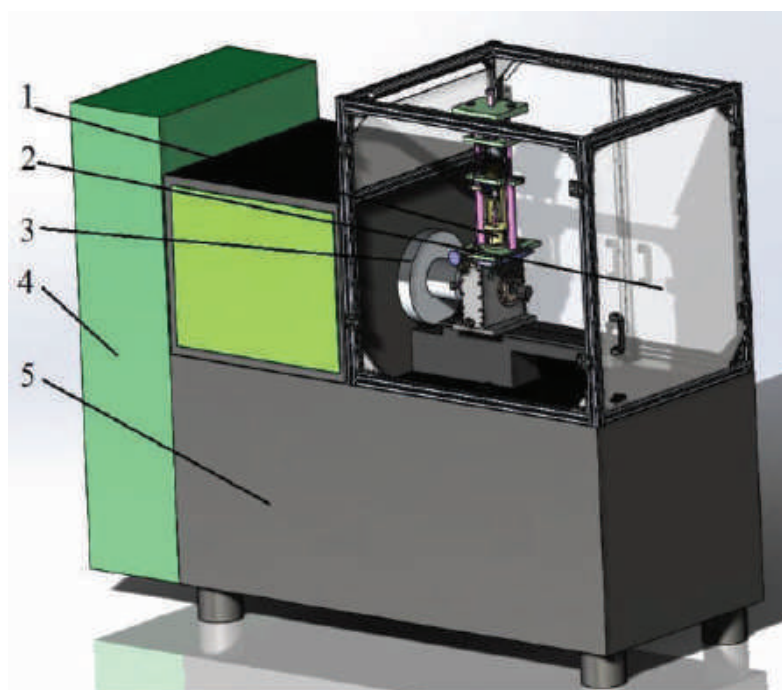


Рис. 5. Модернизированный стенд ДД 10-04:
1 – SAMBOX; 2 – защитный экран; 3 – маховик; 4 – электрощит; 5 – стенд

Модернизированный стенд позволяет [7]:

- проверять легковые и грузовые компоненты фирм BOSCH, DELPHI, SIEMENS (VDO), CATERPILLAR, L'ORANGE, CUMMINS и многих других;
- автоматически переключать напряжение питания (12В/24В) в зависимости от типа проверяемого компонента;
- измерять частоту вращения электродвигателя стенда;
- управлять частотой вращения вала привода стенда;
- управлять направлением вращения электродвигателя стенда;
- управлять нагревателем и охладителем тестовой жидкости;
- управлять пускателем топливоподкачивающего насоса (ТПН);
- осуществлять автоматическое, ручное либо внешнее управление созданием высокого давления в топливной рампе;

- создавать пользовательские тест-планы для проверки компонентов с созданием профиля сигнала (напряжение открытия, ток открытия, напряжения удержания, ток удержания, напряжение закрытия и др.);
- отображать графики изменения давления благодаря датчику LOAD CELL (рис. 6 и 7);
- формировать отчеты с результатами измерений в диагностической карте;
- подключиться к ПК.

Модернизированный диагностический стенд ДД 10-04 с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-2» и блоком управления «Поток-UIS» после завершения работ по наладке размещен в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем кафедры «Технологии и организация технического сервиса».

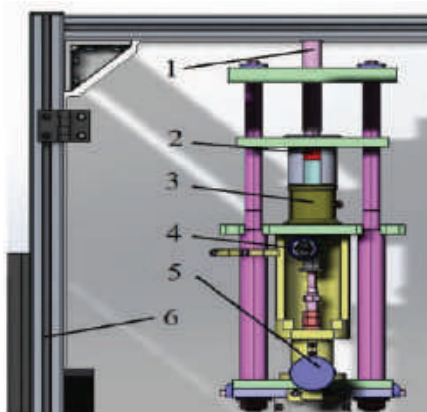


Рис. 6. Модернизированный стенд ДД 10-04 (рабочая зона): 1 – прижимной винт; 2 – датчик нагрузки LOAD CELL; 3 – адаптер для установки компонента; 4 – тестируемый компонент; 5 – винт регулировки хода толкателя (10–20 мм); 6 – каркас защитного экрана



Рис. 7. Датчик нагрузки (наращения давления в компоненте) LOAD CELL: 1 – точка приложения силы (соединения с компонентом); 2 – информационный кабель; 3 – опорная площадка

Рассмотрим основные функции стенда. Автоматическое управление оборотами вала привода стенда построено на PID-регуляторе и позволяет стабилизировать обороты в диапазоне $\pm 10 \text{ мин}^{-1}$. Автоматическая термостабилизация позволяет настроить температуру калибровочного масла, подаваемого к испытуемому компоненту, с диапазоном гистерезиса $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Для улучшения термостабилизации в стенде имеется 2 активных радиатора охлаждения. Один термостабилизирует жидкость, выходящую из тестируемого компонента, а второй – для общей термостабилизации системы охлаждения калибровочного масла. Для измерения производительности инжекторов мы выбрали «Поток FM-2», 2-хканальный измеритель весового типа, в нашем случае используется один канал измерения. Из недостатков следует отметить более долгое получение первых значений наливов инжекторов (около 10–15 сек). Из достоинств – простота конструкции, что позволит не беспокоиться о загрязненном топливе, поступающем к каналам измерителя; отсутствие математической зависимости от температуры поступающего калибровочного масла; простота калибровки; простота постгарантийного обслуживания.

Наличие в системе оптического энкодера и возможности подключения дополнительного датчика давления топлива позволит широко использовать данный стенд в научно-исследовательских целях и получить ответы на вопросы о формировании нестабильных наливов форсунок, о происхождении и причинах возникновения пульсаций давления в гидравлических системах низкого и высокого давления топлива, определении зависимости скорости создания внутреннего давления топлива в компоненте от скорости набегания втулки на кулачок и многих других.

Проведенная модернизация позволила достичь широкого круга функциональных возможностей при работе с насос-форсунками, форсунками (работающими в паре с индивидуальными ТНВД) и индивидуальными ТНВД без значительных финансовых затрат (в сравнении с новыми диагностическими стендами подобных функциональных возможностей).

На рис. 8 представлена расчетная схема нагружений и закреплений датчика с целью моделирования напряженно-деформированного состояния в системе Компас-3D с библиотекой АРМ FEM. Датчик установлен на опорной площадке и крепится к ней посредством болтового соединения, образуя тем самым закрепление F1. Температура датчика T2 составляет 40°C, на опорную площадку отводится температура T1, равная 30°C. На верхнюю площадку датчика действует распределенная нагрузка, которая составляет 250 Н/мм², на опорную площадку передается усилие 500 Н.

Для выполнения расчетов принимаем сетку, состоящую из 4-х узловых тетраэдров с максимальной длиной стороны элемента 3 мм. Коэффициент максимального сгущения поверхности $K_c = 1$, коэффициент разряжения в объеме $K_p = 1,5$. Количество узлов – 13191 (рис. 9).

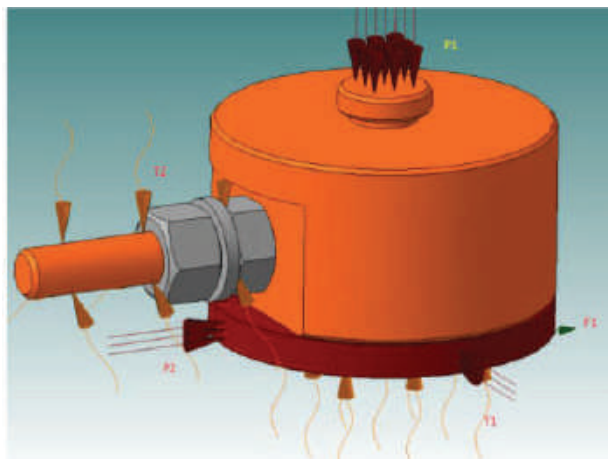


Рис. 8. Схема нагружений и закреплений датчика нагрузки

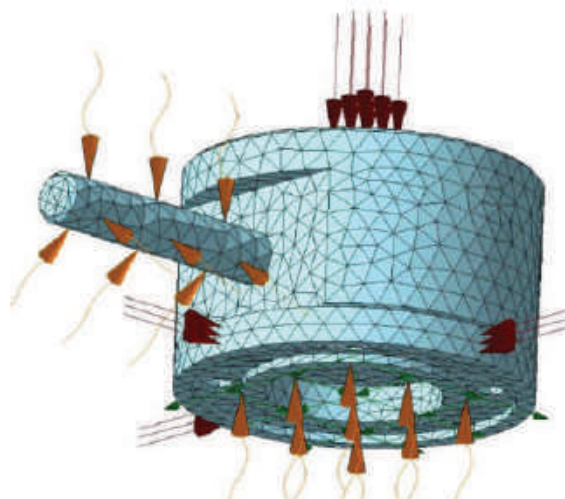


Рис. 9. Результат разбиения модели методом конечных элементов

В табл. 1 приведены характеристики материала, из которого изготовлена опорная площадка датчика нагружения.

Таблица 1. Характеристики материала, из которого изготовлена опорная площадка датчика нагружения

Предел текучести [МПа]	235
Модуль упругости нормальный [МПа]	200000
Коэффициент Пуассона	0,3
Плотность [кг/м ³]	7800
Температурный коэффициент линейного расширения [1/С]	0,000012
Теплопроводность [Вт/(м*С)]	55
Предел прочности при сжатии [МПа]	410
Предел выносливости при растяжении [МПа]	209
Предел выносливости при кручении [МПа]	139

Указываем на 3D-модели соответствующие нагрузки и закрепления, для проведения дальнейших расчетов воспользуемся методом конечных элементов. Метод конечных элементов, как и многие другие численные методы, основан на представлении сплошного тела его дискретной моделью и замене дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние сплошных тел системой алгебраических уравнений. Суть метода заключается в том, что область, занимаемая сплошным телом, разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам подобластей. Последние носят название конечных элементов, а сам процесс разбивки – дискретизацией.

Инерционные характеристики модели представлены в таблице 2.

На рис. 10 представлены параметры расчета усталостной прочности датчика. При этом коэффициент чувствительности материала к местным напряжениям составляет 0,5. Теоретический коэффициент концентрации напряжений равен 1. Коэффициент масштабного фактора 1.

Таблица 2. Инерционные характеристики модели

Наименование	Значение
Масса модели [кг]	0,225833
Центр тяжести модели [м]	(-0,000264; 0,000001; 0,013536)
Моменты инерции модели относительно центра масс [кг·м ²]	(0,000027; 0,000023; 0,000052)
Реактивный момент относительно центра масс [Н·м]	(-2.22826; -58.913621; 0.26601)
Суммарная реакция опор [Н]	(-116.134127; 2.068466; 239893.3375)
Абсолютное значение реакции [Н]	239893,365619
Абсолютное значение момента [Н·м]	58,956346

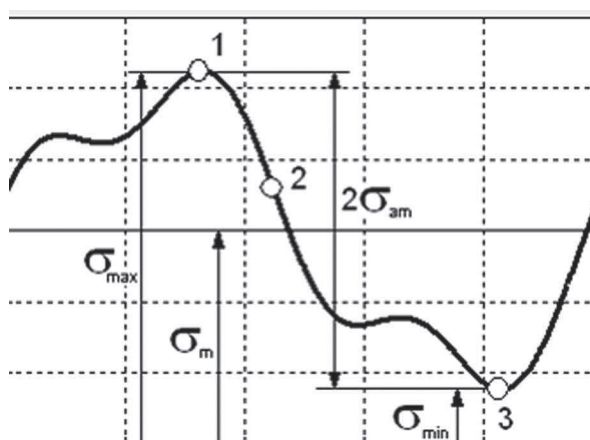


Рис. 10. Параметры расчета усталостной прочности датчика

Результаты статистического расчета

Эквивалентное напряжение по Мизесу находится в пределах 2698,5 МПа. Суммарное линейное перемещение составляет 0,17 мм. Коэффициент запаса по текучести 0,087...1000. Коэффициент запаса по прочности 0,15...1000.

На рис. 11–14 представлены результаты расчета эквивалентного напряжения, суммарного линейного перемещения, карта результатов деформации и карта главных напряжений.

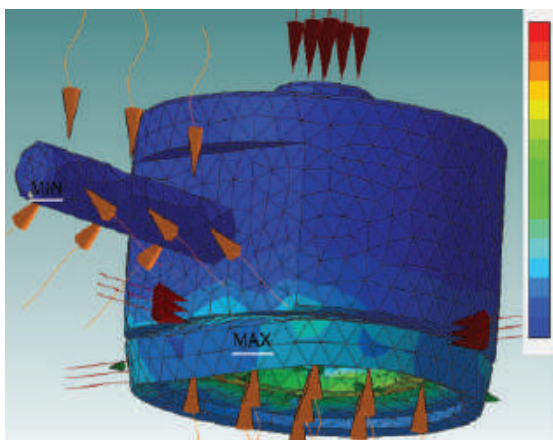


Рис. 11. Эквивалентное напряжение по Мизесу

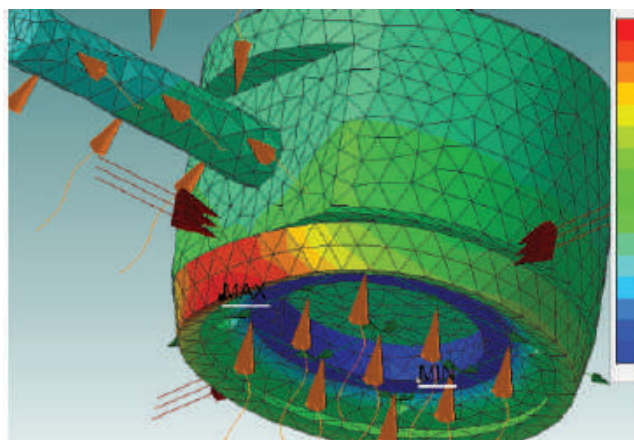


Рис. 12. Суммарное линейное перемещение

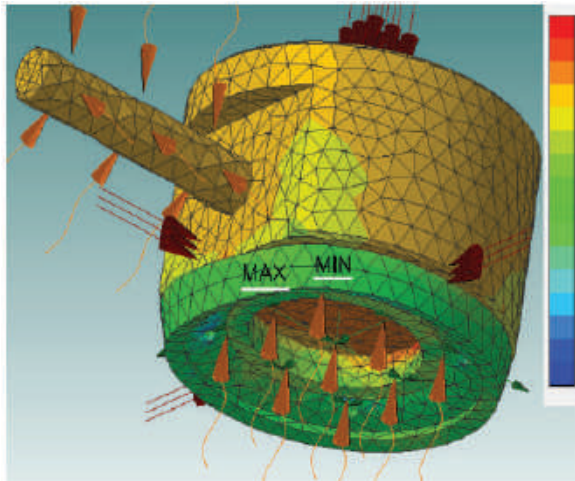


Рис. 13. Карта результатов деформации

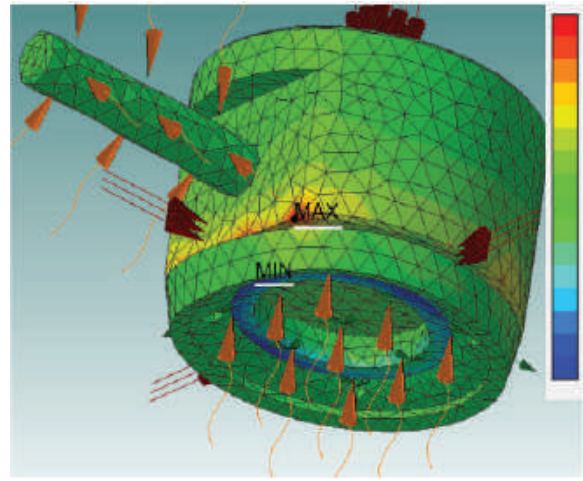


Рис. 14. Карта главных напряжений

Результаты расчета собственных частот представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета собственных частот

№	Частота [рад/с]	Частота [Гц]
1	26794,039899	4264,403895
2	27034,079415	4302,607371
3	43606,546939	6940,197497
4	43817,322049	6973,743397
5	91393,227107	14545,683859

Результаты расчета, представленные на рис. 11–14, показывают, что геометрические параметры и прочностные свойства датчика подобраны удовлетворительно. В перспективе при использовании более высоких нагрузок необходимо уменьшить размер технологического отверстия в опорной площадке, поскольку из рисунка 14 (карта главных напряжений) видно, что чрезмерные размеры отверстия является причиной концентрации напряжений и могут привести к незначительным деформациям.

С целью прогнозирования вероятной деформации опорной площадки проведено моделирование поведения датчика нагрузки в среде ANSYS. Нагрузки приняты в 10 раз больше, чем фактические. При чрезмерных нагрузках результаты общей деформации опорной площадки представлены на рис. 15.

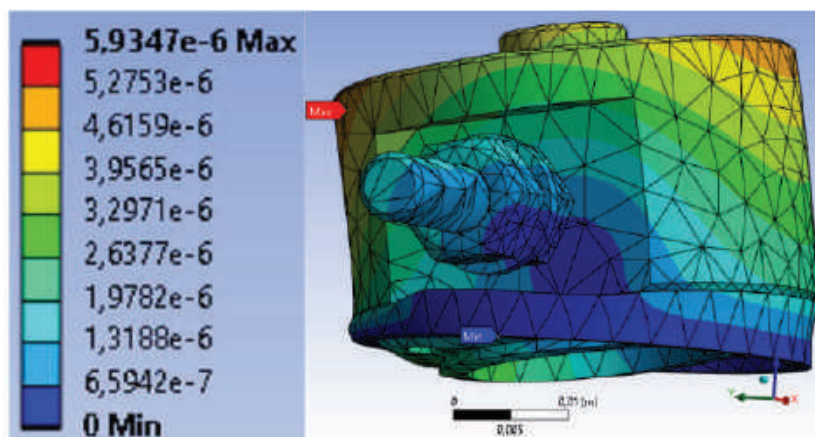


Рис. 15. Общая деформация опорной площадки датчика нагрузки в случае увеличения фактических нагрузок в 10 раз

Как видно из рис. 15, при воздействии в течение 1 с чрезмерных нагрузок, превышающих фактические в 10 раз, опорная площадка подвергается деформациям от $6,5942 \cdot 10^{-7}$ м до $2,6377 \cdot 10^{-6}$ м. Наибольшим деформациям подвержен корпус датчика, причем максимальное значение деформации в верхней части корпуса может достигать $4,6159 \cdot 10^{-6}$ м. Учитывая, что столь высокие нагрузки в процессе эксплуатации датчика маловероятны, можно утверждать, что прочность опорной площадки обеспечивает высокую надежность конструкции.

Заключение

Модернизированный диагностический стенд ДД 10-04 позволяет проверять компоненты фирм BOSCH, DELPHI, SIEMENS (VDO), CATERPILLAR, L'ORANGE, CUMMINS и многих других. Функциональные возможности стенда позволяют автоматически переключать напряжение питания в зависимости от типа проверяемого компонента; управлять нагревателем и охладителем тестовой жидкости, а также пускателем топливоподкачивающего насоса (ТПН); осуществлять автоматическое, ручное либо внешнее управление созданием высокого давления в топливной рампе; создавать пользовательские тест-планы для проверки компонентов и др.

Выполнен расчет напряженно-деформированного состояния и статической прочности датчика нагрузки в системе прочностного анализа АРМ FEM, которая является дополнением к пробной версии КОМПАС-3D v18.1. Результаты расчета показывают, что геометрические параметры и прочностные свойства датчика и опорной площадки подобраны удовлетворительно.

Выполнены дополнительные расчеты датчика и опорной площадки в программе ANSYS 2021 R1. Расчет показал, что датчик и опорная площадка не испытывают чрезмерных нагрузок, поэтому дополнительное упрочнение конструкции не требуется.

Список использованных источников

1. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах: монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с электронным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 52–57.
3. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с механическим и электронно-актуаторным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 58–64.
4. Расширение функциональных возможностей диагностического стенда ДД 10-01 [Электрон. ресурс] / В. Е. Тарасенко [и др.] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_215.pdf. – Дата доступа: 01.10.2022. – DOI: <https://doi.org/10.51419/202122215>.
5. Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
6. Шумовский, В. А. Улучшение показателей транспортного дизеля путем совершенствования процессов распыливания топлива и смесеобразования: дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / В. А. Шумовский – Москва, 2016. – 165 с.
7. Мухля, О. О. Расширение функциональных возможностей стенда ДД 10-04 / О. О. Мухля, С. В. Горностай ; науч. рук. В. Е. Тарасенко // Техсервис-2022 : материалы научно-практической конференции студентов и магистрантов, Минск, 12–13 мая 2022 г. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 19–24.

Р. И. Байметов, Х. Г. Абдулхаев

*Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства
Гулбахор, Республика Узбекистан*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

Аннотация. Приведена перспектива развития, разработки и совершенствования специализированных машин для возделывания и уборки картофеля в соответствии с Системой машин.

Ключевые слова: Система машин, механизация производства, комплекс машин, возделывание и уборка картофеля, комбинированный агрегат.

R. I. Baimetov, H. G. Abdulkhaev

*Research Institute of Agricultural Mechanization
Gulbakhor, Republic of Uzbekistan*

PROSPECTS OF DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE COMPLEX OF MACHINES FOR POTATO CULTIVATION AND HARVESTING IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract. The perspective of development of development and improvement of specialized machines for potato cultivation and harvesting in accordance with the Machine System is given.

Keywords: Machine System, mechanization of production, complex of machines, potato cultivation and harvesting, combined unit.

Введение

Почвенно-климатические условия республики с искусственным орошением позволяют выращивать и получать высокие урожаи картофеля. Картофелеводство является важной составной частью отрасли сельскохозяйственного производства Узбекистана, формирующей продовольственную базу страны. Картофель выращивается главным образом на огородах, приусадебных участках и в мелких фермерских хозяйствах с минимальным уровнем механизации основных работ, а также в специализированных хозяйствах [1].

Структурные изменения в экономике республики и исследования последних лет в области технологии возделывания картофеля позволяют по-новому взглянуть на задачу механизации производства этой культуры. Поэтому последние годы уделяется большое внимание разработке передовых методов, отличающихся высокой технологичностью и экономичностью, основой которых служат операции подготовки почвы, посадки клубней и уборки урожая картофеля.

Основная часть

Создание техники для возделывания и уборки картофеля осуществляется в республике в соответствии с Системой машин, которая является технической основой комплексной механизации сельскохозяйственного производства [2].

Главным координатором по разработке перспективных Систем машин является Узбекский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства.

Системой машин по культуре картофеля предусматривается 22 позиции технических средств, из них 9 наименований разработаны в Узбекистане и осваиваются отечественными заводами-изготовителями.

В соответствии с Системой машин в настоящий период энергетическими средствами для агрегатирования машин и орудий при возделывании и уборке картофеля являются имеющиеся в хозяйствах хлопководческие тракторы класса тяги 1,4–2,0, типа МТЗ-82.01 [3].

Основным энергетическим средством для агрегатирования со специализированными машинами и орудиями в картофелеводстве на перспективу предусмотрен специальный овощеводческий трактор ТТЗ-100SP класса 1,4 (рис. 1) на базе универсально-пропашных тракторов Ташкентского тракторного завода.



Рис. 1. Овощеводческий трактор ТТЗ-100SP

Это трактор мощностью двигателя 100 л.с., с передним ведущим мостом, с передним валом отбора мощности и гидронавесной системой [4].

Трактор ТТЗ-100SP предназначен для работы с навесными, полунавесными, прицепными и монтируемыми машинами, орудиями и приспособлениями, погрузочно-разгрузочным оборудованием, транспортными средствами в составе одномашинных и многомашинных (комбинированных) агрегатов при одновременном обеспечении тягового усилия спереди и сзади трактора, привода активных рабочих органов от заднего и переднего валов отбора мощности.

Внедрение трактора ТТЗ-100SP в сельскохозяйственное производство республики позволит повысить производительность труда в 1,2–1,4 раза, уменьшить расход ГСМ до 65 л/га, сократить холостые проезды на перенавешивание машин и орудий и время на выполнение агроприемов, совместить более 17 % технологических операций существующих технологий возделывания и уборки картофеля [4].

К овощеводческому трактору ТТЗ-100SP будут созданы и внедрены комбинированные агрегаты, которыми без ущерба для агротехнического и технологического качества работ за один проход по полю могут быть выполнены несколько операций [1].

Основная и предпосадочная обработка почвы производится с учетом почвенных условий, предшественников, глубины пахотного горизонта. Она не только оказывает влияние на ее агрофизические свойства и рост корневой системы, но и служит определяющим фактором создания оптимальных условий для формирования хорошего урожая [5]. В настоящее время предпосадочная подготовка почвы для посадки картофеля проводится почвообрабатывающими агрегатами хлопководческого комплекса [6].

Для измельчения растительных остатков от предшествующей культуры и гладкой вспашки разработан комбинированный агрегат для измельчения и разбрасывания по полю растительных остатков с одновременной вспашкой почвы. Данный комбинированный агрегат состоит из стеблеизмельчителя, навешиваемого на переднее навесное устройство, и плуга, навешиваемого на заднее

навесное устройство трактора (рис. 2). В качестве плуга в составе комбинированного агрегата может быть использован существующий навесной трехкорпусный плуг общего назначения типа ПЛН-3-35, а в перспективе – овощеводческий оборотный плуг для гладкой вспашки почвы под овощные культуры и картофеля на глубину до 30 см. При использовании оборотного плуга вспашка получается гладкой, без свальных гребней и борозд.



Рис. 2. Комбинированный агрегат, навешиваемый на овощеводческий трактор ТТЗ-100SP, состоящий из стеблеизмельчителя и плуга

Известно, что использование машин с активными (фрезерными) рабочими органами для подготовки почвы к посадке обеспечивает высококачественную предпосадочную подготовку почв под картофель и поддерживает почву в мелкоструктурном состоянии в течение всего периода вегетации.

Для одновременной подготовки почвы сплошным фрезерованием и посадки клубней картофеля разрабатывается комбинированный агрегат, который состоит из почвенной фрезы, навешиваемой на переднее навесное устройство, и картофелесажалки, навешиваемой на заднее навесное устройство трактора (рис. 3). Привод фрезбарабанов осуществляется от ВОМ трактора через карданный вал. Регулировка глубины обработки почвы фрезбарабаном осуществляется за счет изменения длины центральной тяги механизма навески трактора и дополнительно – изменением положения опоры колес на стойках.



Рис. 3. Комбинированный агрегат, навешиваемый на овощеводческий трактор ТТЗ-100SP, состоящий из почвенной фрезы и картофелесажалки

Для посадки клубней картофеля в составе комбинированного агрегата используется картофелесажалка СН-4Б. Картофелесажалка СН-4Б предназначена для посадки неяровизированного семенного картофеля с междурядьями 70 см по гладкому полю или по гребням. Одновременно с посадкой картофеля производится нарезка поливных борозд бороздорезами.

Для посадки пророщенных, т.е. яровизированных клубней картофеля в перспективе будет разработана конструкция сажалки с цепочно-ложечным высаживающим аппаратом типа сажалки САЯ-4.

Междурядная обработка овощных культур и картофеля с одновременной обработкой ядохимикатами для борьбы с вредителями и болезнями будет производиться комбинированным агрегатом, состоящим из опрыскивателя, навешиваемого на переднее устройство трактора, и культиватора для обработки междурядий, навешиваемого на заднее навесное устройство (рис. 4). В качестве опрыскивателя в составе агрегата рекомендуется машина для борьбы с сельхозвредителями и болезнями растений типа ОШБ-7. В качестве культиватора в состав агрегата рекомендуется овоще-хлопковый культиватор КХО-3,6. В дальнейшем будет разработан культиватор задненавесной 4-рядный шириной захвата 2,8 м с новыми энергосберегающими рабочими органами для овощеводства и картофелеводства.



Рис. 4. Комбинированный агрегат, навешиваемый на овощеводческий трактор ТТЗ-100SP, состоящий из опрыскивателя и культиватора

Уборка картофеля является весьма трудоемким процессом. Из-за почвенно-климатических особенностей (высокие летние температуры, низкая относительная влажность воздуха, уплотнение почвы после поливов) картофелеуборочные машины не нашли широкого применения. Опыт применения картофелеуборочных машин в республике показал, что в процессе уборки картофеля почва клубненосного пласта плохо крошится и распадается на крупные почвенные комки, имеющие большую твердость, чем клубни картофеля, тем самым затрудняется отделение ее от клубней на грохоте и элеваторе. Это особенно усугубляется на глинистых и тяжелых суглинистых почвах, склонных к образованию глыб при ее обработке, и является основной причиной, препятствующей внедрению картофелеуборочных машин [7].

Поэтому уборка урожая картофеля производится с применением картофелекопателя с участием многочисленных сборщиков для ручного подбора клубней и грузчиков.

Сейчас при уборке картофеля в основном применяют картофелекопатели КТН-2Б и КСТ-1,4, ранее завезенные из России. Картофелекопатель КСТ-1,4 прицепной, предназначен для копки с двух рядков картофеля, возделываемого с междурядьями 70 см.

АО «БМКБ-Агромаш» завершена разработка картофелекопателя по параметрам НИИМСХ и НИИОБиК к трактору ТТЗ-100SP, обеспечивающего лучшую сепарацию, а также уменьшение потерь и повреждения клубней.

Для снижения потерь и уничтожения пораженной болезнями и вредителями ботвы картофеля рекомендуется до начала уборки урожая ее измельчать и разбрасывать по полю. Уборка картофельной ботвы и одновременное выкапывание клубней на поверхность поля будет производиться комбинированным агрегатом для копки картофеля с одновременным удалением ботвы.

Комбинированный агрегат (рис. 5) состоит из ботвоизмельчителя, навешиваемого на переднее гидронавесное устройство овощеводческого трактора, и картофелекопателя, навешиваемого на заднее гидронавесное устройство трактора.



Рис. 5. Комбинированный агрегат, навешиваемый на овощеводческий трактор ТТ3-100SP, состоящий из ботвоизмельчителя и картофелекопателя

Заключение

Завершение разработки, серийное производство и внедрение комплекса машин для возделывания и уборки картофеля позволит существенно поднять производительность труда, сократить затраты материально-технических и денежных средств, поднять на качественно новый уровень техническую базу в картофелеводческих хозяйствах.

Список использованных источников

1. Abdusalim T., Khurshed A. 2016. Rationale for the parameters of the rotary tiller of new implement for volumetric pre-sowing of ridges. *European science review*. – Vienna, – № 5–6. – P. 176–178.
2. Система машин и технологий для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 2016–2020 гг. Часть 1. Отв. ред. Байметов Р.И. – Ташкент. УзМЭИ НПЦ при МСХВ РУз. – 2015.
3. Байметов, Р. И. Овощеводческий трактор для фермерских хозяйств / Р. И. Байметов, Ф. К. Ганиев, О. С. Осипов // Қишлоқ хўжалиги учун юқори унумли, ресурстежамкор технология ва техника воситалари бўйича илмий-тадқиқотларнинг натижалари / ЎзМЭИ илмий ишлар тўплами. Гульбахор. — УзМЭИ. 2009. – Б. 12–23.
4. Ганиев, Ф. К. Агрегатируемость овощеводческого трактора с комбинированными агрегатами / Ф. К. Ганиев, О. С. Осипов // Ўзбекистонда сабзавотчилик, полизчилик ва картошқачиликни холати ва ривожлантириш истикболлари. Республика илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2011. – Б. 128–142.
5. Tukhtakuziev, A. Abdulkhaev, K.G. (2021) “Ensuring the uniformity of movement of the working bodies of the machine for processing ridges in the depth of travel” *Irrigation and Melioration: Vol. 2021 : Iss. 4 , Article 8.*
6. Tukhtakuziev A., Abdulkhaev Kh. G., Barlibaev Sh.N. Determining the Appropriate Values of Compactor Parameters of the Enhanced Narrow Leveller. *Civil Engineering and Architecture Vol. 8(3), pp. 218–223.* – doi: 10.13189/cea.2020.080304.
7. Асатиллаев, Й. М. Разработка и обоснование параметров рыхлительного барабана картофелекопателя-сепаратора почвы. Дисс. ... канд.техн.наук. – Ташкент, 2006. – 127 с.

Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»**г. Минск, Республика Беларусь**E-mail: zanemanoff@mail.ru***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ТРАКТОРНЫХ ПРИЦЕПОВ**

Аннотация. В статье дана оценка применения различных решений по совершенствованию ходовых систем тракторных прицепов.

Ключевые слова: транспортировка, прицеп, шина, подвеска, параметры шин.

G. I. Gedroit, S. V. Zanemonsky*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"**Minsk, Republic of Belarus**E-mail: zanemanoff@mail.ru***IMPROVEMENT OF DRIVING SYSTEMS OF TRACTOR TRAILERS**

Abstract. The article evaluates the application of various solutions to improve the running systems of tractor trailers.

Keywords: transportation, trailer, tire, suspension, tire parameters.

Введение

Транспортные средства являются неотъемлемой частью технической базы сельскохозяйственного производства. На внутрихозяйственных перевозках в сельском хозяйстве в основном используется тракторный транспорт [1]. В последнее десятилетие увеличиваются расстояния транспортировки продукции, растет общая масса машин и количество установленных на них осей [2].

Сельскохозяйственные прицепы должны удовлетворять множеству различных требований: устойчивое движение, высокий уровень комфорта для оператора, допустимое уплотнение почвы и повреждение растений, низкие затраты на передвижение [1, 2]. Выполнение перечисленных требований в значительной степени зависит от конструкции ходовых систем прицепов.

Основная часть

Показатели эксплуатационных свойств прицепов в полевых условиях можно улучшить, используя шины с увеличенными размерами, повышенными деформационными свойствами, увеличивая количество осей. Важную роль как в поле, так и на дороге играют применяемые подвески. Варианты отечественных и зарубежных шин прицепов приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Геометрические размеры шин, м

Шина	Наружный диаметр	Ширина профиля	Высота профиля	Статический радиус	Ширина беговой дорожки протектора	Высота беговой дорожки протектора	Допустимая деформация шины
13,0/75-16 НС8 мод. ФБел-340	0,900	0,336	0,248	0,400	0,27	0,044	0,050
16,5/70-18 НС10 мод. КФ-97	1,065	0,425	0,306	0,484	0,35	0,054	0,049
20/60-22,5 НС12 мод. Бел-87	1,170	0,503	0,302	0,510	0,45	0,088	0,075
24/50-22,5 НС16 мод. Бел-91	1,155	0,612	0,27	0,507	0,55	0,079	0,071
710/45-26,5 НС20 мод. BEL-43 LS2	1,340	0,710	0,32	0,625	0,64	0,010	0,045



Рис. 1. Шины зарубежных большегрузных тракторных прицепов: *а* – диагональная шина 710/45–22.5 TL; *б* – радиальная шина 710/50R26.5TL; *в* – радиальная шина 750/45R26.5TL; *г* – радиальная шина 800/45R26.5TL

Рассмотрим конструкции подвесок зарубежных тракторных прицепов.

На рис. 2, *а* представлена рессорная балансирующая подвеска. Обеспечивает умеренную мягкость и плавность хода. При наезде одного из колес на препятствие значительно снижается вертикальное перемещение несущей рамы прицепа. Основными преимуществами данного типа подвески являются обеспечение хорошего контакта шин с опорным основанием, пониженное динамическое воздействие на раму прицепа и ходовую часть. В то же время жесткость таких подвесок достаточна для обеспечения устойчивости прицепа. Рессорная балансирующая подвеска имеет также сравнительно небольшую стоимость, проста в изготовлении и обслуживании. Применение рессорной подвески оптимально для прицепной техники, эксплуатирующейся на дорогах общего пользования и по умеренному бездорожью. К недостаткам данного типа подвески можно отнести невозможность регулирования жесткости подвески, наличие межлистового трения, что негативно сказывается на долговечности подвески.

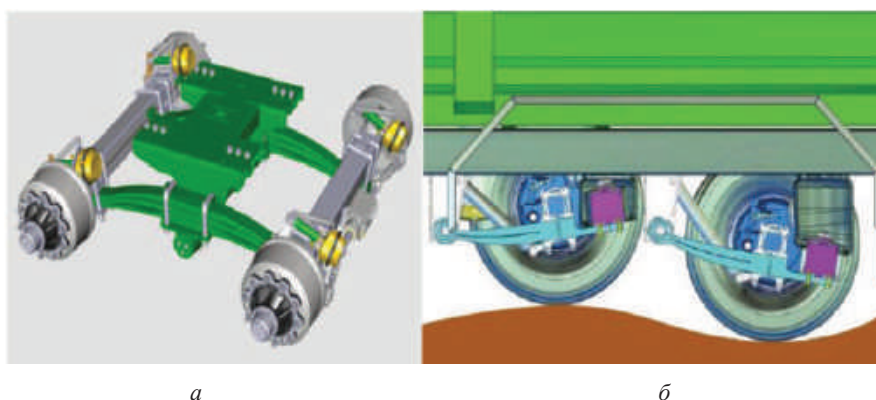


Рис. 2. Двухосная рессорная балансирующая подвеска фирмы Joskin (*а*) и пневматическая подвеска (*б*) тракторных прицепов

В конструкции, предложенной фирмой Joskin (рис. 2, *а*), благодаря расположению осей над рессорами и центральной оси под ними улучшается преодоление препятствий. Необходимая сила буксировки при этом снижается. Такая система рекомендуется при эксплуатации прицепов на неровных участках.

На прицепах может устанавливаться пневматическая подвеска (рис. 2, *б*). Достоинством данной подвески является возможность регулирования жесткости, надежность и долговечность. Недостатки данного типа подвесок: для прицепов с большой грузоподъемностью необходимо использовать большое количество пневмобаллонов для восприятия нагрузки, что усложняет конструкцию подвески и увеличивает ее габариты.

К преимуществам пневматических подвесок следует отнести высокую плавность хода, отсутствие заметных смещений между шасси и осями прицепа, возможность регулировки высоты подвески, поддержание постоянной высоты кузова вне зависимости от загрузки, уменьшение частоты собственных колебаний шасси. Пневмоподвеска позволяет установить поднимаемую переднюю

ось. При движении по дорогам с твердым покрытием или буксировке порожнего прицепа одна ось поднимается, что позволяет уменьшить износ шин и силы сопротивления качению колес, а следовательно, затраты энергии и топлива на передвижение. На разбрасывателях органических удобрений с двойной или тройной осью при поднятии первой оси при разбрасывании на задний мост трактора передается большая нагрузка, что позволяет догрузить задние колеса трактора и увеличить его сцепной вес, а значит, повысить проходимость агрегата.

В последние годы зарубежными производителями представлены модели прицепов с гидравлическими подвесками (рис. 3).

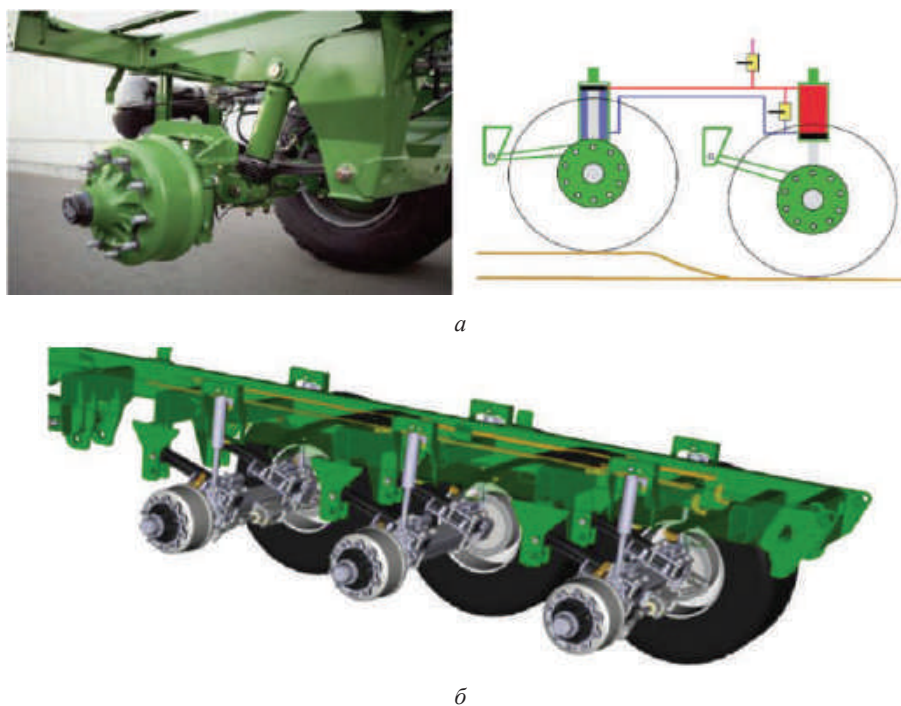


Рис. 3. Гидравлическая двухосная подвеска прицепов фирмы Krone (Германия) (а) и гидравлическая трехосная подвеска Hydro-Tridem прицепов фирмы Joskin (Бельгия) (б)

Функционирование этой подвески опирается на принцип сообщающихся сосудов. Цилиндры, расположенные с одной стороны, соединены между собой закрытой гидравлической системой. Независимые гидросистемы с двух сторон прицепа в сочетании со свойством несжимаемости масла обеспечивают высокую боковую устойчивость. Благодаря этому прицеп намного меньше накрывается на поворотах и на склонах, а нагрузка равномерно распределяется между колёсами.

Наиболее тяжелые условия для движения прицепов складываются при повороте. Уменьшению сопротивления движения способствует применение управляемых колес прицепов. Подруливающие оси прицепов (рис. 4) представляют собой важный узел для обеспечения безопасности, так как они направляют прицеп по линии движения трактора [3].

У двухосных прицепов с балансирной подвеской подруливающей является задняя ось, трехосные ходовые части тракторных прицепов комплектуются двойной системой подруливающих осей (первая и последняя оси), функционирующих в двух направлениях движения.

Прицепы фирмы Joskin с осями Hydro-Tandem и Hydro-Tridem могут быть укомплектованы системой автоматического возврата на уровень: эта система позволяет легко настраивать подвеску в конфигурации «дорога» после проезда, например, под мостом, в туннеле, после проведения технического обслуживания, для которых необходимо опустить ходовую часть до минимума.

Принудительный поворот подруливающих осей прицепов может быть реализован за счет электронной (рис. 4, а, б) или гидравлической системы управления (рис. 4, в). Гидравлическое управление осуществляется при помощи двух гидроцилиндров, установленных на дышле прицепа и соединяемых с трактором посредством тяги с быстроразъемным соединением.

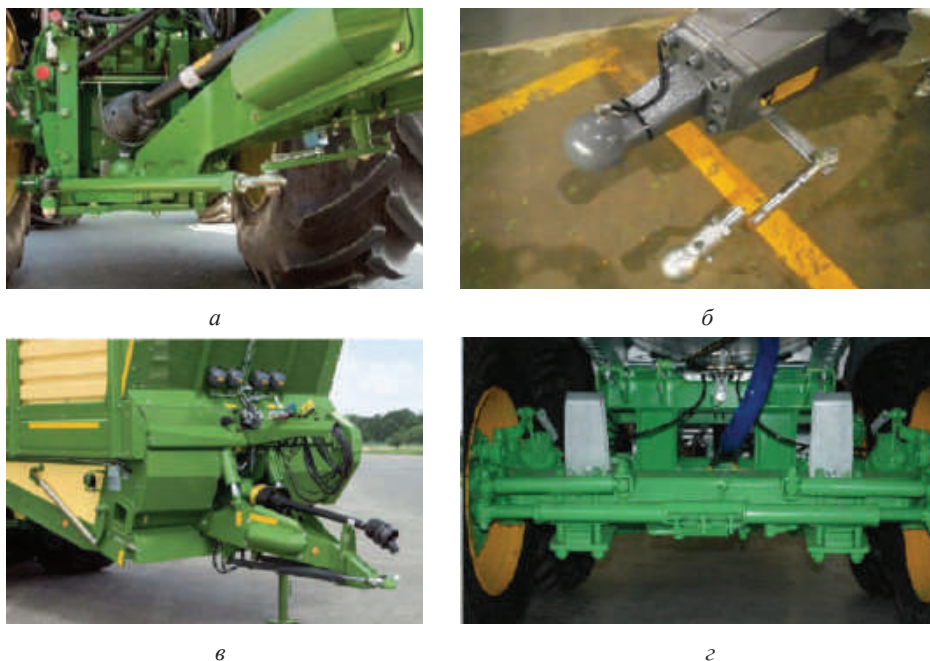


Рис. 4. Подруливающие оси и механизмы управления: *а, б* – механизмы электронного управления прицепов фирм Krone и Joskin; *в* – тягово-сцепное устройство прицепа Krone TX с гидравлическим принудительным управлением; *г* – подруливающая ось Hydro-Tandem и Hydro-Tridem прицепов фирмы Joskin

В системе осей с электронным управлением используются гидроцилиндры и тяги, прицепленные к трактору, но управление осуществляется при помощи мини-компьютера и датчика поворота дышла (рис. 4, *а, б*) [3, 4].

Система электронного принудительного управления «Force Control» от фирмы Fliegl Agrartechnik GmbH (Германия) измеряет радиус и угол поворота с помощью гироскопа. Значение угла поворота передается на датчики угла поворота, расположенные на оси, которые с помощью гидравлических цилиндров устанавливают поворотные оси под определенным углом. Благодаря такой конструкции с использованием электроники необходимость в весьма затратных тросовых и тяговых механизмах или в двухстороннем механико-гидравлическом управлении в точке приложения тягового усилия полностью отпадает. В отличие от других систем, подруливающие оси с электронным управлением корректируют угол поворота пропорционально скорости. Благодаря этому прицеп сохраняет устойчивость на дороге и поворачиваемость при совершении маневров.

Благодаря компактной навеске тяг механизма управления электронное принудительное управление предоставляет больше маневренности по сравнению с гидравлической системой. Пользуясь электронной системой, оператор может принимать активное участие в маневрировании, на склоне и в сложных ситуациях на краю траншейного силосохранилища, изменяя положение управляемых колес.

Эффективным способом повышения проходимости машинно-тракторных агрегатов с прицепами является применение активных приводных осей прицепов. Механический привод достаточно сложен, возникают проблемы кинематического соответствия.

Наиболее перспективной является система привода от электрогенератора (рис. 5) [5]. Ее КПД находится в пределах 65–75 %. Это значительно выше, чем у альтернативных систем. Например, гидравлическая система «Load Sensing Power Beyond» имеет КПД 25–55 %.

Совершенствование электропривода, электронных систем управления приводных осей прицепов, повышение бортового напряжения тракторов будут способствовать расширению применения приводных осей прицепов, снижению веса агрегируемых тракторов.

Предприятия Беларуси выпускают широкую гамму тракторных прицепов (табл. 2, 3, 4). Выпускаются также транспортно-технологические машины для внесения удобрений [6], транспортировки рулонов и др.



Рис. 5. Приводная ось «Power Drive Elect» фирмы Fliegl

Таблица 2. Характеристики тракторных прицепов грузоподъемностью 3,5–6 т производства ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»

Модель	ПСТ-3,5	2ПТС-4,5	2ПТС-6	ПСТ-6
Грузоподъемность, т	3,5	4,5	6,0	6,0
Вместимость кузова, м ³	4,0	4,7	4,7	7,0
Габаритные размеры, м	3,7×1,8×2,15	6,25×2,4×1,9	6,1×2,4×1,9	5,05×2,4×2,05
Масса, т	0,9	2,25	2,35	1,75
Агрегируется с трактором тягового класса	0,6	1,4	1,4	1,4
Количество осей	1	2	2	1
Подвеска	–	рессорная	рессорная	–
Размер шин	13,0/75-16HC8	13,0/75-16HC8	13,0/75-16HC10	16,5/70-18 HC10
Статический радиус шины, м	0,405	0,405	0,484	0,484
Давление в шине, МПа	0,240	0,240	0,37	0,37
Максимальная транспортная скорость, км/ч	25	25	25	25

Таблица 3. Характеристики тракторных прицепов грузоподъемностью 9,5–14 т производства ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»

Модель	ПСТ-9	ПСТЬ-12	ПСТЬ-17	ПС-60А
Грузоподъемность, т	9,5	12,0	17,0	14,0
Вместимость кузова, м ³	10,5	15,0	20,5	55
Габаритные размеры, м	6,0×2,5×2,35	7,5×2,5×2,75	10,0×2,5×2,75	10,6×3,2×3,9
Масса, т	3,4	4,5	6,3	6,6
Агрегируется с трактором тягового класса	1,4...2,0	2,0	5,0	5,0
Количество осей	2	2	3	2
Подвеска	балансирная тележка	балансирная тележка	балансирная тележка задних осей и рессорная подвеска передней оси	балансирная тележка
Размер шин	16,5/70-18HC10	16,5/70-18HC14	16,5/70-18HC14	24,0/50-22,5
Статический радиус шины, м	0,484	0,484	0,484	0,507
Давление в шине, МПа	0,37	0,37	0,37	0,20
Максимальная транспортная скорость, км/ч	25	25	25	25

Таблица 4. Характеристики тракторных прицепов

Производитель	ОАО «Орша-агропромаш»	ОАО «Лидаагро-промаш»	ОАО «Вороновская сельхозтехника»	ОАО «Березовский мотороремонтный завод»
Модель	2ПТС-5	2ПТС-14	ПСС-15	ПТС-36
Грузоподъемность, т	5,0	14,0	15,0	20,0
Вместимость кузова, м ³	5,6	22,0	35,0	36 рулонов 1,2×1,2 м
Габаритные размеры, м	6,0×2,54×1,79	5,8×2,55×2,8	8,52×2,50×3,7	11,7×3,0×1,5
Масса, т	1,8	4,0	8,7	4,5
Агрегатируется с трактором тягового класса	1,4	3,0	5,0	3,0...5,0
Количество осей	2	2	2	2
Подвеска	рессорная	рессорная	рессорная балансирная	балансирная тележка
Размер шин	13,0/75-16HC8	385/65R22,5	550/60R22,5	24,0/50-22,5
Статический радиус шины, м	0,405	0,51	0,542	0,507
Давление в шине, МПа	0,24	0,90	0,32	0,24
Максимальная транспортная скорость, км/ч	25	25	25	25

Анализ показывает, что наиболее широко применяются двухосная рессорная подвеска и балансирная тележка. У отдельных моделей оси подрессорены. Прицепы комплектуются в основном шинами с давлением воздуха 0,37 МПа. На некоторых прицепах используются шины с давлением воздуха 0,24 МПа. Отметим, что давление воздуха в шинах агрегируемых тракторов составляет 0,08–1,8 МПа. Косвенно по этому показателю можно судить, что уровень воздействия ходовых систем прицепов на почву [7] значительно выше, чем у тракторов. Рассмотренные выше прогрессивные решения не нашли применения на отечественных прицепах.

Заключение

Снижение уровня воздействия ходовых систем тракторных прицепов на почву обеспечивается увеличением количества осей, размеров шин, улучшением их деформационных свойств, применением активных приводных осей, совершенствованием подвесок. Последнее способствует улучшению плавности хода, устойчивости прицепов, снижению динамических нагрузок на агрегат и водителя.

Наиболее прогрессивными являются технические решения по применению рессорных балансирных подвесок, пневматических и гидравлических подвесок, подруливающих и активных приводных осей. Развитие электроники расширяет возможности этих технических решений. На отечественных тракторных прицепах широко применяется балансирная или рессорная подвеска, а также шины с давлением воздуха 0,24–0,37 МПа. Для улучшения эксплуатационных свойств транспортных машинно-тракторных агрегатов необходима доработка ходовых систем отечественных прицепов.

Список использованных источников

1. Гедроить, Г. И. Объемы работ и условия эксплуатации транспортных средств / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Агропанорама. – 2021. – № 3. – С. 2–7.
2. Гедроить, Г. И. Совершенствование ходовых систем транспортно-технологических сельскохозяйственных машин / Г. И. Гедроить [и др.] // Агропанорама. – 2020. – № 2. – С. 2–6.
3. Joskin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://joskin.com> – Дата доступа: 01.10.2022.
4. Krone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gruppe.krone.de> – Дата доступа: 02.10.2022.
5. Fliegl Agrartechnik [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fliegl-agrartechnik.de> – Дата доступа: 02.10.2022.
6. Гедроить, Г. И. Сопроотивление качению транспортно-технологических машин в дорожных условиях / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский, С. И. Оскирко // Агропанорама. – 2020. – № 6. – С. 6–9.
7. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86, введ. 01.01.1987. – Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 7 с.

Н. Ф. Капустин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npcter@yandex.ru

SWOT-АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ ПРОЕКТА ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ПОДСТИЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос применения новой, адаптированной к сельскохозяйственным условиям Республики Беларусь, экологически обоснованной технологии утилизации навоза КРС путем приготовления на его основе подстилочного материала. Для оценки ее эффективности был проведен соответствующий SWOT-анализ с рассмотрением сильных и слабых сторон проекта, а также дополнительных возможностей по достижению цели проекта и факторов, осложняющих достижение цели.

Ключевые слова: навоз крупного рогатого скота, подстилочный материал, SWOT-анализ.

N. F. Kapustin

RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npcter@yandex.ru

SWOT ANALYSIS OF PROJECT IMPLEMENTATION IN BELARUS FOR THE PREPARATION AND APPLICATION OF BEDDING MATERIAL BASED ON CATTLE MANURE

Abstract. The article considers the issue of applying a new, adapted to the agricultural conditions of the Republic of Belarus, environmentally sound technology for the utilization of cattle manure by preparing bedding material on its basis. To evaluate its effectiveness, an appropriate SWOT analysis was carried out with an assessment of the strengths and weaknesses of the project, as well as additional opportunities to achieve the project goal and factors that complicate the achievement of the goal.

Key words: cattle manure, bedding material, SWOT analysis.

Введение

Изменение структуры животноводческой отрасли, внедрение новых способов содержания животных и удаления навоза из животноводческих помещений ставит перед наукой и производством задачу разработки и внедрения новых, адаптированных к отечественным природно-климатическим условиям экологически безопасных и экономически обоснованных технологий утилизации навоза.

Одним из направлений получения вторичных продуктов из твердой фракции навоза крупного рогатого скота (КРС) может стать изготовление подстилки для животных с помощью биоферментационных установок. Навоз КРС содержит большое количество непереваренных растительных волокон, которые после соответствующей обработки могут быть использованы в качестве материала для подстилки [1].

Технология производства подстилки из навоза КРС впервые была апробирована в 1970 годах в хозяйствах западных районов США [2]. В последние 20 лет данная технология постепенно получает все большее распространение в Европе [3].

Подстилка предназначена для создания животным сухого и мягкого ложа, поглощения влаги. Предпочтение отдают таким подстилочным материалам, которые обладают высокими влагопоглощительными свойствами, большой гигроскопичностью, теплоемкостью и малой теплопроводностью. Подстилка не должна быть поражена плесневыми грибами, должна не пылить, иметь

оптимальное санитарно-гигиеническое состояние, отличающееся практическим отсутствием микроорганизмов и бактерий, вызывающих инфекционный мастит и воспаление вымени.

Применяемые на практике материалы для подстилки имеют различные свойства, которые в большей или меньшей степени способствуют размножению микроорганизмов. Органическая подстилка, например из соломы или древесных опилок, благодаря наличию в ней достаточного количества питательных веществ, создает благоприятные условия для развития возбудителей инфекции, что вызывает различные заболевания. Солома травмирует вымя коровы, а также плохо абсорбирует влагу и усложняет процесс навозоудаления. Кроме того, подстилочные материалы на основе соломы составляют значительную часть общих расходов на содержание фермы. Например, стоимость соломы пригодного качества (свободной от сорных трав, не затхлой, не заплесневевшей или заржавленной) постоянно растет. В то же время использование подстилки из переработанной твердой фракции навоза КРС минимизирует риск появления мастита вымени, так как вся микрофлора, содержащаяся в подстилке, является «родной» для коровы.

Для оценки технологии приготовления и применения подстилочного материала на основе навоза КРС в сельскохозяйственном производстве Беларуси был проведен соответствующий SWOT-анализ проекта с точки зрения его эффективности.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являются технология приготовления и необходимое для ее осуществления оборудование, а также применение подстилочного материала на основе навоза КРС. В качестве метода исследований использовался SWOT-анализ реализации проекта.

Результаты исследований

Технология приготовления подстилочного материала на основе навоза КРС заключается в выделении его твердой фракции и ее дальнейшем подсушивании. В качестве оборудования для реализации технологии используются сепаратор и ротационная барабанная сушилка. С целью снижения энергопотребления при подсушивании сепарированного навоза КРС используется принцип его самосогревания с выделением тепла в ходе аэробного процесса при подаче воздуха через досушиваемый материал.

SWOT-анализ проекта по реализации в Беларуси технологии приготовления и применения подстилочного материала на основе навоза КРС начинался с составления матрицы SWOT-анализа, классический вид которой представлен в таблице.

Матрица SWOT-анализа

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
Внутренняя среда	Strengths (сильные стороны проекта) Свойства проекта, дающие преимущества перед другими	Weaknesses (слабые стороны проекта) Свойства, ослабляющие проект
Внешняя среда	Opportunities (возможности) Внешние факторы, дающие дополнительные возможности по достижению цели	Treats (угрозы) Внешние факторы, осложняющие достижение цели

Изучение возможности реализации проекта приготовления и применения подстилочного материала на основе навоза КРС в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь позволило конкретизировать SWOT элементы матрицы следующим образом.

Сильные стороны проекта (Strengths)

1. Потенциал животноводческой отрасли Беларуси для приготовления подстилочного материала на основе навоза КРС ежегодно составляет 15 млн тонн. Реалистичный потенциал использования навоза КРС оценивается в 5 млн тонн ежегодно с приготовлением на его основе 1,5 млн тонн подстилочного материала.

2. Замкнутый цикл использования навоза КРС в процессе приготовления на его основе подстилочного материала способствует улучшению экологической обстановки внутри и вне животноводческих помещений по сравнению с технологией содержания КРС на соломенной подстилке.

3. По данным сельскохозяйственной Палаты земли Северный Рейн-Вестфалия, при приготовлении подстилки на основе навоза КРС уровень фекальных бактерий снижается с 950 000 до 7 MPN/g, энтерококков – с 450 000 до менее 300 MPN/g. Уровень стрептококков снижается с 5 850 000 КОЕ/г до 2500 КОЕ/г.

Слабые стороны проекта (**Weaknesses**)

1. Отсутствуют исследования влагопоглощительных свойств, гигроскопичности, теплоемкости, теплопроводности и санитарно-гигиенического состояния подстилочного материала, полученного на основе навоза КРС животноводческих ферм Беларуси.

2. В настоящее время отечественные сельхозпроизводители практически не информированы об эффективности технологии приготовления и применения подстилочного материала на основе навоза КРС.

Возможности проекта (**Opportunities**)

1. Ежегодное приготовление и использование подстилочного материала на основе навоза КРС позволит отказаться от применения 1 млн тонн соломы для целей подстилки.

2. Техничко-технологические результаты, полученные в ходе выполнения проекта, можно экспортировать в ближнее зарубежье.

3. Использование технологий и оборудования для приготовления подстилочного материала на основе навоза КРС сельхозпроизводителями Беларуси может быть обеспечено за счет административного регулирования и финансовых стимулов.

Угрозы (риски) для проекта (**Threats**)

1. Для реализации в Беларуси реалистического потенциала технологии приготовления подстилочного материала на основе навоза КРС потребуется около 285 комплектов оборудования общей стоимостью около 43 млн у. е.

2. Высокая банковская кредитная ставка сдерживает реализацию рассматриваемого инновационного проекта.

3. Консервативное отношение некоторых сельхозпроизводителей Беларуси к инновациям.

Заключение

1. Перед наукой и производством стоит задача разработки и внедрения новых, адаптированных к отечественным условиям, экологически безопасных и экономически эффективных технологий утилизации навоза.

2. Одним из направлений получения вторичных продуктов из твердой фракции навоза КРС может стать изготовление подстилки для животных с помощью биоферментационных установок.

3. Проведенный SWOT-анализ проекта приготовления и применения подстилочного материала на основе навоза КРС отражает его сильные и слабые стороны, а также возможности для достижения цели и угрозы, осложняющие достижение цели.

4. Сильные стороны проекта заключаются в возможности ежегодного реалистического использования в Беларуси около 5 млн тонн навоза КРС для производства на его основе высококачественного подстилочного материала в количестве около 1,5 млн тонн. Замкнутый цикл использования навоза КРС в процессе приготовления на его основе подстилочного материала способствует улучшению экологической обстановки внутри и вне животноводческих помещений по сравнению с технологией содержания КРС на соломенной подстилке. Проект позволяет в значительной мере улучшить санитарно-гигиеническое состояние нового подстилочного материала.

5. Слабые стороны проекта заключаются в отсутствии исследования влагопоглощительных свойств, гигроскопичности, теплоемкости, теплопроводности и санитарно-гигиенических свойств

подстилочного материала, полученного на основе навоза КРС животноводческих ферм Беларуси. Кроме этого, отечественные сельхозпроизводители практически не информированы об эффективности технологии приготовления и применения подстилочного материала на основе навоза КРС.

6. Реализация проекта позволяет отказаться от ежегодного применения не менее 1 млн тонн соломы для целей подстилки.

7. Проект имеет экспортный потенциал по реализации технологии и оборудования для приготовления подстилочного материала на основе навоза КРС в ближнее зарубежье.

8. Риски по реализации проекта в Беларуси состоят в необходимости инвестировать около 43 млн у. е. при высокой банковской кредитной ставке, а также в консервативном отношении сельхозпроизводителей Беларуси к инновациям.

Список использованных источников

1. Menear J. R. Dairy-cattae manure liquid – solid separation with a screw press / J.R. Menear, L.W. Swith// Journal of animal Science. – 1973. – Vol. 36. – P. 788–791.

2. Keys J.E, Response of dairy cattle given a free choice of free stall location and 3 bedding materials/ J.E. Keys, L.W. Smith, B.T. Weinland// Journal of Dairy Science. – 1976. – Vol.59. – P. 1157–1162/

3. Feiken M. Recycled manure solids as biobedding in cubicles for dairy cattle. Considerations and tips for practice [Электронный ресурс]/ M. Feiken, W. van Laarhoven. – Режим доступа: <http://www.keydollar.eu/wp-content/uploads/2014/09/Biobedding-English-version.pdf>. – Дата доступа: 31.07.2016.

УДК 631.348.45

Поступила в редакцию 31.10.2022
Received 31.10.2022

В. К. Клыбик, И. С. Пылило

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

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ УЛЬТРАМАЛООБЪЕМНОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ РАСТВОРОВ

Аннотация. Обоснованы конструктивно-технологические параметры и режимы работы вращающихся распылителей для внесения жидких растворов.

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

V. K. Klybik, I. S. Pylilo

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

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF ROTATING SPRAYERS FOR ULTRA-LOW VOLUME APPLICATION OF LIQUID SOLUTIONS

Abstract. The design and technological parameters and operating modes of rotating sprayers for the introduction of liquid solutions are substantiated.

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, которым соответствует наибольший биологический эффект. Таким образом, 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

Вращающийся распылитель (рис. 1) позволяет формировать необходимые для конкретной задачи размеры капель по технологии ультрамалообъемного опрыскивания, таким образом экономится значительное количество препарата по сравнению с серийными распылителями, устанавливаемыми на штангах опрыскивателя. Уменьшение количества пестицидов, вносимых на единицу площади поля, также способствует снижению риска загрязнения окружающей среды.

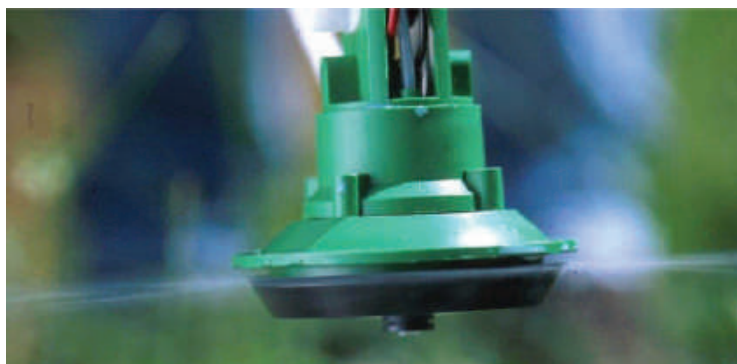


Рис. 1. Вращающийся распылитель

Привод распылителя осуществляется от аккумуляторной батареи энергетического средства. Конструкция вращающейся части диска обеспечивает качественное дробление жидкости в широком диапазоне угловых скоростей. Выбирая скорость вращения диска, можно сформировать капли различного диаметра для решения конкретных задач.

Согласно агротребованиям, предъявляемым к ультрамалообъемному опрыскиванию, диаметр капель жидкости должен составлять от 50 до 200 мкм для качественного покрытия листовой поверхности [2]. Для определения диаметра капель используется формула [3]:

$$d = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{R\rho_{ж}}}, \quad (1)$$

где: $c \approx 2,9$ – константа; ω – угловая скорость рабочего элемента распылителя, рад/с; σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; R – радиус рабочего элемента, мм; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, г/см³.

Из данного выражения видно, что на степень дробления жидкости при работе вращающегося распылителя влияют его конструктивные и режимные параметры – радиус и число оборотов ра-

бочего элемента. Они могут быть определены по формуле (1) с учётом агротребований, предъявляемых к малообъёмному опрыскиванию. Таким образом, радиус рабочего элемента равняется:

$$R = \frac{\sigma \cdot (C / \omega)^2}{d^2 \cdot \rho_{жс}}. \quad (2)$$

Далее, вычислив значение данного показателя, при котором будет обеспечиваться необходимая дисперсность дробления, можно определить нужную угловую скорость рабочего элемента распылителя:

$$\omega = \frac{C \sqrt{\sigma / (R \cdot \rho_{жс})}}{d}. \quad (3)$$

Так как угловая скорость равна

$$\omega = 2\pi \cdot n, \quad (4)$$

где n – число оборотов тарелки распылителя, об/мин., следовательно,

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{C \sqrt{\sigma / R \rho_{жс}}}{2\pi d}. \quad (5)$$

На основании расчётов, произведённых по формулам (2) и (5), строятся аналитические графики: зависимости диаметра образующихся капель от радиуса R вращающейся тарелки (рис. 2) и от числа оборотов вращающейся тарелки n (рис. 3).

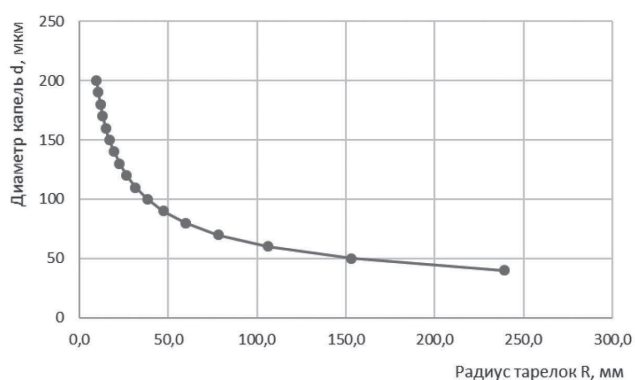


Рис. 2. График зависимости диаметра образующихся капель d от радиуса R вращающейся тарелки

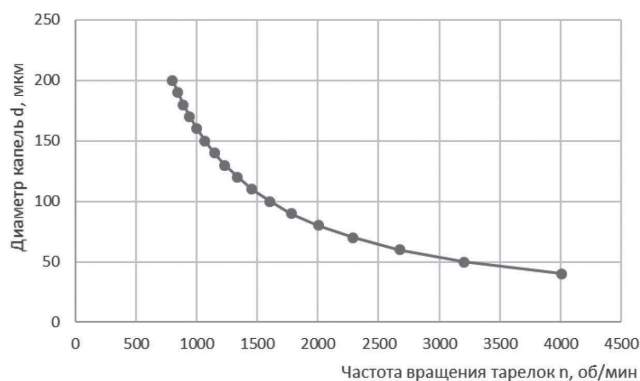


Рис. 3. График зависимость диаметра образующихся капель d от числа оборотов вращающейся тарелки n

Анализ графической зависимости, представленной на рис. 2, показал, что при варьировании радиуса тарелки распылителя R от 40 до 60 мм диаметр образующихся капель изменяется в диа-

пазоне от 80 до 100 мкм. Из этого можно сделать вывод, что получение капель, имеющих размер, удовлетворяющий агротребованиям для ультрамалообъемного опрыскивания (от 40 до 200 мкм), обеспечивается при применении тарелок радиусом 60 мм.

Из представленного на рис. 3 графика видно, что из всего диапазона значений размера капель, допустимых для ультрамалообъемного опрыскивания, наименьшее из них, 40 мкм, обеспечивается при вращении распыливающей тарелки радиусом 60 мм с частотой около 4000 об/мин.

По утверждению учёных, занимавшихся вопросами аэродинамики, а именно П.И. Дурнова, степень воздействия воздушного потока на лопасти крыльчатки зависит от их угла атаки β . Следовательно, под влиянием этого параметра изменяется и частота вращения n распылителя.

Из всего вышесказанного следует, что для передачи крыльчатке крутящего момента, необходимого для обеспечения требуемого числа оборотов, нужно создать соответствующий напор воздушного потока. Для этого надо затратить определённую мощность. Её значение вычисляется по формуле

$$N = h \cdot Q, \quad (6)$$

где h – напор вентилятора, м³/с; Q – расход воздуха, м³/с.

От этой величины зависит значение момента качества движения массы воздуха $M = \frac{P}{\omega}$, который используется при определении окружной составляющей скорости воздушного потока:

$$C = \frac{M}{mR_L}, \quad (7)$$

где M – момент качества движения массы, Н·м²; m – модуль (теоретическая длина пути, пройденная воздухом при повороте крыльчатки с лопастями на 1 радиан), мм; R_L – радиус крыльчатки с лопастями, мм.

Согласно теории П. И. Дурнова, существует связь между окружной составляющей скорости воздуха C_u и углом атаки β лопастей крыльчатки:

$$C_u = C_a \cdot \text{ctg}\beta. \quad (8)$$

Здесь C_a – осевая скорость крыльчатки, которая также может быть определена, исходя из расхода воздуха Q и площади выходного сечения горловины воздуховода A :

$$C_a = \frac{Q_T}{A}, \quad (9)$$

где $Q_T = 16 \times \pi^2 \times R_L^2 \times 3 \times n$; $A = \pi \times R_L^2$.

Причём частота вращения распылителя n равна частоте вращения тарелок n_T .

Отсюда:

$$C_a = \frac{16 \cdot \pi^2 R_L^2 \cdot n}{\pi^2 R_L^2} = 16\pi n. \quad (10)$$

Подставив выражения осевой скорости C_a и её окружной составляющей C в формулу (8), получим значение угла атаки β лопастей крыльчатки:

$$\text{ctg}\beta = \frac{C_a}{C_u} = \frac{16\pi n}{M / (mR_L)} = \frac{16\pi n}{M / \left(\frac{C_a}{\omega} R_L \right)} = \frac{16\pi n}{\frac{P}{\omega} / \left(\frac{C_a}{\omega} R_L \right)} = \frac{16\pi n}{P / (C_a R_L)} = \frac{16\pi n C_a R_L}{P}. \quad (11)$$

На основании полученных данных строится график зависимости частоты вращения крыльчатки n от угла атаки лопастей β (рис. 4), из которого видно, что частота вращения крыльчатки для получения необходимой степени дробления жидкости, требуемой при малообъемном опрыскивании, обеспечивается при угле атаки лопастей $\beta=40^\circ$ и, соответственно, при ультрамалообъемном – $\beta=20^\circ$.

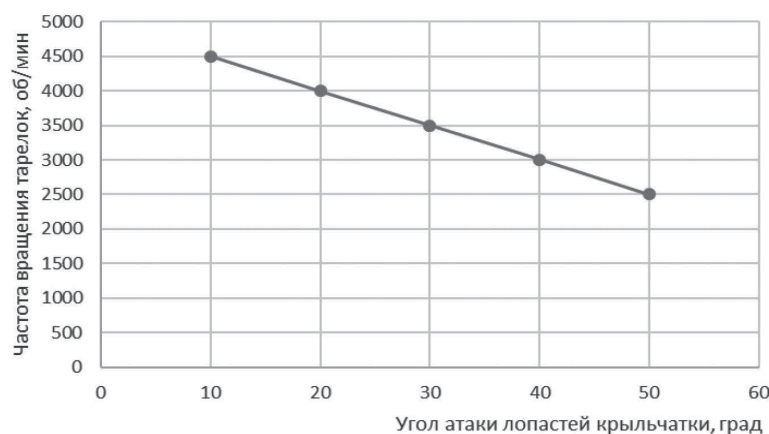


Рис. 4. График зависимости частоты вращения тарелок n от угла атаки лопастей β

Исходя из полученного выражения формулы (11), зная угол атаки β лопастей крыльчатки, можно определить мощность, затрачиваемую на её привод:

$$P = \frac{256 \times \pi^2 \times n^2 \times R_{Л}}{\operatorname{ctg}\beta}, \quad (12)$$

где 256 – переводной коэффициент.

Вращающийся распылитель позволяет формировать необходимые для конкретной задачи размеры капель по технологии ультрамалообъемного опрыскивания, таким образом экономится значительное количество препарата по сравнению с серийными распылителями, устанавливаемыми на штангах опрыскивателя. Уменьшение количества пестицидов, вносимых на единицу площади поля, также способствует снижению риска загрязнения окружающей среды.

Для борьбы с сорняками и болезнями растений: частота вращения диска устанавливается в диапазоне от 500 до 2000 об/мин, что позволяет формировать капли размером от 200 до 300 мкм, диапазон доз внесения от 30 до 60 л/га; при частоте вращения диска в диапазоне от 150 до 1000 об/мин формируются капли размером от 100 до 200 мкм, диапазон доз внесения – от 10 до 30 л/га.

Для борьбы с вредителями: частота вращения диска устанавливается в диапазоне от 50 до 500 об/мин, что позволяет формировать капли размером от 75 до 150 мкм, диапазон доз внесения от 10 до 20 л/га.

Заключение

Из представленных выше теоретических предпосылок можно сделать вывод о существенном влиянии на стабильность протекания технологического процесса дробления жидкости вращающимся распылителем его конструктивных и режимных параметров, а именно радиуса и числа оборотов рабочего элемента.

Анализ графической зависимости показал, что при варьировании радиуса тарелки распылителя R от 40 до 60 мм диаметр образующихся капель изменяется в диапазоне от 100 до 80 мкм. Для получения капель, имеющих размер, удовлетворяющий агротребованиям для ультрамалообъемного опрыскивания (от 40 до 200 мкм), необходимо использовать тарелки радиусом 60 мм.

Из всего диапазона значений размеров капель, допустимых для ультрамалообъемного опрыскивания, наименьшее из них, 40 мкм, обеспечивается при вращении распыливающей тарелки радиусом 60 мм с частотой около 4000 об/мин.

Список использованных источников

1. Беспилотники в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] // Российские беспилотники. Russian Drones. – Режим доступа: <https://russiadrone.ru/publications/bespilotniki-v-selskomkhozyaystve>. – Дата доступа: 24.09.2020.

2. Каверзнева, Г. Об ограниченном применении ультрамалообъемного опрыскивания пестицидами в США / Г. Каверзнева // Защита растений от вредителей и болезней, серия 16. – 1979. – № 8. – С. 55.

3. Лаврентьев, М. А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: ФизМатГиз, 1973. – 416 с.

УДК 631.171:637.11

Поступила в редакцию 01.11.2022

Received 01.11.2022

И. И. Гируцкий¹, С. И. Немирович¹, В. К. Клыбик²

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Nemirovich_S_I@mail.ru

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Аннотация. В статье приведено сравнение доильных залов с доильным роботом, а также сделана оценка их экономической эффективности для Республики Беларусь.

Ключевые слова: доильный робот, оценка, коровы, карусель, елочка, тандем, параллель.

I. I. Girutsky¹, S. I. Nemirovich¹, V. K. Klybik²

¹ EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: Nemirovich_S_I@mail.ru

² RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MILKING ROBOTS

Abstract. The article presents a comparison of milking parlors with a milking robot, as well as an assessment of their economic efficiency for the Republic of Belarus.

Keywords: milking robots, evaluation, cows, carousel, herringbone, tandem, parallel.

Введение

Беспривязное содержание коров и компьютеризированные системы управления стали основой развития молочного скотоводства Республики Беларусь. Притом особую важность приобретает вопрос выбора доильного оборудования, основанного на максимально объективном анализе, без рекламных предложений фирм-производителей. В настоящее время не только в странах с высококоразвитым молочным скотоводством (Нидерланды, Германия и др.), но и в России и Беларуси высокими темпами внедряются доильные роботы (automatic milking system, AMS). Использование роботов для доения коров способствует возникновению практически новой технологии, основная суть которой заключается в самообслуживании животного [1]. Доильная робототехника применяется в малых, средних и крупных по численности персонала организациях, в отличие от Западной Европы, где она в основном используется на фермах семейного типа. Появление доильных роботов на молочно-товарных фермах является результатом многолетних исследований зарубежных фирм по замене высокооплачиваемых операторов машинного доения (с годовой зарплатой 24–36 тыс. долл.) программно-техническими средствами. Так исследования показали экономию затрат физического труда при роботизированном доении от 30 % до 40 % по сравнению с обычными системами доения [2].

В настоящее время в мире установлены десятки тысяч доильных роботов, оценка объемов этого рынка составляет порядка \$1.9 млрд. Как ожидается, в 2023 году объем рынка установленных роботизированных установок для доения вырастет до \$8 млрд [3]. В Беларуси многие хозяйства также приобрели доильные роботы, и накоплен определенный опыт их эксплуатации. Роботы имеют серьезный минус – они дорого стоят, начальные инвестиции и их сервисное обслуживание по сравнению с доильным залом существенно выше. Среди социальных причин использования роботов доминирует стремление снизить кадровые риски и дефицит кадров. Среди экономических причин – в первую очередь возможность увеличения продуктивности коров за счет увеличения кратности доения и улучшение качества молока и сохранение здоровья животных. Если в условиях развитых стран доильные роботы окупаются уже за счет сокращения высокооплачиваемого персонала, то для Беларуси важно выявить и проанализировать положительные технологические факторы внедрения роботизации. Поэтому актуальной задачей является разработка многопараметрической модели сравнительной оценки эффективности доильных роботов и доильных залов. Методика такого анализа предполагает определение существенных факторов влияния на доение, связанных с внедрением роботов, и их достоверную оценку.

Основная часть

В настоящее время молочно-товарные комплексы Республики Беларусь оснащаются доильными залами и роботами разных конструкций и производителей.

Доильный зал «Параллель» предназначен для автоматизированного доения стада на крупных фермах и поставляется в различных вариантах технического оснащения с количеством мест доения от 2×4 до 2×24, а при необходимости и большим количеством доильных мест.

Доильные залы «Елочка» – классический вариант залов доения для современного молочного хозяйства, в течение десятилетий доказывающий свою прочность и эффективность благодаря преимуществам индивидуального оснащения доильного места и отличной пропускной способности. Пропускная способность доильного зала «Елочка» зависит от времени доения коровы, которое обычно составляет от 7 до 15 минут, из этого производительность одного места будет 4–8 коров в час. Оператору, как и в доильном зале «Параллель», приходится подходить к каждой корове и надевать доильные стаканы.

Доильный зал «Карусель», предназначенный для автоматизированного доения стада, который может обслуживать от 180 до 600 голов в час. Количество доильных мест от 30 до 100. Для обслуживания доильного зала необходимо минимум 2 человека. Для повышения пропускной способности установки для доильного зала «Карусель» необходимо подбирать коров с равным временем доения. С этим хорошо справляется интеллектуальное управление по подбору коров. Средняя производительность – одно место обслуживает 6 коров. Преимуществом доильного зала «Карусель» является то, что оператор, надевающий доильные стаканы на вымя коровы, стоит на месте и к нему поочередно подъезжают коровы.

Использование роботов для доения коров способствует возникновению практически новой технологии, основная суть которой заключается в самообслуживании животного. Она оставляет корове право на свободу выбора срока и частоты посещений доильного бокса. Исследования показывают, что животные достаточно быстро привыкают к доению роботом и самостоятельно посещают доильный бокс. За первые 7–10 дней 70 % коров самостоятельно начинают доиться роботом. При этом увеличивается частота доений животных (у высокопродуктивных коров — до четырех и более раз в сутки), что благотворно сказывается на здоровье вымени и способствует повышению продуктивности до 15 %. [1]. Необходимо учитывать сложность проведения подобных хозяйственных опытов. Кроме того, и в доильных залах реализуется трехразовое доение. Также робот работает круглосуточно, что позволяет коровам самим решать, в какое время они хотят доиться. После доения каждой коровы цепь доения полностью стерилизуется, что приводит к повышению качества молока. Практически во всех роботах реализуется доение и определение мастита по четвертям. Это обеспечивает раннее диагностирование проблемной четверти вымени коровы, при этом утилизируется только часть молока, а не весь разовый надой.

Четкое выполнение всех необходимых операций с соблюдением санитарных норм в подготовительный период и во время дойки, отсутствие травм и воспалений вымени позволяют сохранить

качество молока практически на уровне естественной микрофлоры. На фермах, где установлены роботы, обстановка более спокойная, достигается самый высокий уровень комфорта для коров, что также способствует росту продуктивности.

Не всех коров можно доить роботами. Некоторые животные (5–10 %), несмотря на тренировку, не приходят на доение. Кроме того, неправильно или плохо развитое вымя и искривленные соски приводят к тому, что устройство не может надеть на них доильные стаканы. Правда, уже существуют и такие роботы, которые надевают доильные стаканы на соски даже с отклонением 45 %. Главным препятствием их широкого применения являются значительные затраты на приобретение и сервисное обслуживание. И, например, в СПК «Снов» специалисты планируют отказаться от использования доильных роботов после их амортизации.

Сложность сравнительной оценки доильного оборудования заключается в зависимости его эффективности от многих факторов. Поэтому, на наш взгляд, компьютерное моделирование может стать полезным инструментом для обоснованного выбора доильного оборудования для конкретного производства. Исходя из анализа литературы и практического опыта примем следующие базовые параметры [4, 5] при создании компьютерной модели оценки эффективности доильного оборудования.

Рассчитаем общую стоимость установок:

$$K = BC + k \cdot C_k,$$

где K – капиталовложения, руб., BC – базовая стоимость установки, руб., k – количество коров, шт., C_k – цена одной коровы, руб.

Цена доильного робота по данным производителя составила 406 000 руб., а одного места доильного зала «Елочка» – 28600 руб.

Исходя из сложившейся практики в животноводстве, число лактаций примерно составляет 2,5 раза. Поскольку программа не предусматривает собственное разведение коров, при сравнительном расчёте необходимо предусмотреть закупку партии новых коров.

Учитывая особенности робота, имеющего 2 доильных места, при котором каждое доильное место максимум может обслужить 100 коров, принимаем стадо 200 голов, поскольку можно сравнивать только схожие объекты при равных условиях. Цена коровы принималась средней из обзора рынка стоимости коров, к коровам для робота были повышенные требования, что сказалось на средней цене. Она составила 1100 руб., а закупочная цена для доильных залов составила 1000 руб.

Подставляем данные в формулу капиталовложений, и получаем, что стоимость робота с коровами составила 480600 руб., а доильного зала «Елочка» – 466800 руб. В этой стоимости учтена повторная покупка коров.

Из данных по обслуживанию взято значение отчислений за сервисное обслуживание доильных установок, и она составила 4% от стоимости установки.

$$C_o = C \cdot 0,04,$$

где C – цена робота; C_o – сервисное обслуживание.

Сервисное обслуживание робота составило 16240 руб., а доильного зала 1072 руб.

Амортизационные отчисления, исходя из норм Республики Беларусь по доильным установкам, составляют 11% от капиталовложений.

$$A = K \cdot 0,11.$$

Амортизационные отчисления составили для доильного робота 93060 руб., а для доильной установки 51348 руб.

После обзора предприятий, где уже имеются доильные роботы и доильные залы, количество доений в сутки для робота составило 2,8, а в доильных залах 2 раза, и количество дней доения в год составляет 304. Молокоотдача с одной коровы составляет ориентировочно для доения роботом 20 л/день, а для доильного зала составило примерно 19 л/день.

Количество молока, которое будут давать коровы, рассчитаем по следующей формуле:

$$M = k \cdot m \cdot T,$$

где M – количество молока в год; k – количество коров; m – количество молока в день; T – количество дней доения в году.

Для доильного робота количество составило 1216 т/год, а для доильного зала – 1155 т/год.

Стоимость 1 кг комбикорма составила 0,6 руб., подогрев воды – 1,74 руб./м³.

Затраты на корма:

$$Z_k = \frac{M \cdot ЧЕЛ}{ЭО} \cdot C_k \cdot k \cdot d,$$

где $ЧЕЛ$ – продуктивность, МДж/кг; $ЭО$ – содержание ЭО в 1 кг комбикорма, МДж/кг; C_k – стоимость 1 кг комбикорма, руб.; $k \cdot d$ – доля комбикорма в стоимости рациона.

Для обслуживания стада в 200 голов для робота затраты на корма составили 664 тыс. руб., а для доильного зала – 634 тыс. руб.

Для расчета санитарной обработки применялись следующие стоимостные показатели: стоимость моющих средств – 2 руб., стоимость подогрева воды 1,74 руб./м³.

Затраты на санобработку:

$$Z_c = (P_g \cdot C_m \cdot K_g \cdot 0,01 + P_g \cdot C_{ng} / 1000) \cdot k,$$

где P_g – расходы воды на 1 корову, л; C_m – стоимость моющих веществ, руб.; K_g – концентрация веществ в растворе; C_{ng} – стоимость подогрева воды, руб./м³.

Для робота затраты на санитарную обработку составили 1365 руб., а для доильного зала 1638 руб.

Затраты на техобслуживание:

$$Z_{mo} = k \cdot ЭЭ \cdot k_m,$$

где $ЭЭ$ – расходы электроэнергии на 1 корову, кВт·ч; k_m – коэффициент затрат на техобслуживание.

Для робота затраты на техобслуживание – 5665 руб., а для доильного зала – 2654 руб.

Заработная плата рабочим зависит только от количества выдаиваемого молока. Но заработная плата в этом случае для оператора, управляющего роботом, уменьшится в 8 раз, т. к. он должен следить за 8 роботами:

$$ЗП = (M / 100 \cdot 0,7).$$

Для робота заработная плата 1 работника составила 10,5 тыс. руб./год, а для доильного зала – 25 тыс. руб./год.

Общие расходы:

$$P = ЗП + Z_{mo} + Z_c + Z_k + A + C_o.$$

Для робота общие расходы составили 768 тыс. руб./год, а для доильного зала – 667 тыс. руб./год.

Доход от продажи молока:

$$D = (P \cdot C_m),$$

где C_m – стоимость молока 0,85 руб./л для робота и 0,8 руб./л для доильного зала.

Цена молока качества «Люкс» составляет 0,85 руб./л, а «Экстра» – 0,8 руб. Молоко, полученное с помощью робота, отличается меньшим количеством бактерий на 1 литр. Робот проводит качественную очистку вымени перед доением и после доения, а также обрабатывает стаканы паром при каждом использовании. Из-за этого количество микроорганизмов в молоке уменьшается, и молоко получается более высокого качества по сравнению с доильным залом, где эта функция выполняется человеком. Также уменьшается количество маститных коров и предотвращается распространение болезней по коровнику. Доильный робот анализируют полученное молоко, и, если оно не подходит по критериям, сливает в отдельную емкость.

Для робота доход составил 10334 тыс. руб. в год, а для доильного зала – 924 тыс. руб. в год.
Чистая прибыль:

$$ЧП = P - Д.$$

Для робота чистая прибыль составила 242 тыс. руб. в год, а для доильного зала 208 тыс. руб. в год.

Срок окупаемости:

$$T_o = K / ЧП.$$

Для доильного робота срок окупаемости составил 3,5 года, а для доильного зала 2,2 года.

Для наглядного сравнения роботов и доильных залов была построена компьютерная модель с использованием электронных таблиц (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент многопараметрической компьютерной модели сравнительной оценки доильных залов и роботов

	робот	«Елочка»	«Тандем»	«Карусель»	«Параллель»
Требуемые первоначальные вложения, бел. руб.	846000	466800	453400	476180	472160
Стоимость установки, бел. руб.	406000	26800	13400	36180	32160
Количество доильных мест	2	2×14	2×4	16	2×14
Количество операторов, чел	1	2	3	2	2
Потребление электроэнергии на 1 корову в год, кВт/ч	111	52	67	78	54
Среднее время доения одной коровы, мин	12	10	10	10	10
Число доений, раз в день	2–3	2	2	2	2
Расход воды на корову, л/год	1825	2190	2340	2200	2200
Стресс при дойке		есть	есть	есть	есть
Затраты на санитарную обработку, бел. руб.	1365,1	1638,12	1750,32	1645,6	1645,6
Амортизация, бел. руб.	93060	51348	49874	52379,8	51937,6
Затраты на обслуживание одной коров, бел. руб.	5665,44	2654,08	3419,68	3981,12	2756,16
Сервисное обслуживание, бел. руб.	16240	1072	536	1447,2	1286,4
Количество молока в год, л	1216000	1155200	1155200	1155200	1155200
Затраты на обслуживание установки в год, бел. руб.	791130	715712	714580	718453	716625
Стоимость молока, бел. руб./год	1033600	924160	1039680	1039680	1039680
Чистая прибыль, бел. руб./год	242469	208447	325100	321226	323054

Существенное влияние на срок окупаемости доильного оборудования оказывает цена молока (рис. 1). Но для европейских государств на срок окупаемости также влияет заработная плата рабочих.

Из графика следует, что в нынешних условиях срок окупаемости доильных залов примерно в 1,6 раза ниже, чем доильных роботов.

По данным ведущих белорусских и российских ученых, одним из основных ключевых факторов, влияющих на эффективность производства молока, является продолжительность продуктивной жизни животных. Для Беларуси продолжительность продуктивной жизни составляет в среднем 2,5–2,8 лактации.

Имеются литературные данные, что роботизированное доение увеличивает продолжительность продуктивной жизни животных до 3,8–4 лактации. Поэтому в рамках разработанной компьютерной модели исследовано влияние числа лактаций дойных коров на срок окупаемости доильного оборудования (рис. 2).

Доильные роботы снижают уровень стресса животных и могут получить дополнительную прибыль, благодаря соблюдению технологии улучшается здоровье животных. Но для подтверждения этого требуется проведение многолетних исследований в условия действующих молочно-товарных комплексов.

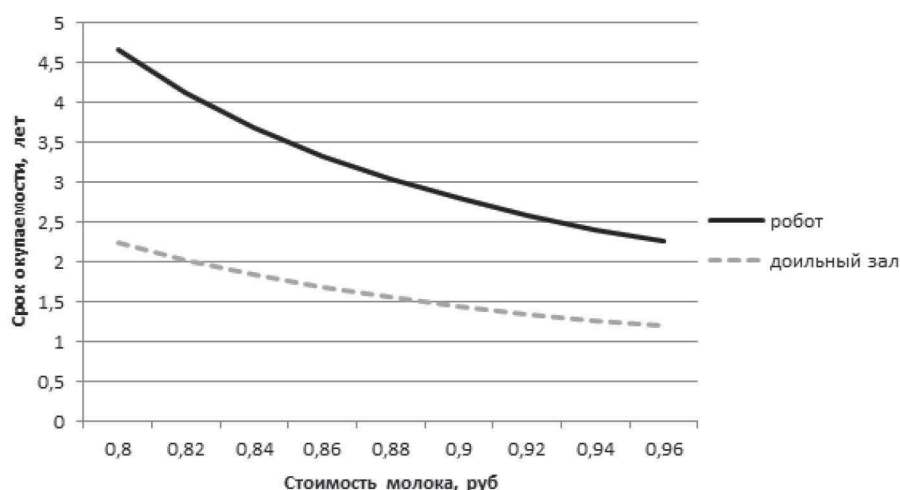


Рис 1. Зависимость срока окупаемости доильного робота и зала от цены на молоко

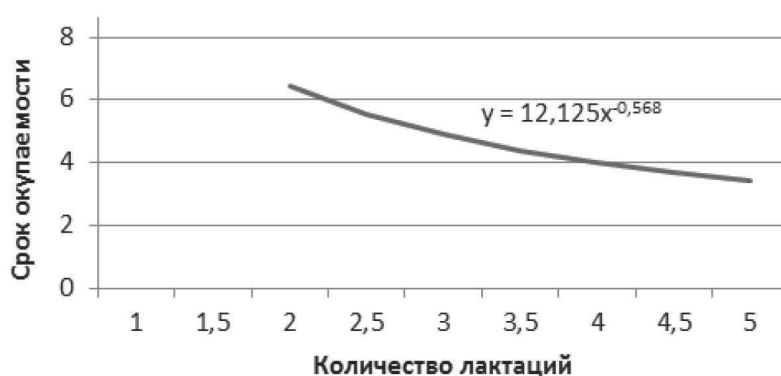


Рис 2. Зависимость срока окупаемости доильного робота от продолжительности использования коровы

Заключение

В качестве положительной стороны доильного робота следует отметить, что доильное место работает круглосуточно, благодаря чему обеспечивается обслуживание в 2–3 раза больше коров в сравнении с одним местом доильного зала. Некоторые пользователи отмечали, что роботизированное оборудование благотворно влияет на продолжительность продуктивной жизни животных и способствует увеличению числа лактаций с 2,5–2,8 до 3,8–4. Проведенное моделирование показало, что показатели являются актуальными значениями, но требуют дополнительного подтверждения в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь.

Отрицательной стороной робота является его стоимость, потребность в высококвалифицированном сервисном обслуживании и увеличение срока окупаемости почти в 1,6 раза в сравнении с доильными залами.

Учитывая, что доильные роботы являются инновационным оборудованием, содержащим современные программно-технические решения, их эффективное использование предполагает увеличение первоначальных капиталовложений и высококвалифицированную подготовку обслуживающего персонала. В то же время и доильные залы по своим характеристикам должны приближаться к роботам, включая возможность доения и определения мастита по четвертям вымени, улучшение санобработки вымени и доильного оборудования, оперативное определение массы коров и т.д. По существу, в доильных залах в первую очередь необходимо реализовать все передовые решения, заложенные в роботы, за исключением надевания стаканов, что на первоначальном этапе можно оставить за оператором, а затем осуществить постепенный переход к роботизированным «Каруселям».

Список использованных источников

1. Казаровец, Н. В. Технично-экономическое обоснование применения автоматизированных систем доения (доильных роботов) в Республике Беларусь / Н. В. Казаровец, А. А. Тимошенко, А. А. Музыка // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. научно-практич. конф., Минск, 14–15 апреля 2011 г.: В 2 ч. Ч. 1. – Минск: БГАТУ, 2011. – С. 21–26.
2. Применение доильных роботов в регионе / Е. А. Скворцов [и др.] // Экономика региона. – 2017. – Т. 13, вып. 1. – С. 249–260.
3. К 2023 году в мире объем рынка установленных доильных роботов вырастет до \$8 млрд [Электронный ресурс] // RoboNews. – Режим доступа: <https://robonews.su/20572-K-2023-godu-v-mire-ob-em-rynka-ustanovlennyh-doil-nyh-robotov-vyragastet-do-8-mlrd.html>. – Дата доступа: 18.10.2022.
4. Сравнительная оценка доильных установок [Электронный ресурс] // Библиотека по животноводству. – Режим доступа: <http://animalialib.ru/books/item/f00/s00/z0000041/st060.shtml> – Дата доступа: 18.10.2022.
5. Экономика сельского хозяйства : учебник для СПО / под ред. Н. Я. Коваленко. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 406 с. – (Серия : Профессиональное образование).

УДК 636.2:636.034:004

Поступила в редакцию 31.10.2022

Received 31.10.2022

И. И. Гируцкий¹, Ю. А. Ракевич¹, В. К. Клыбик²

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: gir_50@mail.ru

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labts@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОИЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ЩАДЯЩЕГО ДОЕНИЯ КОРОВ И СРЕДСТВА ИХ ДИАГНОСТИКИ

Аннотация. В статье проведен анализ существующих режимов работы доильных аппаратов, их достоинств и недостатков. Рассмотрен пример совершенствования конструкции доильных аппаратов, работающих в режиме щадящего доения. Предложен один из наиболее перспективных методов физиологической оценки доильных аппаратов на основе тепловизионного контроля. Приведены экспериментальные исследования влияния доильного аппарата на состояние сосков вымени коров по термографическому снимку.

Ключевые слова: доильный аппарат, модернизация, диагностика, термографический снимок, температура, молочная железа, щадящее доение.

I. I. Girutsky, Yu. A. Rakevich, V. K. Klybik

¹ EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: gir_50@mail.ru

² RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labts@mail.ru

IMPROVEMENT OF MILKING MACHINES FOR GENTLE MILKING OF COWS AND MEANS OF THEIR DIAGNOSTICS

Abstract. The article analyzes the existing operating modes of milking machines, their advantages and disadvantages. The issues of improving the design of milking machines operating in the gentle milking mode are considered. When choosing milking equipment, it is necessary to take into account the biological characteristics of the animals. One of the most promising methods of physiological assessment of milking machines is thermal imaging.

Experimental studies of the influence of the milking machine on the condition of the udder teats of cows according to a thermographic image are given.

Keywords: milking machine, modernization, diagnostics, thermographic image, temperature, mammary gland, gentle milking.

Введение

Задача модернизации и диагностики доильного оборудования является одной из первоочередных в животноводстве республики. Дальнейшее развитие технологии доения коров должно идти по пути освоения производства оборудования нового поколения и его компонентов, одним из важных элементов которого является доильный аппарат. Совершенствование конструкции доильного аппарата является одним из направлений в решении важной народнохозяйственной задачи – сохранении продуктивного долголетия коров.

В настоящее время на молочно-товарных фермах используется большое многообразие доильных аппаратов как импортного, так и отечественного производства, а их влияние на соски вымени животного до сих пор не исследовано. При этом отдать предпочтение тому или иному доильному аппарату без тщательной оценки довольно трудно.

Основная часть

Доильные аппараты по принципу работы делятся на аппараты непрерывного отсоса, двухтактные, трехтактные, четырехтактные [1, 2].

В двухтактных доильных аппаратах используются такт сосания и такт сжатия, в трехтактных – сосания, сжатия и отдыха, в четырехтактных – сжатие, сосание, сжатие, отдых. По характеру силы, используемой для извлечения молока, доильные аппараты подразделяются на отсасывающие, выжимающие, выжимающе-отсасывающие. По приводу исполнительного органа они делятся на аппараты почетвертного, попарного и синхронного действия. По режиму работы доильные аппараты бывают с постоянными и регулируемыми параметрами.

Хоть двухтактные доильные аппараты и нашли широкое распространение, им присущи серьезные недостатки. Во время работы есть вероятность возникновения опасности быстрого опорожнения молочной цистерны и распространения вакуума на внутреннюю область соска и в полость вымени, что может послужить причиной воспалительных явлений (мастит). В конце доения стаканы нередко наползают на вымя, в результате чего соски втягиваются глубоко внутрь, и тем самым ухудшаются условия как извлечения последних порций молока, так и восстановления нормального кровообращения в сосках. Такие аппараты требуют более высокой классификации операторов машинного доения и строгого соблюдения правил машинного доения.

Трехтактный режим работы в большей степени отвечает физиологическим особенностям животного, нежели двухтактный: наличие такта отдыха способствует нормальному кровообращению в сосках и вымени коровы и притоку молока из вышерасположенных частей емкостной системы вымени; доильные стаканы к концу доения почти не наползают на основание сосков; незначительная передержка доильных стаканов на сосках вымени коровы не причиняет заметного вреда животному.

Несмотря на положительные стороны, трехтактные доильные аппараты имеют серьезные недостатки, среди которых: увеличение времени доения из-за меньшей скорости выдаивания (по сравнению с двухтактными доильными аппаратами); возможное загрязнение молока из-за подсоса воздуха под соски в такте отдыха; увеличение расхода энергии из-за дополнительного расхода воздуха. При работе трехтактных аппаратов наблюдается «мокрое» доение, т.е. обмывание сосков молоком, что может спровоцировать возникновение мастита у коров.

Эффективность производства в молочном животноводстве за последние годы значительно возросла. Достижения в области разработки доильных технологий сократили затраты труда, но в меньшей степени были ориентированы на улучшение здоровья вымени коров. Дальнейшее совершенствование техники доения должно способствовать улучшению благополучия животных, основой которого является создание физиологически щадящего процесса машинного доения.

Основным направлением для увеличения продолжительности хозяйственного использования коров является щадящий режим доения, который позволит сохранить здоровье и благополучие животных [3–5]

По данным ISO 5707 вакуумметрическое давление должно быть в пределах от 32 до 42 кПа для обеспечения быстрого, полного и щадящего доения. Такой диапазон вакуумного давления обеспечивает адекватное движение сосковой резины и необходимое давление на сосок, но не позволяет решить проблему наползания доильных стаканов на соски вымени [6, 7]. От этого сообщение соска с выменем нарушается и доение прерывается преждевременно, что обуславливает нечистое выдаивание коров. В связи с этим наиболее трудная и важная практическая задача заключается в устранении наползания доильных стаканов, так как из-за этого нарушается процесс доения, возрастает трудоемкость и снижается продуктивность животных [8].

В качестве аппарата для щадящего режима доения предлагается прототип, запатентованный в Германии (DE 102012103560), целью которого является обеспечить режим щадящего доения с отдельно регулируемыми функциями доения и удержания. Доильный стакан имеет кольцевые уплотнения с двумя надувными камерами, куда подается сжатый воздух (рис. 1) [9].



Рис. 1. Доильный стакан с надувными кольцами

Надувные кольца, установленные в доильном стакане, прижимают сосок при подаче сжатого воздуха, обеспечивая тем самым удержание доильного стакана на соске. В результате функция удержания значительно улучшается, когда вакуум уменьшается или выключается. Новый доильный стакан идеально подходит для систем индивидуального доения для каждой четверти вымени в отдельности, позволяет устранить такой недостаток, как наползание доильного стакана.

В настоящее время для щадящего режима доения на рынке есть несколько доильных аппаратов. Это модели AktivPuls, Bovi 60/B60, Swiftflo, Uniflow 3 flex, IQ (Individual Quarter) (табл. 1).

Таблица 1. Модели зарубежных доильных аппаратов, работающих в режиме щадящего доения

Производитель	System Happel	Boventis	Dairymaster	SAC	GEA-Farm Technologies
Модель	AktivPuls	Bovi 60/B60	Swiftflo	Uniflow 3 flex	IQ (Individual Quarter)
Вакуумметрическое давление, кПа	37-45	25-35	12-42	36-46	36-42





При выборе доильного оборудования необходимо учитывать не только технические параметры, но и биологические характеристики животных. В частности, при оценке доильной техники приходится учитывать в первую очередь интенсивность и полноту рефлекса молокоотдачи и другие физиологические параметры.

Одним из наиболее перспективных в настоящее время методов физиологической оценки доильных аппаратов является тепловизионный контроль. Данный метод позволяет определить физи-

ологические показатели животного до и после доения, а также дать оценку изменения этих показателей. При помощи тепловизора у исследуемого животного дистанционно измеряют и фиксируют температурные поля контрольных точек на вымени и сосках до и после доения, а оценку работы доильного аппарата осуществляют путем сравнения полученных цифровых данных. Причем измерения температуры проводят с точностью до 0,02°C [10–12].

В молочном животноводстве тепловизионный метод на основе ИРТ-камер можно использовать как диагностический инструмент для оценки состояния здоровья вымени коров (табл. 2).

Таблица 2. Модели ИРТ-камер, используемые в различных исследованиях для оценки состояния здоровья вымени коров

Название ИРТ камеры	Применение	Вид
FLIR Inframetrics 600/740/760	Используется для измерения суточной вариации молочных коров по отношению к маститу	
ThermaCam545	Используется для определения изменений температуры сосков при машинном доении	
ThermaCamP25	Используется для раннего выявления мастита у молочных коров	
IRI 4010	Используется для определения кишечной внутримышечной инфузии кишечной палочки в поздней лактации	

Перспективность данного направления подтверждается активным развитием оптико-электронных методов и средств, которым свойственны многофункциональность и бесконтактность, что является очень важным при контроле состояния биологического объекта, каким является дойная корова. Причем состояние доильного оборудования, образующего вместе с дойной коровой биотехническую систему, важно определять по степени его воздействия на биологический объект – дойную корову [13–15].

Для апробации данного метода на молочно-товарной ферме было проведено экспериментальное исследование: дистанционно измеряли и фиксировали 12 контрольных точек в области основания, середины и верхушки сосков, для каждой четверти вымени в отдельности до надевания доильных стаканов и после доения (рис. 2) [16].

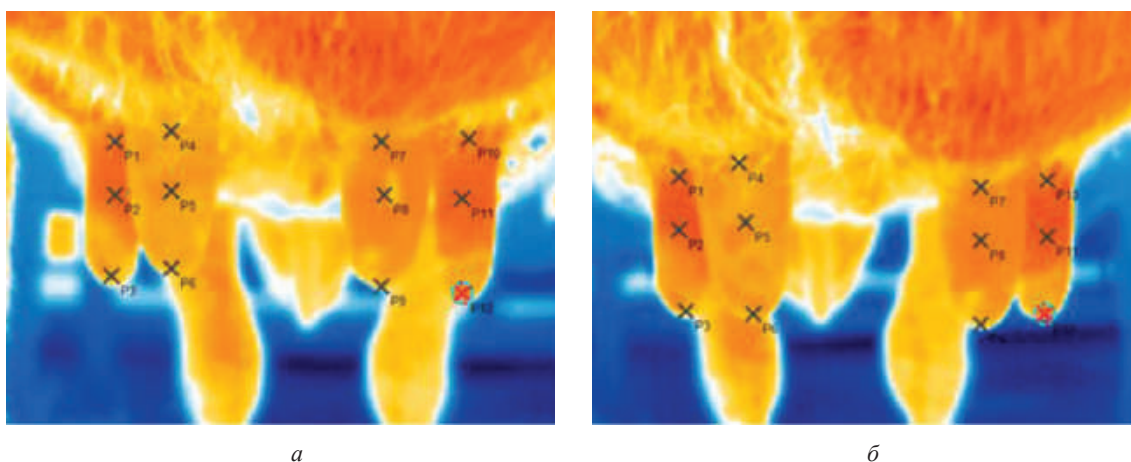


Рис. 2. Термографические снимки вымени сосков: *а* – до надевания доильных стаканов; *б* – после доения

Полученные термографические снимки коров были проанализированы с помощью программного обеспечения тепловизора, были обработаны показатели температур и в результате построен график показателей температур до надевания доильных стаканов и после доения (рис. 3).



Рис. 3. График показателей температуры до надевания доильных стаканов и после доения в 12 контрольных точках: в области основания – P1, P4, P7, P10; середины – P2, P5, P8, P11; верхушки сосков – P3, P6, P9, P12

На графике видно, что увеличение температуры наблюдалось в области основания и на верхушке сосков. Увеличение температуры поверхности сосков после доения обусловлено механическим воздействием доильного аппарата, что приводит к изменению кровообращения. Чем более щадящий доильный аппарат и лучшее соблюдение технологии машинного доения, тем меньше происходит нарушение кровообращения в соске, что проявляется уменьшением температуры в конце доения [17–20].

Заключение

Анализ существующих доильных аппаратов показал, что несовершенство конструкции аппаратов снижает продуктивность коров, качество молока. Создание безвредной для здоровья животного доильной машины, обеспечивающей критерии физиологически щадящего процесса машинного доения путем полного извлечения молока из вымени без проведения машинного додаивания и защищающей вымя от вредного воздействия вакуума после окончания доения, является актуальной задачей.

Полученные экспериментальные результаты при использовании метода тепловизионного контроля свидетельствуют о том, что показатели температуры сосков вымени коров во время доения, до и после на термографических снимках позволяют дать оценку влияния доильного аппарата на молочную железу, а соски вымени могут быть использованы как индикаторы качества работы доильных аппаратов.

Список использованных источников

1. Ракевич, Ю. А. Анализ конструкций доильных аппаратов / Ю. А. Ракевич // Научный поиск молодежи XXI века: сб. науч. ст.: в 3 ч., Ч.1: материалы XVII Международной научной конференции студентов и магистрантов, Горки, 22–24 ноября 2016 г. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 371–374.
2. Романович, А. А. Анализ доильных стаканов / А. А. Романович, Ю. А. Ракевич // Инновационная деятельность в модернизации АПК : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 7–9 декабря 2016 г., ч. 1 –Курск: Изд-во Курск.гос.с.-х.ак.,2017. – С. 330–333.
3. Китиков, В. О. Научные основы создания технологического оборудования и физиологически щадящего процесса машинного доения коров: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / В. О. Китиков ; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2015. – 45 с.
4. Китиков, В. О. Модернизация процесса машинного доения коров / В. О. Китиков, А. Н. Леонов // Вестн. Всерос. науч.-исслед. ин-та механизации животноводства. – 2016. – № 3 (23). – С. 171–177.
5. Трубников В. В. Сравнительная оценка современных доильных аппаратов: дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / В. В. Трубников. – Оренбург, 2011. – С. 90–113.
6. Ракевич, Ю. А. Выбор оптимального вакуумметрического давления для доения коров / Ю. А. Ракевич, В. И. Передня // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 21–23 ноября 2018 г. – Минск: БГАТУ, 2018. – С. 465–468.
7. Ракевич, Ю. А. Динамика изменения вакуума во время доения коров / Ю. А. Ракевич, В. И. Передня // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 21–23 ноября 2018 г. – Минск: БГАТУ, 2018. – С. 462–465.
8. Романович, А. А. Применение механических фиксаторов для предотвращения наползания доильных стаканов / А. А. Романович, Ю. А. Ракевич // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь : збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції, Житомир, 29–30 березня 2017 р. – Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2017. – С. 146–149.
9. Гируцкий, И. И. Перспективы развития средств механизации и автоматизации доильного оборудования / И. И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю. А. Ракевич // Инновационные ресурсосберегающие технологии для производства биобезопасных комбикормов и конкурентоспособного молока: материалы академических чтений, посвященных 60-летию научной деятельности и 85-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Владимира Ивановича Передни. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. – С. 91–96.
10. Ракецкий, П. П. Обоснование методов физиологических и биологических исследований по оценке параметров работы доильного аппарата / П. П. Ракецкий, И. Н. Казаровец, В. В. Захаров // Агропанорама. – 2017. – № 1. – С. 13–15
11. Жилич, Е. Л. Применение метода термографии для идентификации заболевания молочной железы коров / Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, Д. Н. Колоско // Вестник ВНИИМЖ. – 2022. – № 2 (46). – С. 108–112.
12. Термография как метод биометрической идентификации / Д. И. Комлач [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-техн. конф., посв. 100-летию со дня рождения М. М. Севернева, Минск, 21–22 окт. 2021 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2021. – С. 3–5.
13. Гируцкий, И. И. Экспериментальные исследования термографического метода диагностики мастита дойных коров / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич, А. Г. Сеньков // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С.204–211.
14. Гируцкий, И. И. Обоснование применения термографического метода диагностики мастита дойных коров в компьютеризированной системе управления стадом / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «Науч.-практ. Центр Нац. акад. Наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – Минск, 2020. – Вып. – 54. – С.226–231.
15. Ракевич, Ю. А. Использование инфракрасной термографии для выявления мастита коров / Ю. А. Ракевич // Агропанорама. – 2020. – № 5. – С. 19–22.
16. Гируцкий, И. И. Анализ инфракрасного изображения вымени коров / И. И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю. А. Ракевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 9–12.
17. Липчинская, А. К. Роль патологии сосков молочной железы в развитии маститов у коров при машинном доении: дис. ... канд. тех. наук : 06.02.06 / А. К. Липчинская. – Екатеринбург, 2010. – С. 64–115.
18. Механизированная установка для бесконтактной тепловизионной видеоцифровой диагностики заболеваний животных: пат. RU 2668674 / В. Е. Любимов, Ю. А. Цой, А. Ю. Измайлов, Л. Д. Сагинов, В. В. Кирсанов, С. А. Соловьев. – Оpubл. 02.10.2018.
19. Hirutski, I. Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis / I. I. Hirutski, Y. A. Rakevich, A. G. Stankov // Mechanization in agriculture & conserving of the resources: – Bulgaria, 2021 – P. 14–18.
20. Hirutski, I. Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis / I. I. Hirutski, Y. A. Rakevich, A. G. Stankov // IX International scientific congress: Agricultural machinery 2021, Varna, Bulgaria, 23–23 June 2021. – Bulgaria, 2021 – P. 48–52.

А. В. Садовская, Е. А. Петренко

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: Sadovskaya@bntu.by*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДЕРЕВЯННОЙ УПАКОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЛОЖНОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. В статье рассмотрены типы упаковок, которые могут применяться для хранения и транспортирования технической продукции нестандартного размера и значительного веса. Рассмотрены конструкции и материалы для изготовления ящиков из древесины, фанеры, сотового (ячеистого) картона, алюминия. На основе существующего деревянного ящика разработана усовершенствованная конструкция ящиков деревянных, включающая планки-полозья, упоры и прижимы для фиксации секций мачты метеорологической, ручки для перемещения ящиков при погрузочно-разгрузочных операциях. Основная цель изменения конструкции заключается в создании надежной конструкции упаковки, удобстве обращения с упаковкой и надежной фиксации элементов упакованного изделия, а также максимальном использовании пространства ящика. В результате для упаковывания мачты используется четыре деревянных ящика, масса которых составила от 5 до 18,5 кг в зависимости от габаритных размеров ящиков.

Ключевые слова: деревянные ящики, техническая продукция, мачта метеорологическая, упоры, прижимы, полозья, древесно-волокнистая плита.

A. V. Sadousksya, H. A. Petrenko

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: Sadovskaya@bntu.by*

DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF WOODEN PACKAGING FOR TRANSPORTATION OF COMPLEX PRODUCTS

Abstract. The article discusses the types of packaging that can be used for the storage and transportation of technical products, non-standard size and significant weight. The designs and materials for the manufacture of boxes from wood, plywood, honeycomb (cellular) cardboard, and aluminum are considered. Based on the existing wooden box, an improved design of wooden boxes has been developed, including skid bars, stops and clamps for fixing meteorological mast sections, handles for moving boxes during loading and unloading operations. The main goal of the design change is to create a reliable package design, ease of handling of the package and reliable fixation of the elements of the packaged product. As a result, four wooden crates are used to pack the mast, the weight of which ranged from 5 kg to 18.5 kg, depending on their overall dimensions parts.

Keywords: wooden boxes, technical products, meteorological mast, stops, clamps, skids, fibre board.

Введение

Сохранность товаров и грузов при хранении, складировании и транспортировании в значительной степени обеспечивается правильной подготовкой товаров к перевозке и оптимальной упаковкой [1]. Транспортная упаковка является самостоятельной транспортной единицей для многих промышленно-технических товаров и должна быть прочной, защищать от воздействия внешних факторов и различных повреждений, быть надежной, выдерживать механические повреждения, изделие должно быть прочно зафиксировано в упаковке, а также упаковка не должна изменять свойств и характеристик упакованной продукции [2]. Объектом исследования является изучение материалов и конструктивных особенностей различных типов упаковок для крупногабаритной нестандартной продукции промышленного назначения с целью разработки усовершенствованной конструкции упаковки для мачты метеорологической.

Основная часть

Разрабатываемая конструкция упаковки предназначена для хранения и транспортирования технической продукции – мачты метеорологической с молниеотводом и лебедкой (рис. 1), которая представляет собой металлоконструкцию, предназначенную для установки на ней различного метеорологического оборудования (осадкомеров, барометров, измерителей влажности и температуры воздуха, актинометрических приборов, флюгеров, датчиков измерения скорости и направления ветра), используемого в составе метеостанций для нужд синоптических и метеорологических сетей. Мачта имеет надёжную, эргономичную конструкцию, состоящую из неподвижной части и поворотной с реактивной тягой, тросов с талрепами и элементов для укрепления в грунте.

В процессе монтажа металлоконструкция устанавливается строго вертикально и фиксируется при помощи якорей и растяжек. На её неподвижной части закрепляется поворотная часть и устанавливаются дополнительные устройства. Перекидной трос и замок с кольцом используются для подъёма, опускания и фиксации поворотной части. Реактивная тяга нужна для исключения прогиба при подъёме.

Материалом, из которого изготовлена мачта, является сталь или сталь и дюраль для различных элементов конструкции. Составляющие детали мачты – трубы, окрашенные полимерной краской. Вес мачты с полным комплектом изделия составляет 140 кг, высота 10 м.

Мачта транспортируется на дальние расстояния от завода-изготовителя в упаковке, состоящей из трех ящиков, в каждый из которых помещены составные части изделия (мачты), а также монтажный комплект.

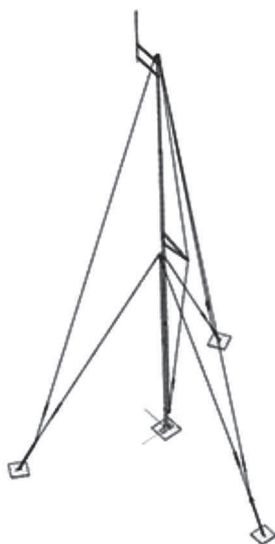


Рис. 1. Мачта метеорологическая с молниеотводом и лебедкой

Для упаковки составных частей мачты используют деревянные ящики, а для размещения сборочных единиц и монтажных комплектов – ящики из гофрокартона. Изменение конструктивных элементов упаковки для мачты связано с большим весом одного из ящиков (около 100 кг), в котором расположены все секции мачты, и значительным объемом незадействованного пространства ящика. В комплект данного ящика входят мачта, молниеотвод, лебедка, тросовые растяжки, монтажный комплект. Чаще для упаковки изделий такого типа используют деревянные ящики, также можно использовать алюминиевые ящики и ящики, изготовленные из сотового картона.

Для составляющих деталей мачты используется деревянный ящик, в который помещается мачта в разобранном виде, и в свободное пространство ящика устанавливаются деревянные бруски для фиксации деталей мачты при транспортировке.

На предприятии мачта упаковывается в деревянный ящик по ГОСТ 9396-88 «Ящики деревянные многооборотные» и ГОСТ 14225-83 «Футляры деревянные»: тип IV по ГОСТ 9396 – склад-

ной плотный закрытый, на двух металлических поясах, торцовые стенки с боковыми соединены с одной стороны разъемными, с другой – неразъемными петлями, предельная масса груза – 75 кг (рис. 2, *а*) или ящик тип III-2 по ГОСТ 9396 – торцовые и боковые стенки собраны на четырех планках в рамку предельная масса груза – 50 кг (рис 2, *б*). Для сборки ящиков типов III-2 и IV используются дощечки и фанера, технические требования к которым установлены ГОСТ 14225-83.

Деревянные ящики изготавливаются из пиломатериалов (тарной, строганой или обзолной доски (дощатые ящики)), брусков, фанеры (фанерные ящики), оргалита (ДВП), крафт-шпона (шпона, обклеенного бумагой или картоном) и других древесных материалов. Для укрепления конструкции деревянные ящики армируют металлической лентой, сшивают проволокой (скобами) или усиливают брусками либо сначала формируется каркас, который обшивается фанерой или ДВП [3].

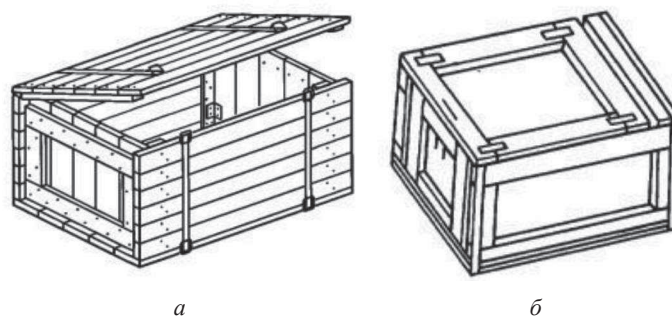


Рис. 2. Ящики деревянные по ГОСТ 9396: *а* – ящик типа IV, *б* – ящик типа III-2

Стойкость древесины и ее способность задерживать удары и толчки является важным фактором выбора деревянной упаковки. Древесина, используемая для изготовления упаковки, может быть мягкой и твердой. Характерной особенностью мягкой древесины является то, что она тяжело раскалывается и имеет средние показатели прочности, способности удерживать гвозди и сопротивляемости ударам. Твердая древесина имеет более заметную тенденцию к раскалыванию, ее древесные слои часто деформируют гвозди (тем не менее, она обладает более заметной способностью их удерживать), а также большую прочность и сопротивляемость ударам по сравнению с мягкой древесиной [4].

Ширина дощечек ящиков всех типов должна быть не менее 50 мм для груза массой до 20 кг и не менее 60 мм для груза массой свыше 20 кг (но не более 130 мм).

Для упаковки мачты возможно использование футляров, так, согласно ГОСТ 14225-83 футляры должны изготавливаться с цельными или составными торцовыми и боковыми стенками, собранными в шип, и могут быть различных типов. Наиболее предпочтительными типами футляров являются футляр деревянный II типа – с откидной или съемной крышкой для изделий массой до 80 кг (рис. 3, *а*) и футляр деревянный III – с откидной объемной крышкой для изделий массой до 80 кг (рис. 3, *б*), что требует изменения комплектации продукции в ящиках.

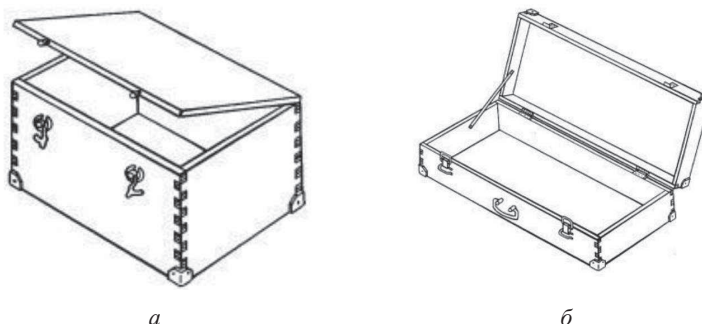


Рис. 3. Футляры деревянные по ГОСТ 14225-83: *а* – футляр деревянный II типа, *б* – футляр деревянный III типа

Футляры должны быть окрашены с наружной или с наружной и внутренней сторон эмалями, лаками, масляными красками. Окрашивание необходимо для сохранения упаковки от внешних атмосферных воздействий.

Допускается изготавливать футляры целиком из фанеры или с дном, крышкой из фанеры или древесно-волоконной плиты и дощатым корпусом. Планки крепят к торцовым и боковым стенкам футляра, ящика гвоздями.

Алюминий также находит все более широкое применение в качестве упаковочного материала. Во многом это связано с его универсальностью. Ни один другой материал не обладает таким набором эксплуатационных и технологических свойств, разнообразием форм и дизайнерских решений, которые обеспечивали бы возможность его использования для упаковки различных видов продукции [5]. Это обусловлено рядом преимуществ, достигаемых за счет применения алюминия, среди которых следует отметить герметичность упаковки, создающую непроницаемый барьер для влаги, паров, газов, масел, жиров, нефтепродуктов; коррозионную стойкость, химическую нейтральность ко многим веществам и неабсорбентность упаковки; теплостойкость и теплопроводность; стойкость при низких температурах; инертность, то есть не вступает в реакцию с содержимым упаковки. К недостаткам можно отнести возможность деформации упаковки; высокую цену алюминиевых контейнеров.

Контейнер состоит из алюминиевого сплава, корпус и усиливающие профили сварены, также есть завальцовка профилей на кромке, крышке и днище. Установлены уплотнители по всему периметру и ребра жесткости по периметру и углам. Контейнер имеет высокую устойчивость благодаря трем полностью приваренным рамам из алюминиевого профиля и заваренным стыкам профилей. Оснащен замками-защелками с петлями для навески замков или пломб.

В настоящее время альтернативой деревянным ящикам являются коробка из сотового картона. Сотовый картон – разновидность картона, внутренняя часть которого имеет отверстия в виде шестигранных сот. Данный вид упаковочного материала чаще всего состоит из 3 частей: верхнего и нижнего гладкого слоя, которые перекрывают внутреннюю ячеечную часть. Основным параметром сотового картона является размер ячейки, он обычно рассчитывается как диаметр окружности, в которую вписан шестигранник соты. Размер ячеек варьируется от 10 до 50 мм, высота соты (толщина) – от 10 до 100 мм. Ящик из сотового картона имеет низкий вес и отлично подходит для перевозок любыми видами воздушного, наземного и водного транспорта.

Главный недостаток данного материала – воспламеняемость и слабая влагопрочность, однако при использовании влагопрочного картона с защитными свойствами и противопожарной обработкой расширяется область применения упаковки из гофрированного картона. Возможно также ухудшение амортизирующих свойств в случае, если вектор нагрузки направлен не вдоль соты и не перпендикулярно листу [6–8]. Для разработки конструкции упаковки для промышленной продукции необходимо иметь четкое представление о том, как упаковка будет взаимодействовать с товаром. Упаковка такого крупногабаритного груза, как мачта метеорологическая, должна защищать товар и быть удобной для транспортирования.

Таким образом, в результате изучения существующих конструкций, материалов для изготовления упаковки, предложено использовать деревянный ящик доработанной конструкции с учетом характеристик упаковываемой продукции, т.е. разделить упаковку для мачты на четыре ящика, при этом каждый из ящиков отличается своими размерами и конструктивными особенностями, для удобства перемещения в конструкцию каждого ящика добавлены ручки, а для фиксации секций мачты в ящиках разработаны упоры и прижимы.

Для проектирования ящиков за основу принят ящик деревянный типа III-2 «Торцевые и боковые стенки собраны на четырех планках в рамку» по ГОСТ 9396-88 [9]. Предлагаемая конструкция деревянного ящика состоит из двух одинаковых боковых стенок, крышки и дна с полосьями для удобства транспортирования (рис. 4). Для фиксации изделий в ящике спроектированы вертикальные упоры.

Автоматизированное проектирование деревянного ящика осуществлялось в программных продуктах Autodesk и SolidWorks, поддерживающих автоматическую генерацию сборочного чертежа, спецификации и 3D модели ящика [10, 11]. Боковые стенки и крышка ящика состоят из дре-

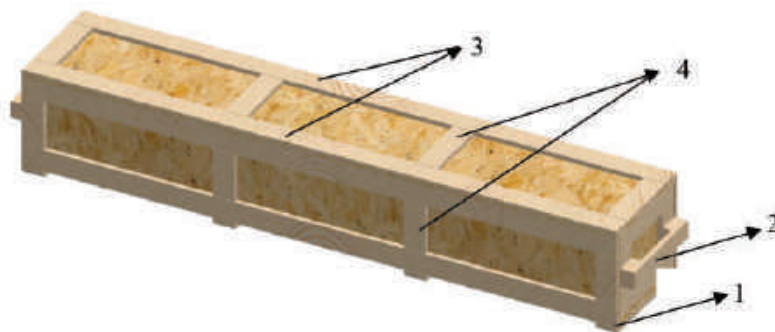


Рис. 4. 3D вид первого деревянного ящика в сборке: 1 – полозья, 2 – ручка, 3 – горизонтальные планки, 4 – вертикальные планки

весно-волокнутой плиты, двух продольных планок и поперечных планок, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Дно конструкции состоит из деревянной основы и нескольких полозьев, покрывается водонепроницаемой бумагой марки ДБ-1800 по ГОСТ 8828-89. В первый деревянный ящик упаковывается секция первая и рычаг мачты метеорологической. Габаритные размеры упаковываемых изделий составляют 1925×270×270 мм, вес изделий – 41,2 кг. Размеры ящика составили 2144×396×364 мм, вес ящика – 17,7 кг.

Для боковой стенки ящика используется древесно-волокнустая плита марки Т (твердые плиты с необлагороженной лицевой поверхностью) по ГОСТ 4598-2018 с размерами 4×319×2046 мм. Планки изготавливаются по СТБ 1713-2007 из сосны второго сорта, планки горизонтальные в количестве две штуки имеют размеры 19×75×2046 мм, вертикальные планки расположены на одинаковом расстоянии друг от друга и имеют размеры 19×75×169 мм, их используется четыре штуки. Лист бумаги размером 319×2046 мм кладут на дно для защиты упаковываемых изделий. Все элементы собираются между собой на гвозди К 2,5×50 по ГОСТ 4028-63 и гвозди 2.0×20 по ГОСТ 4029-63.

Аналогично боковой стенке изготавливается крышка ящика. К древесно-волокнустой плите марки Т по ГОСТ 4598-2018 с размерами 4×396×2046 мм с помощью гвоздей К 2,5×50 по ГОСТ 4028-63 и гвоздей 2.0×20 по ГОСТ 4029-63 крепятся две вертикальные планки размерами 16×75×2046 мм и четыре вертикальные планки размерами 16×75×246 мм. Лист бумаги размером 396×2046 мм по ГОСТ 8828-89 прикрепляется к внутренней стороне крышки.

Дно ящика также состоит из щита размером 19×350×2046 мм, к которому крепятся четыре полоза размером 25×75×396 мм с помощью гвоздей К 3×70 по ГОСТ 4028-63 и гвоздей 2.0×20 по ГОСТ 4029-63, а также лист бумаги размером 350×2046 мм.

Торцевая стенка состоит из древесно-волокнустой плиты марки Т по ГОСТ 4598-2018 с размерами 4×300×350 мм, к которой с помощью гвоздей К 2,5×50 по ГОСТ 4028-63 прикреплены сосновые планки СТБ 1713-2007 размерами 19×75×350 мм количеством две штуки, а также две планки размерами 19×75×150 мм, к которым с помощью гвоздей К 3×70 по ГОСТ 4028-63 прибиваются две бобышки размерами 30×75×60 мм. На эти бобышки крепят ручку размером 19×60×350 мм гвоздями К 3×70 по ГОСТ 4028-63.

Упоры и прижимы для первого ящика изготовлены из доски сосновой второго сорта по СТБ 1713-2007 с требуемыми вырезами под секцию и рычаг (рис. 5). Для фиксации упоров в ящике изготовлены цилиндрические полые отверстия, в которые при сборке помещают шурупы 4 – 3×13.019 по ГОСТ 1145-80. Прикрепляются упоры ко дну ящика шайбой DIN 125 A10-A2 и гайкой DIN 934 M10-A2. Для сборки ящика используют стальную упаковочную ленту М-0,5×20 по ГОСТ 3560-73, гвозди 2.0×20 по ГОСТ 4029-63 и гвозди К 2,5×50 по ГОСТ 4028-63. Масса брутто первого деревянного ящика с изделиями составила 58,9 кг.

Второй деревянный ящик имеет аналогичную конструкцию, в него упаковываются вторая, третья и четвертая секции мачты, весом 48,4 кг, габаритные размеры упаковываемых изделий – 200×2950×200 мм. Габаритные размеры ящика 3144×436×304 мм, масса – 18,5 кг. Масса второго ящика с упакованными изделиями составила 66,9 кг.

В третий деревянный ящик помещаются пять картонных ящиков, изготовленных из картона марки Т 21 по ГОСТ 7376-89. Габаритные размеры ящика 753×556×559 мм, масса – 5 кг. Масса третьего ящика с упакованными изделиями составила 30,3 кг. В четвертый деревянный ящик в свободном пространстве размещаются картонные коробки, фанерный короб, а также изделия без упаковки, что приводит к полной заполненности ящика.



Рис. 5. 3D вид упора и прижима, расположенных в ящике: 1 – прижим; 2 – упор

В фанерный короб упаковываются стержни-заземлители (4 штуки длиной 1500 мм). К деревянному ящику короб прикрепляется шурупами. Габаритные размеры ящика 2550×290×194 мм, масса – 15 кг. Масса данного ящика с упакованными изделиями составила 42,1 кг.

Отметим отличия разработанных типов ящиков, помимо размеров используемых деталей и элементов:

для боковой стенки используются вертикальные планки, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга, в количестве шесть штук;

для производства крышки с целью упрочнения каркаса крышки применяются шесть вертикальных планок;

дно ящика также состоит из щита, к которому крепятся шесть полозьев размером 25×75×346 мм, полозья используются для удобства перемещения подъемно-транспортной техникой, а также для защиты товара от внешних разрушающих факторов;

упоры и прижимы внутри ящиков изготавливаются с тремя вырезами под каждую секцию мачты. Для фиксации разработанных упоров в ящике в них изготавливают цилиндрические полые отверстия диаметром 9 мм, в которые при сборке помещают шурупы 4 – 3×13.019 ГОСТ 1145-80. Прикрепляются упоры ко дну ящика шайбой DIN 125 A8-A2 и гайкой DIN 934 M8-A2.

Заключение

Для упаковки и транспортирования сложнотехнической продукции (мачты метеорологической) массой более 140 кг и высотой 10 м разработана усовершенствованная конструкция деревянной упаковки для транспортирования, включающая четыре ящика деревянных, которые отличаются от существующих ящиков тем, что имеют ручки для удобства перемещения работниками, планки-полозья для перемещения подъемно-транспортной техникой, планки на стенках и крышках ящиков для прочности конструкции ящиков.

Для фиксации секций мачты метеорологической в деревянных ящиках разработаны упоры и прижимы, которые изготавливаются из дерева с тремя вырезами под каждую секцию мачты. Разработанные упоры фиксируются в ящике шурупами. Масса ящиков составила от 5 кг до 18,5 кг в зависимости от габаритных размеров ящиков, номенклатура изделий, упаковываемых в ящики, изменена с целью максимальной заполненности каждого ящика и равномерного распределения их веса.

Список использованных источников

1. Грузоведение : учеб.-метод. пособие для практ. занятий / И. А. Еловой [и др.]; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 47 с.

2. Бирюкова, К. В. Транспортировка груза, как часть операционной логистической деятельности промышленного предприятия / К. В. Бирюкова, Н. Ю. Малеев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 3, № 13. – С. 577–579.

3. Ульянов, В.Н. Чтоб не пропасть поодиночке... [Электронный ресурс] // Все о групповой упаковке. – 2012. – № 15. – С. 7–17. – Режим доступа: https://www.unipack.ru/paper/15/unipack-spravochnik_grupповaya_ upackov-ka2012.pdf. – Дата доступа: 13.08.2021.

4. Уголев, Б. Н. Древодиноведение и лесное товароведение: Учебник / Б.Н. Уголев. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 351 с.

5. Кузнецов, И.А. Продовольственная безопасность и алюминиевая упаковка / И.А. Кузнецов, М.В. Секачев // Молодежь и наука / Уральский государственный аграрный университет. – 2013. – № 1. – С. 28.

6. Антибас, И. Р. Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки / И. Р. Антибас, С. А. Партко, А. Н. Сиротенко // Advanced Engineering Research. – 2016. – №1 (83). – С. 36–42.

7. Мочалова, Е. Н. Проектирование тары и упаковки из гофрированного картона: Учебное пособие / Е.Н. Мочалова, М.Ф. Галиханов. – Казань, КНИТУ, 2014. – 156 с.

8. Перспективы использования влагопрочного картона и гофрокартона на рынке упаковочных материалов / О.А. Мишурина [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6 (часть 2) – С. 203–205.

9. Ящики деревянные многооборотные. Общие технические условия : ГОСТ 9396-88. – Взамен ГОСТ 9395-76 ; введ. РБ 01.01.1990. – М. : Стандартиформ, 2008. – 26 с.

10. Серков, Е. А. Автоматизация проектирования деревянной тары для комплексов радиоэлектронной аппаратуры / Е. А. Серков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63. – С. 548–553.

11. Татарнинова, М.С. Особенности трехмерного моделирования упаковки / М. С. Татарнинова // Сборник Общество. Наука. Инновации (НПК-2017). Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция. Вятский государственный университет. – 2017. – С. 2245–2251.

УДК 658.512.2

Поступила в редакцию 10.11.2022

Received 10.11.2022

В. П. Селиванова, В. И. Карпунин

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

E-mail: vel.selivanova@gmail.com

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ДИЗАЙНЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКА ЛЕНТ ЛЬНА САМОХОДНОГО ПЛС-1

Аннотация. Выполнен анализ оборудования для сельскохозяйственных нужд и представлен вывод о возможных нововведениях в сегменте дизайна конструкции на примере существующего оборудования. В качестве графического сопровождения описываемых инновационных решений дизайна конструкции на примере самоходного пресс-подборщика льна ПЛС-1 приведена концептуальная модель и описание дизайна конструкции исследуемого оборудования.

Ключевые слова: дизайн, оборудование, лен, бренд, логотип.

V. P. Selivanova, V. I. Karpunin

Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

E-mail: vel.selivanova@gmail.com

INNOVATIVE APPROACH IN THE DESIGN OF AGRICULTURAL EQUIPMENT ON THE EXAMPLE OF SELF-PROPELLED FLAX BALER PLS-1

Abstract. An analysis of equipment for agricultural needs is carried out and a conclusion is presented on possible innovations in the structure design segment using the example of existing equipment. As a graphical accompaniment to the described innovative structure design solutions, using the PLS-1 self-propelled flax baler as an example, a conceptual model and a description of the design of the equipment under study are given.

Keywords: design, equipment, flax, brand, logo.

Введение

В современных условиях немаловажную роль играет культурная интеграция, сопровождаемая воплощением разного рода ценностей в результаты проектной деятельности. Подобные процессы приводят к обострению на рынке конкуренции между компаниями-производителями. Возможность включения в конкурентную борьбу и получения информативного отклика от потребителей требует инновационных подходов к формированию маркетинговых стратегий вывода сельскохозяйственной техники на рынок. В связи с этим становится актуальным анализ возможностей использования дизайна производимой продукции и, в частности, промышленного дизайна.

Выбор промышленного дизайна в качестве объекта исследования определяется тесной связью развития дизайна с промышленным производством, наукой и техникой.

Основная часть

Выращивание и переработка льна являются одним из приоритетных направлений в сфере производства белорусского агропромышленного комплекса. Белорусские ученые начинали проектирование и разработку льнотехники без должной информационно-материальной базы. Все существовавшие на тот момент разработки были предоставлены Всесоюзным научно-исследовательским институтом механизации льноводства. Лаборатория по механизации возделывания и уборки льна была сформирована в 1998 г. В ней и началась разработка льноуборочных машин для производства их на базе заводов Беларуси.

Начальные этапы разработки сельскохозяйственных машин по направлению уборки и первичной обработки льна осуществлялись совместно с французской компанией. Прототипом первой машины данного направления белорусского производства являлся самоходный однопоточный пресс-подборщик ПРС-1 (рис. 1), доля отечественных комплектующих в котором составляла лишь 15 %. Основным направлением работы на данном этапе являлась целенаправленная замена импортных деталей на отечественные, с чем лаборатория успешно справлялась.

В 2018 году был представлен первый опытный образец самоходного пресс-подборщика льна ПЛС-1 (рис. 2). В данной модели большинство деталей являются отечественными, что заметно снижает себестоимость машины и повышает уровень рентабельности ее использования.



Рис. 1. Самоходный однопоточный пресс-подборщик ПРС-1



Рис. 2. Пресс-подборщик лент льна самоходный ПЛС-1

В настоящее время самоходные пресс-подборщики льна по типу ПЛС-1, безусловно, занимают лидирующие позиции в категории данного вида сельскохозяйственного оборудования на внутреннем рынке. Вместе с тем для поднятия позиций белорусского сельскохозяйственного машиностроения на международной арене возможно применение инновационных дизайнерских решений. Некоторые предложения по усовершенствованию дизайнерского решения исследуемого оборудования будут представлены ниже.

В ходе исследования был проведен анализ аналогового ряда данной категории сельскохозяйственного оборудования, представленного на рынке в настоящее время. Исходя из проведенного анализа, можно сделать выводы о современных тенденциях в сфере сельскохозяйственного машиностроения:

- цветографическое решение всей линейки производимого оборудования должно коррелировать с цветовой палитрой бренда предприятия, на котором оно производится;
- изображение логотипа бренда и непосредственного названия машины следует размещать на передней части машины в непосредственно обозримом месте;
- тенденции в формообразовании оборудования данного сегмента включают в себя такие направления, как бионика, футуризм и постмодернизм (наличие плавных линий и обобщенных элементов конструкции).

На основании вышеизложенных выводов был разработан модернизированный дизайн конструкции пресс-подборщика лент льна ПЛС-1 (рис. 3).



Рис. 3. Концептуальная модель дизайн-проекта пресс-подборщика лент льна

Основными принципиальными отличиями в представленном дизайне конструкции являются:

- монолитность корпуса. Корпус представляет собой единую конструкционную систему, которая включает в себя различные блоки и позволяет получить доступ к необходимым узлам для их наладки в процессе эксплуатации. Необходимо также отметить, что такой вариант формообразования корпуса оборудования представляет гораздо более высокую эстетическую ценность и выгодно выделяет продукцию на рынке;
- единое цветовое решение. В качестве основных цветов, использованных при разработке концептуальной модели, были выбраны образцы цветов, представленные на сайте НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (#00695C, #004D40);
- брендинг продукции. Единая форма брендинга производимой продукции позволяет рабочим и сторонним наблюдателям распознавать информацию о принадлежности оборудования компании. Нанесение логотипов и другой графической и текстовой информации на криволинейные поверхности может быть произведено при помощи шелкографии (трафаретной печати).



Рис. 4. Брендинг концептуальной модели

Заклучение

В результате проведенного анализа тенденций развития дизайна оборудования, представленного в настоящее время на рынке, описаны современные направления развития конструкций в отрасли производственного оборудования сельскохозяйственного направления.

В качестве практической части исследования была разработана концептуальная модель дизайнерского решения конструкции на примере собственной разработки научно-практического центра НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства – пресс-подборщика лент льна самоходного ПЛС-1. Дальнейшая детальная разработка данного дизайн-проекта будет способствовать повышению конкурентоспособности отечественного оборудования сельскохозяйственной отрасли на мировой арене.

Список использованных источников

1. Новинка – пресс-подборщик лент льна самоходный ПЛС-1 [Электронный ресурс] // Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Режим доступа: <https://belagromech.by/news/smi-o-nas/novinka-press-podborshhik-lent-lna-samohodnyj-pls-1/>. – Дата доступа: 01.09.2022.

2. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Министерство экономики Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. – Дата доступа: 01.09.2022.

3. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» [Электронный ресурс] // Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь. – Режим доступа: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf. – Дата доступа: 01.09.2022.

УДК 631.362:364.10

Поступила в редакцию 04.11.2022

Received 04.11.2022

А. Н. Юрин

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

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ЛИНИИ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВ

Аннотация. В данной статье представлен процесс создания графического интерфейса приложения для системы технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 и приведено описание основных его составляющих.

Ключевые слова: интерфейс, пользователь, изображение, яблоко, сорт, заказ, параметры, статистика, лотки, инженерный, точка сброса, функция.

A. N. Yurin

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

DEVELOPMENT OF A GRAPHIC INTERFACE OF THE APPLICATION FOR THE VISION SYSTEM OF THE FRUIT SORTING LINE

Abstract. This article presents the process of creating a graphical interface for an application for a vision system for a technological line for sorting and packing apples LSP-4 and describes its main components.

Keywords: interface, user, image, apple, grade, order, parameters, statistics, trays, engineering, reset point, function.

Введение

Графический интерфейс пользователя (Graphical User Interface, GUI) – разновидность пользовательского интерфейса, в котором элементы интерфейса представлены пользователю на дисплее в виде графических изображений.

Графический интерфейс дает пользователю возможность с помощью манипуляторов (клавиатура, мышь, джойстик и т.п.) управлять всеми элементами интерфейса [1]. Элементы графического интерфейса оформлены таким образом, чтобы отображать их назначение и свойства для облегчения понимания и освоения программ пользователями любого уровня.

Одним из требований к хорошему графическому интерфейсу программной системы является концепция DWIM (Do What I Mean – делай то, что я имею в виду). Данная концепция требует, чтобы система работала предсказуемо для интуитивного понимания пользователем действий, которые выполнит программа после получения его команды [2]. Впервые графический интерфейс пользователя был реализован в операционных системах персональных компьютеров, но сейчас элементы GUI стали неотъемлемой частью даже простых бытовых и медицинских приборов, соевых телефонов, устройств промышленной автоматики и многих других.

Основным достоинством графического интерфейса является его интуитивно понятное, «дружелюбное» восприятие для пользователей любого уровня [1, 2]. Однако с появлением сенсорных мониторов дизайн и подходы формирования GUI эволюционировали в отдельную технологию. Сенсорные мониторы, как и любые устройства управления и интерфейсы, создаются для взаимодействия пользователя и компьютера. Удобный графический интерфейс операционной системы и удобные средства управления стремятся максимально позволить пользователю компьютера объединиться с компьютером в одно целое при работе с ним. Поэтому расположение и назначение некоторых графических управляющих элементов изменилось.

В связи с этим разработка графического приложения для сенсорного монитора представляет собой оптимизационную задачу со множеством переменных, включая элементы технического задания от заказчика и накопленный опыт и принципы эргономики рабочих мест.

Основная часть

Разработка графического интерфейса приложения

Разрабатываемая в текущем проекте система технического зрения предназначена для распознавания дефектов плодов различных культур и является одним из модулей комплексной системы управления экспериментальным образцом технологической линии сортировки и фасовки яблок. В связи с этим проектируемое программное обеспечение (ПО) с графическим приложением требуется для реализации отдельных управляющих функций. Разделим весь функционал на пять основных модулей:

- «Заказ» – отвечает за оформление заказа, включает различную информацию о заказчике, исполнителе и времени выполнения самого заказа (требуется ввод параметров, доступен оператору);
- «Параметры» – позволяет произвести настройку параметров процесса классификации, включая ключевые признаки разделения по сортам (требуется ввод параметров, доступен оператору);
- «Статистика» – отображает статистические данные по мощностям расклассифицированных потоков различных сортов яблок (требуется ввод отдельных параметров, доступен оператору);
- «Лотки» – позволяет установить соответствие сорта яблока номеру лотка (требуется ввод параметров, доступен оператору);
- «Инженерный» – специальный технический модуль для ввода коэффициентов, необходимых для контроля над информационными и управляющими процессами (требуется ввод параметров, доступен только наладчику).

Как видно из приведенного списка модулей, ПО должно проектироваться таким образом, чтобы выполнялись следующие функции:

- ввод информации с помощью GUI;
- вывод информации с помощью GUI;
- персонализация пользователей;

- возможность сохранения информации предыдущих сессий (заказов);
- возможность записи выходной информации на различные носители.

В связи с этим разрабатываемое ПО должно иметь структуру GUI в виде одного окна с пятью вкладками, а также возможность работать с современными базами данных (БД).

1.1. Модуль ввода индивидуальных параметров заказа.

На рис. 1 изображен снимок экрана главного окна разрабатываемого GUI с вкладкой «ЗАКАЗ». Указанная вкладка содержит следующие информационные элементы:

– «№ ЗАКАЗА» – уникальное название для каждого заказа, заполняется текстом вручную, однако для ускорения процесса ввода в выпадающем списке хранится информация о предыдущих заказах, которую можно использовать как пример (для сохранения единообразия в названиях заказов) или шаблон для быстрого копирования и вставки текста;

– «ЗАКАЗЧИК» – уникальное имя заказчика, заполняется текстом вручную, однако для ускорения процесса ввода в выпадающем списке хранится информация о предыдущих заказчиках, одного из которых можно выбрать путём нажатия на соответствующую строчку (если таковая имеется в списке, т.е. если формируется второй или последующий заказ одного заказчика);

– «СОРТ» – название сорта яблок в формируемом заказе, заполняется текстом вручную, однако для ускорения процесса ввода в выпадающем списке хранится информация о сортах яблок, которые можно выбрать путём нажатия на соответствующую строчку (если таковая имеется в списке, т.е. это второй и более заказ конкретного сорта);

– «ИСПОЛНИТЕЛЬ» – имя пользователя, осуществляющего настройку системы;

– «ОТВЕТСТВЕННЫЙ» – имя пользователя, осуществляющего контроль над работой системы;

– «ДАТА» – данные о дате, используются для формирования отчёта. Поле вставляется в отчёт автоматически и не предусматривает ручного ввода или корректировки.

Далее, на рис. 2, приведен пример ввода новой сессии (заказа). С целью повышения качества работы оператора и уменьшения затрат времени на заполнение вкладки «ЗАКАЗ» ПО разработано таким образом, чтобы в процессе заполнения строк выполнялось правило: чем чаще используется конкретная строка, тем выше она поднимается в списке.

1.2. Модуль ввода индивидуальных параметров классификации.

На рис. 3 изображён снимок экрана главного окна разрабатываемого GUI с вкладкой «ПАРАМЕТРЫ». В данной вкладке приводятся графические управляющие элементы, с помощью которых можно откорректировать значения коэффициентов классификации. Если в предыдущей вкладке «ЗАКАЗ» был выбран сорт, который уже использовался в предыдущих сессиях, то указанные выше значения коэффициентов устанавливаются по последним значениям. Если яблоки, используемые в текущем заказе, в небольших пределах отличаются от значений, установленных по умолчанию (в связи со сменой поставщика или погодных условий), то у оператора есть возможность ограниченной корректировки.

Следует указать, что значения параметров классификации после запуска производственной линии и процесса классификации не могут изменяться. Если того потребует ситуация и значения всё-таки надо будет изменить, то требуется начать новую сессию (заказ).

1.3. Модуль отображения статистических данных.

На рис. 4 изображён снимок экрана главного окна разрабатываемого GUI с вкладкой «СТАТИСТИКА».

В данной вкладке в режиме реального времени даётся информация о производительности как всей технологической линии сортировки и фасовки яблок, так и по отдельным сортам. Последняя информация необходима оператору для принятия решения о выделении дополнительной фасовочной линии для одного из сортов. Данное свойство также направлено на минимизацию задержек и повышение общей производительности линии.

В данной вкладке есть один параметр ввода данных: усреднённая плотность яблок, которая, как и в предыдущих вкладках, берётся по умолчанию (если ранее уже был заказ с данным сортом),

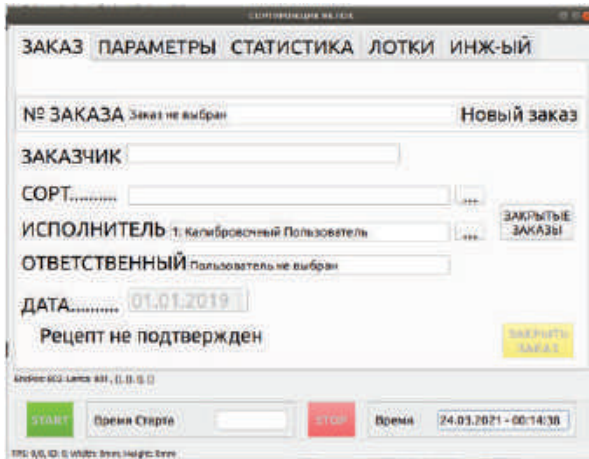


Рис. 1. Вкладка «ЗАКАЗ»

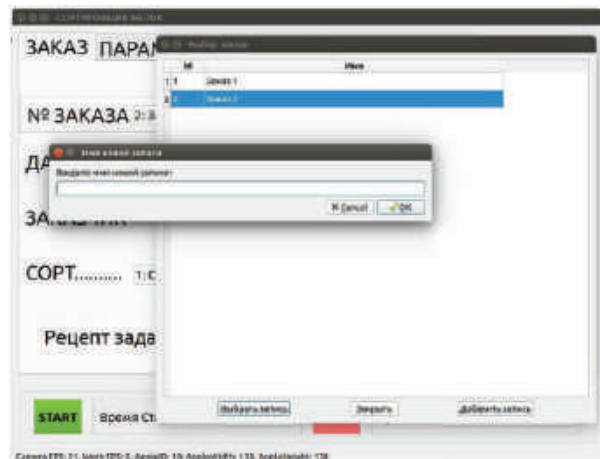


Рис. 2. Процесс ввода имени новой сессии

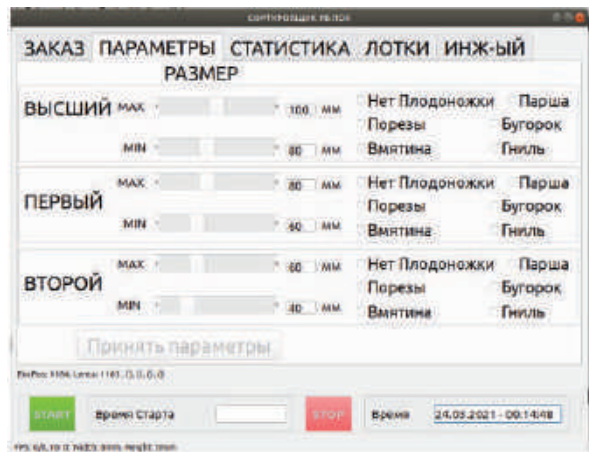


Рис. 3. Вкладка «ПАРАМЕТРЫ»

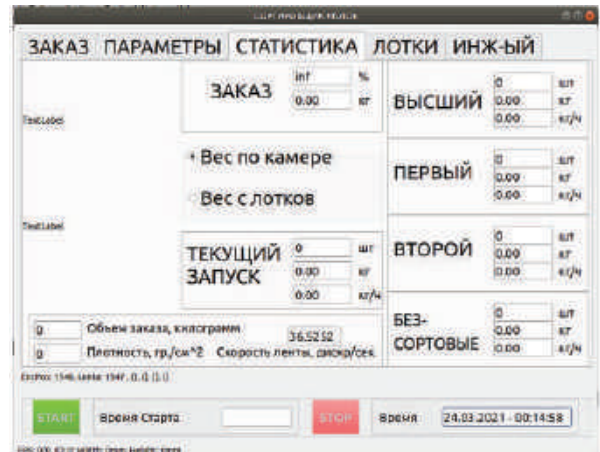


Рис. 4. Вкладка «СТАТИСТИКА»

но также может быть отредактирована. Также есть числовое поле отображения скорости движения сортировочного конвейера. Скорость конвейера в данной вкладке является ознакомительной для оператора. Однако данное значение, получаемое системой технического зрения от контроллера нижнего уровня управления всей системой, является весьма важным параметром, от которого зависит корректность сработки механизмов выброса яблок в соответствующую фасовочную линию согласно присвоенным сортам.

1.4. Модуль настройки соответствия лотков сортам яблок.

На рис. 5 изображён снимок экрана главного окна разрабатываемого GUI с вкладкой «ЛОТКИ». Данная вкладка используется для задания сорта яблок, сбрасываемых в лоток с указанным номером. При этом все яблоки, не относящиеся ни к одному из сортов, автоматически сбрасываются в конце конвейера в отдельную тару как бессортные.

1.5. Модуль настройки процесса классификации яблок по сортам.

На рис. 6 изображён снимок экрана главного окна разрабатываемого GUI с вкладкой «ИНЖ-ЫЙ».

Данная вкладка является служебной и предназначена для работы наладчика. С помощью имеющихся элементов меню и настроек наладчик осуществляет следующие действия:

- кнопка «TestCamera» – производит тест видеокамеры, являющейся неотъемлемой частью разрабатываемой системы технического зрения, который заключается в запуске специализированной утилиты, причём при нормальной работе видеокамеры никаких изменений не будет, а при отрицательном результате кнопка «TestCamera» засветится красным цветом;

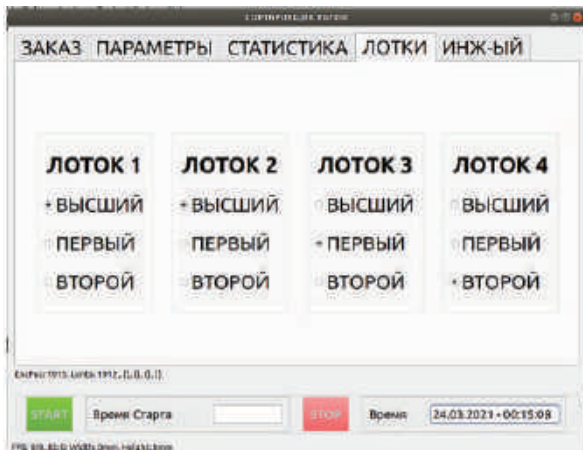


Рис. 5. Вкладка «ЛОТКИ»

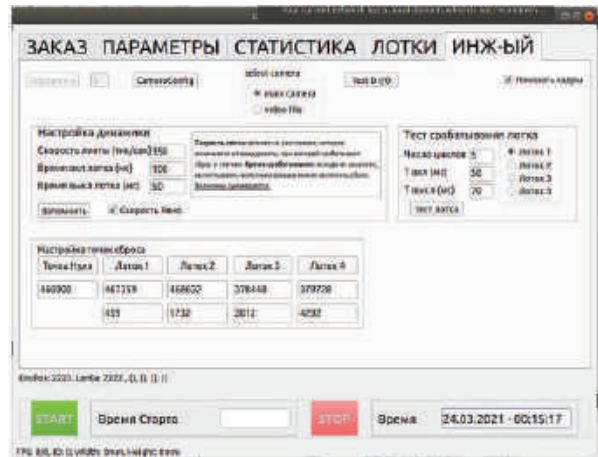


Рис. 6. Вкладка «ИНЖ-ЫЙ»

- кнопка «CameraConfig» – производит внутреннюю настройку видеокamеры, для чего при нажатии на данную кнопку запустится служебная утилита производителя видеокamеры, причём, так как количество настроек достаточно велико, в системе автоматически сохраняются последние заданные настройки;

- кнопка «Test D I/O» – производит процесс тестирования соленоидов;

- поле альтернативного выбора двух состояний «select camera»/«video file» – производит отображение на виртуальных экранах изображения, получаемого в режиме реального времени с видеокamеры, либо тестовый видеофайл.

Данный модуль содержит два виртуальных экрана, на одном из которых – поток реальных кадров, а на другом – обработанные с помощью предложенных ранее алгоритмов. С помощью последнего экрана наладчик видит:

- все ли яблоки захватываются программным трекером;
- весь ли объём яблок попадает в ограничивающий прямоугольник;
- правильно ли идёт нумерация потока яблок;
- находит ли алгоритм дефекты.

Алгоритм работы модуля оформления и ведения заказа

Как уже говорилось выше, разрабатываемое ПО может сгенерировать отчёт, который, несмотря на то что не может нести юридической силы, является рекомендательным документом. И на его основе можно получить следующую информацию:

- наименование заказчика;
- наименование исполнителя;
- наименование заказа;
- дату и сроки выполнения заказа;
- сорт яблок;
- статистические данные полученного продукта, включая:
 - 1) геометрические параметры яблок;
 - 2) список допустимых/недопустимых дефектов;
 - 3) плотность яблок;
 - 4) скорость движения конвейера;
- описание характеристик, на основе которых производилось классификация.

На рис. 7 отображена блок-схема алгоритма функционирования разработанного ПО. Данная схема показывает, что оператор не сможет запустить линию без информации, заполненной во вкладках «ЗАКАЗ» (номер заказа, наименование заказчика, наименование исполнителя, сорт), «ПАРАМЕТРЫ» (коэффициенты классификации яблок по сортам) и «СТАТИСТИКА» (плотность). Следует оговориться, что если перечисленные параметры удовлетворяют значениям, уста-

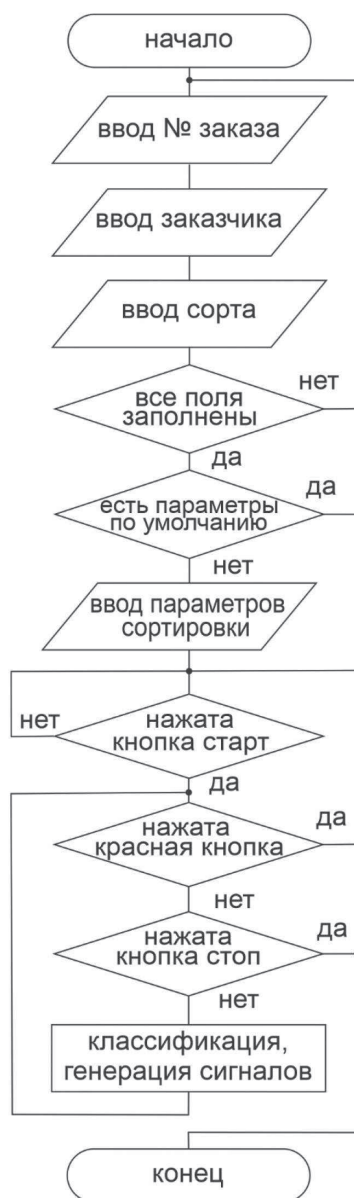


Рис. 7. Блок-схема алгоритма функционирования разработанного ПО

новленным «по умолчанию», то оператор может их не заполнять. Только после этого у оператора есть возможность нажать на кнопку «START», так как до этого момента она была в главном окне, но она была не активна.

Также следует указать, что во всех сложных технических объектах, сопряжённых с управлением большими скоростями, массами, энергиями и т.д., обязательно должна быть кнопка экстренного останова, так называемая «красная кнопка». Указанная виртуальная красная кнопка работает параллельно реальной красной кнопке, установленной на нижнем уровне управления всей сортировочной линии и подключённой к главному контроллеру.

Причём нажатие на красную кнопку не прерывает полностью выполнение текущей сессии сортировки яблок, а лишь ставит её на паузу. Сессия прерывается или заканчивается только при нажатии на кнопку «STOP».

Разрабатываемая в текущем проекте система технического зрения предназначена для распознавания дефектов плодов различных культур и является одним из модулей комплексной системы управления экспериментальным образцом технологической линии сортировки и фасовки яблок. В связи с этим проектируемое программное обеспечение (ПО) с графическим приложением тре-

буется для реализации отдельных управляющих функций. Разделим весь функционал на четыре основных модуля:

- «Заказ» – отвечает за оформление заказа, включает различную информацию о заказчике, исполнителе и времени выполнения самого заказа (требуется ввод параметров, доступен оператору);
- «Параметры» – позволяет произвести настройку параметров процесса классификации, включая ключевые признаки разделения по сортам (требуется ввод параметров, доступен оператору);
- «Статистика» – отображает статистические данные по мощностям расклассифицированных потоков различных сортов яблок (не требует ввода параметров, доступен оператору);
- «Инженерный» – специальный технический модуль для ввода необходимых коэффициентов, необходимых для контроля информационными и управляющими процессами (требуется ввод параметров, доступен только наладчику).

Как видно из приведённого списка модулей, ПО должно проектироваться таким образом, чтобы выполнялись следующие функции:

- ввод информации с помощью GUI;
- вывод информации с помощью GUI;
- персонализация пользователей;
- возможность сохранения информации предыдущих сессий (заказов);
- возможность записи выходной информации на различные носители.

В связи с этим разрабатываемое ПО должно иметь структуру GUI в виде одного окна с четырьмя вкладками, а также возможность работать с современными БД.

Заключение

В процессе выполнения работ было создано графическое приложение разрабатываемого ПО, предназначенное для управления экспериментальной линией сортировки и фасовки яблок. Разработанное ПО включает как существующие открытые библиотеки, так и оригинальные разработки. Графическое приложение ориентировано на эксплуатацию по прямому назначению, обслуживание оператором и наладчиком. Данное ПО позволяет в значительной степени автоматизировать и облегчить управление процессом сортировки и фасовки яблок.

Созданные алгоритмы были интегрированы в разработанное программное обеспечение, предоставляющее оператору установки автоматической сортировки возможность получать подробную информацию о происходящих процессах и найденных дефектах, в том числе в виде готового электронного файла-отчёта.

Графический интерфейс пользователя разработанного приложения содержит все необходимые инструменты для выполнения таких действий, как ввод наименований заказа, заказчика, исполнителя, сорта яблок и других вспомогательных данных и характеристик.

Разработанное ПО было протестировано на экспериментальных тестовых данных и видео файле, записанном на действующей аналогичной линии сортировки и фасовки яблок.

Таким образом, применение разработанного ПО с графическим приложением расширит возможности и будет содействовать повышению качества труда перерабатывающих предприятий сельскохозяйственной промышленности.

Список использованных источников

1. Куртов, М. Генезис графического пользовательского интерфейса. К теологии кода / М. Куртов. – М.: ТрансЛит, 2014. – 88 с.
2. Бланшет, Ж. Разработка графического интерфейса с помощью библиотеки Qt3 [Электронный ресурс] / Ж. Бланшет, М. Саммерфилд // OpenNET/ – Режим доступа: http://www.opennet.ru/docs/RUS/qt3_prog/qt3.html. – Дата доступа: 04.10.2022.

Э. В. Дыба¹, В. Б. Ловкис², А. В. Пётух²

¹ РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: dibua-18@mail.ru

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ БЕЗУДАРНОЙ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ ИЗ ПАТРУБКА В ШТУЦЕРЫ РОТОРНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Аннотация. В статье представлено обоснование условий безударной подачи жидкости из патрубка в штуцеру роторного распределителя.

Ключевые слова: параметры, показатели, жидкий навоз, роторный распределитель, устройство, патрубки ротора, внутривспашное внесение, выливные штуцеры.

E. V. Dyba¹, V. B. Lovkis², A. V. Piotukh²

¹ RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: dibua-18@mail.ru

² EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

JUSTIFICATION OF THE CONDITIONS FOR THE UNSTRESSED SUPPLY OF LIQUID FROM THE NOZZLE TO THE NOZZLES OF THE ROTARY DISTRIBUTOR

Abstract. The article presents the justification of the conditions for the unstressed supply of liquid from the nozzle to the nozzles of the rotary distributor.

Keywords: parameters, indices, liquid manure, rotary distributor, device, rotor branch pipes, internal soil injection, pouring unions.

Введение

Роторный распределитель предназначен для деления большого потока жидкого навоза, подаваемого из цистерны, на множество (по числу шлангов-понижителей) одинаковых малых потоков [1, 2]. Схема роторного распределителя представлена на рис. 1. Он состоит из цилиндрического корпуса 1, плотно закрывающейся крышки 2 с сапуном 3, в центр которой прикреплен конец нагнетательного трубопровода 4, распределительного ротора, состоящего из стакана 5, патрубков 6 и выливных штуцеров 7.

Основная часть

В цилиндрическом корпусе (рис. 1) между выливными штуцерами имеется глухая часть корпуса (технологический зазор). Ротор вращается непрерывно, и вылив жидкого навоза (далее – ЖН) из патрубков происходит непрерывно. Следовательно, часть ЖН при совпадении отверстий из патрубков выливается под действием центробежной силы в выливные штуцеры. Другая часть ЖН при несовпадении отверстий ударяется в глухую часть корпуса, разбрызгивается, создавая подпор, оседает в нем, что в конечном итоге приводит к увеличению неравномерности вылива жидкости через штуцеры и повышает энергоёмкость процесса распределения ее между дисками. Для устранения этих недостатков необходимо создавать такие условия подачи ЖН из патрубков в штуцеры, которые бы исключали удар навоза в глухие участки корпуса.

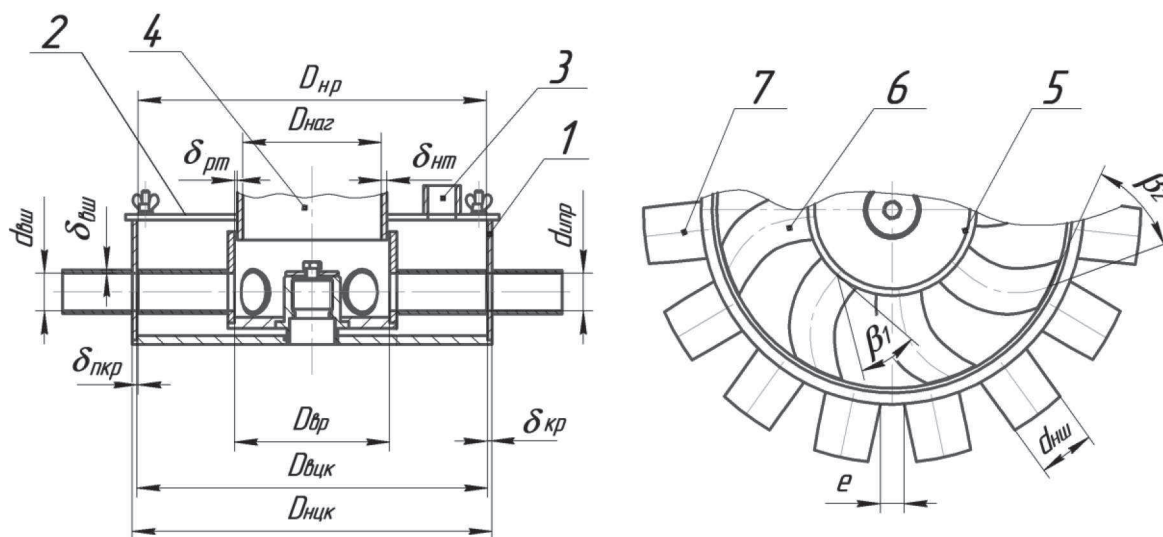


Рис. 1. Схема для обоснования конструктивных и кинематических параметров роторного распределителя:
 1 – цилиндрический корпус; 2 – крышка; 3 – сапун; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – стакан ротора;
 6 – патрубок ротора; 7 – выливной штуцер

Для обеспечения безударного входа ЖН в патрубки ротора и исключения кавитации в них патрубки приварены к стакану ротора под углом β_1 и имеют форму логарифмической спирали (рис. 2). На выходе патрубки обрезаны под углом β_2 , поэтому они имеют эллипсовидное выходное сечение.

Угол выхода ЖН из патрубка ротора β_2 можно определить по формуле [1]:

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{d_{унр}}{2a}, \quad (1)$$

где a – большая полуось эллипса, м.

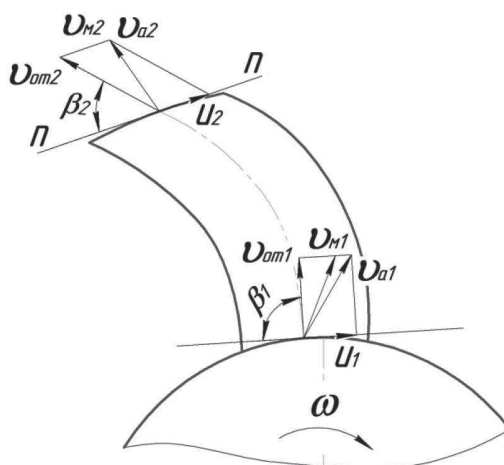


Рис. 2. Схема направления скоростей движения навоза на входе и выходе патрубка ротора

Большую полуось эллипса a найдем из следующего условия: чтобы в любой момент времени суммарная площадь проходного сечения, образованного выходными сечениями патрубков ротора 6 (рис. 1) и входными сечениями выливных штуцеров 7, была равна или больше суммарной площади поперечных сечений патрубков, то есть суммарная площадь проходного сечения, образованного выходным сечением патрубка ротора и входными сечениями выливных штуцеров, должна быть равна или больше площади поперечного сечения выливного штуцера (рис. 3). Это необходимо для того, чтобы исключить подпор и пульсацию ЖН.

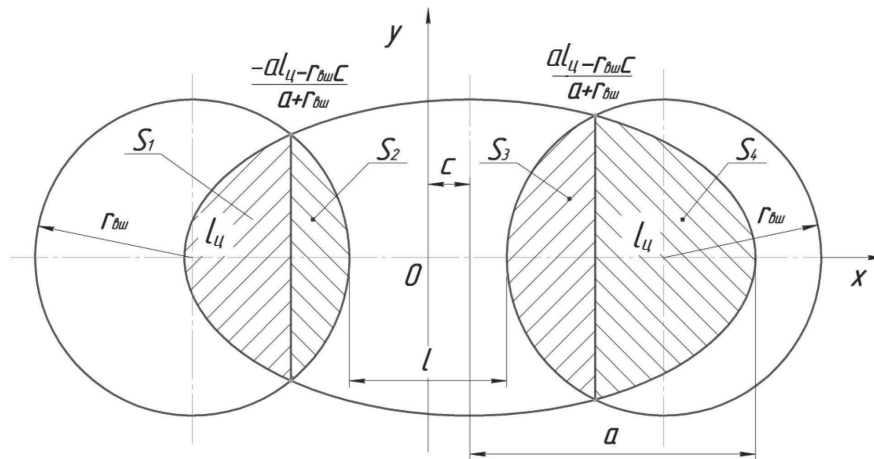


Рис. 3. Схема для расчета большой полуоси эллипса выходного сечения патрубка ротора

Запишем последнее условие в виде:

$$2S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \geq \frac{\pi d_{imp}^2}{4}, \quad (2)$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 – площади, образующие суммарное проходное сечение, расположенное над осью x , m^2 .

Площади суммарного проходного сечения вычислим с помощью интегралов. Для этого задаемся координатными осями x и y с центром в точке O (рис. 3), относительно которого симметрично расположим центры окружностей входных сечений выливных штуцеров на расстоянии

$$l_{щ} = r_{вщ} + \frac{l}{2}, \quad (3)$$

где $r_{вщ}$ – радиус круглого сечения выливных штуцеров, м; l – расстояние между внутренними поверхностями выливных штуцеров в месте соединения с корпусом, м;

$$l = e + 2\delta_{вщ}. \quad (4)$$

Запишем уравнения окружностей и эллипса:

– уравнение левой окружности

$$y_1 = \sqrt{r_{вщ}^2 - (x + l_{щ})^2}; \quad (5)$$

– уравнение правой окружности

$$y_2 = \sqrt{r_{вщ}^2 - (x - l_{щ})^2}; \quad (6)$$

– уравнение эллипса

$$y_3 = \frac{r_{вщ}}{a} \sqrt{a^2 - (x + c)^2}, \quad (7)$$

где c – смещение центра эллипса относительно начала координат, м.

Решая совместно уравнения (5) и (7), а также уравнения (6) и (7), определим точки пересечения правой и левой окружностей с эллипсом, которые являются пределами интегрирования при определении площадей S_1, S_2, S_3 и S_4 .

Площади проходного сечения, находящегося над осью x , определяют по следующим формулам:

$$S_1 = \int_{-a-c}^{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx. \quad (8)$$

$$S_2 = \int_{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{-l_y+r_{\text{вн}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x+l_y)^2} dx. \quad (9)$$

$$S_3 = \int_{l_y-r_{\text{вн}}}^{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x-l_y)^2} dx. \quad (10)$$

$$S_4 = \int_{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{a-c} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx. \quad (11)$$

Подставив (8), (9), (10) и (11) в (2), получим:

$$\begin{aligned} & 2 \cdot \left[\int_{-a-c}^{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx + \right. \\ & + \int_{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{-l_y+r_{\text{вн}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x+l_y)^2} dx + \\ & + \int_{l_y-r_{\text{вн}}}^{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x-l_y)^2} dx + \\ & \left. + \int_{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{a-c} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx \right] - \pi r_{\text{вн}}^2 = 0. \quad (12) \end{aligned}$$

Уравнение (12) решаем с помощью численных методов (деление отрезка пополам) или используя программное обеспечение «Mathcad». Полученное значение большой полуоси a подставляем в формулу (1) и определяем угол выхода навоза β_2 .

Величины напора, создаваемого вакуум-компрессором, достаточно для преодоления сопротивлений в установке и роторном распределителе. Поэтому нет необходимости, чтобы ротор работал как насос и создавал дополнительный напор. Вследствие этого необходимо подобрать частоту вращения ротора такой, чтобы меридиональная скорость v_{m2} совпадала по значению и направлению с абсолютной скоростью v_{a2} , равной геометрической сумме относительной скорости движения жидкости v_{om2} и окружной скорости ротора на выходе u_2 (рис. 2):

$$v_{m2} = v_{a2} = v_{om2} + u_2. \quad (13)$$

Спроецировав уравнение (13) на касательную $n-n$ (рис. 2), получим:

$$u_2 - v_{om2} \cdot \cos \beta_2 = 0. \quad (14)$$

В свою очередь, окружная скорость на выходе из патрубков ротора определяется по формуле:

$$u_2 = \frac{\pi n_p D_{np}}{60}, \quad (15)$$

где n_p – частота вращения ротора, мин⁻¹.

Подставив в формулу (14) формулу (15) и выразив частоту вращения ротора n_p , получим:

$$n_p = \frac{60 \cdot \cos \beta_2 \cdot v_{om2}}{\pi D_{np}}. \quad (16)$$

Для обеспечения безударного входа ЖН в патрубки ротора и избежания увеличения гидравлических потерь необходимо патрубки приваривать к стакану под углом β_1 , который можно определить по формуле [1, 3, 4]:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{v_{m1}}{u_1}, \quad (17)$$

где v_{m1} – меридиональная скорость движения ЖН на входных кромках патрубков, м/с; u_1 – окружная скорость ЖН на входе в патрубки ротора, м/с.

Меридиональную скорость движения ЖН на входе в патрубки v_{m1} выразим через относительную скорость движения навоза в патрубки v_{om1} (рис. 2):

$$v_{m1} = v_{om1} \cdot \sin \beta_1. \quad (18)$$

Скорость движения ЖН на входе в патрубки ротора, с учетом угла входа β_1 , определим по формуле:

$$v_{om1} = \frac{4Q_n \sin \beta_1}{z_n \pi d_{ump}^2}. \quad (19)$$

Диаметр входа ЖН в патрубки ротора D_1 можно записать в виде:

$$D_1 = \frac{z_n \cdot \left(\frac{d_{ump} + 2\delta_{su}}{\sin \beta_1} + e \right)}{\pi}. \quad (20)$$

Подставляя все известные величины в формулу (17) и сделав соответствующие преобразования, получим выражение для определения угла входа ЖН в патрубки ротора:

$$\left(\frac{d_{ump} + 2 \cdot \delta_{su}}{\sin \beta_1 \cdot \sin 2\beta_1} + \frac{e}{\sin 2\beta_1} \right) = \frac{120 \cdot Q_n}{\pi \cdot n_p \cdot z_n^2 \cdot d_{ump}^2}. \quad (21)$$

Значение угла β_1 находим приближенными методами. Например, методом деления отрезка на десять частей. Для этого табулируем функцию на отрезке от 0 до $\frac{\pi}{2}$. На этом отрезке уравнение (21) имеет одно решение $\beta_1 = 60^\circ$. Для построения очертания патрубка ротора и определения его длины составим дифференциальное уравнение для малых приращений угла в радианах и радиуса Δr (рис. 4). Гипотенузу BC треугольника BCE можно записать $BC = \frac{\Delta r}{\sin \beta}$. Тогда длину патрубка ротора определим по формуле:

$$l_{ump} = \sum_{i=1}^{i=\Delta} \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \Delta r_i, \quad (22)$$

где Δ – количество разбиений расстояния между радиусом входа $r_1 = \frac{D_{gp}}{2}$ и радиусом выхода $r_2 = \frac{D_{np}}{2}$; B_i – функция в i -й точке; Δr_i – приращение радиуса патрубка ротора, м.

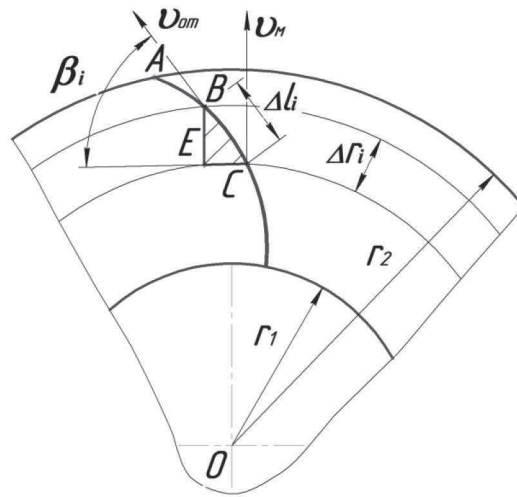


Рис. 4. Схема для определения длины патрубка ротора

Функцию в i -й точке определим как

$$B_i = \frac{1}{\sin \beta_i}, \quad (23)$$

где β_i – угол наклона патрубка к касательной окружности в i -й точке, град.

Решаем уравнение (22) табличным способом. Задавая количество разбиений Δ , определяем приращение радиуса Δr_i в интервале от r_1 до r_2 , а также приращение угла $\Delta \beta_i$ в интервале от β_1 до β_2 . Далее определяем значение $\sin \beta_i$ и функцию B_i .

Заключение

Таким образом, полученные формулы позволяют обосновать условия безударной подачи жидкости из патрубка в штуцеры роторного распределителя, при которых будет обеспечена минимальная неравномерность вылива жидкости через штуцеры и снижена энергоемкость процесса распределения ее между заделывающими рабочими органами.

Список использованных источников

1. Дыба, Э. В. Внутрипочвенное внесение жидкого навоза роторным распределителем с заделкой дисковым адаптером: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Э. В. Дыба. – Минск, 2015. – 158 с.
2. Подшиваленко, И. В. Повышение равномерности внесения жидких органических удобрений обоснованием параметров штанговой распределяющей системы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И. В. Подшиваленко. – Горки, 2006. – 177 с.
3. Жарский, М. А. Гидро- и пневмотранспорт в сельском хозяйстве: учебное пособие для студентов с.-х. вузов / М. А. Жарский, Г. П. Цыганок. – Горки, 1988. – 68 с.
4. Грачева, Л. И. Трубопроводный транспорт на животноводческих фермах / Л. И. Грачева, Н. Н. Шумляк. – М.: Колос, 1979. – 159 с.

Э. В. Дыба¹, В. Б. Ловкис², А. В. Пётух²

¹ РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Аннотация. В статье представлено обоснование основных конструктивных и кинематических параметров роторного распределителя применительно к дисковому адаптеру для внутрипочвенного внесения жидкого навоза.

Ключевые слова: параметры, показатели, жидкий навоз, роторный распределитель, устройство, патрубки ротора, внутрипочвенное внесение, выливные штуцеры.

E. V. Dyba¹, V. B. Lovkis², A. V. Piotukh²

¹ RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

² EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE AND KINEMATIC ROTOR DISTRIBUTOR PARAMETERS

Abstract. The article presents the justification of the main design and kinematic parameters of the rotary distributor in relation to the disk adapter for the internal application of liquid manure.

Keywords: parameters, indices, liquid manure, rotary distributor, device, rotor branch pipes, internal soil injection, pouring unions.

Введение

В последнее время, в связи с ужесточением требований к защите окружающей среды, наряду с поверхностным внесением жидкого навоза все больше находит применение внутрипочвенный способ внесения. Данный способ позволяет существенно снизить потери элементов питания за счет уменьшения испарения аммиачного азота и лучшей его усвояемости растениями, уменьшить загрязнение окружающей среды и устранить запах.

Все известные агрегаты для внутрипочвенного внесения жидкого навоза, в принципе, имеют одинаковое устройство. Они состоят из цистерны, вакуумного и нагнетательного насоса, роторного распределителя, напорного трубопровода, разливочных шлангов, заделывающих рабочих органов. Технологический процесс агрегата для внутрипочвенного внесения жидкого навоза заключается в следующем: во время работы рабочие органы подрезают пласт почвы, образуя в ней щели, полости или канавки, в которые одновременно подается навоз через рукава после разделения потока роторным распределителем.

Технологии внутрипочвенного внесения жидкого навоза, которые должны найти применение в сельскохозяйственном производстве, способствуют увеличению периода и объема его использования. Они осуществляются одновременно со вспашкой, глубоким рыхлением, лушением и другими видами почвообработки. Применение агрегатов и оборудования для внутрипочвенного внесения жидкого навоза при основной обработке почвы, подкормке пропашных культур и улучшении

лугов и пастбищ позволяет при отрядной организации работ повысить коэффициент использования машин, оборудования и продуктивность кормовых угодий.

Процесс внутривпочвенного внесения жидкого навоза более энергоемок по сравнению с поверхностным внесением, так как он осуществляется одновременно с почвообработкой. Однако повышенные затраты окупаются дополнительной прибавкой урожая (10–15 %) сельскохозяйственных культур. При подаче жидкого навоза непосредственно в почву эффективно используется до 90 % аммиака, при этом в 7–10 раз снижаются потери питательных веществ за счет устранения поверхностного стока и испарения аммиачного азота [1, 2], что ведет к уменьшению загрязнения окружающей среды и предотвращению заражения кормовых культур гельминтами, патогенными и другими вредоносными бактериями.

В связи с этим для обеспечения равномерной подачи жидкого навоза к заделывающим рабочим органам возникает необходимость обоснования конструктивных и кинематических параметров роторного распределителя с целью разработки новых, более эффективных и экологически состоятельных средств механизации.

Основная часть

Роторный распределитель предназначен для деления большого потока жидкого навоза, подаваемого из цистерны, на множество (по числу шлангов-понижителей) одинаковых малых потоков. Схема технологического процесса представлена на рис. 1.

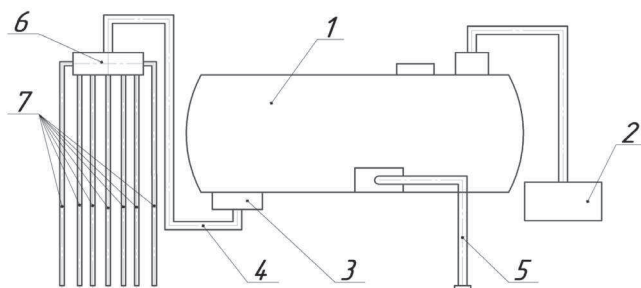


Рис. 1. Технологическая схема машины для внутривпочвенного внесения жидкого навоза: 1 – цистерна; 2 – вакуум-компрессор; 3 – задвижка; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – роторный распределитель; 7 – разливочные шланги

Схема роторного распределителя представлена на рис. 2. Он состоит из цилиндрического корпуса 1, плотно закрывающейся крышки 2 с сапуном 3, в центр которой прикреплен конец нагнетательного трубопровода 4, распределительного ротора, состоящего из стакана 5, патрубков 6 и выливных штуцеров 7.

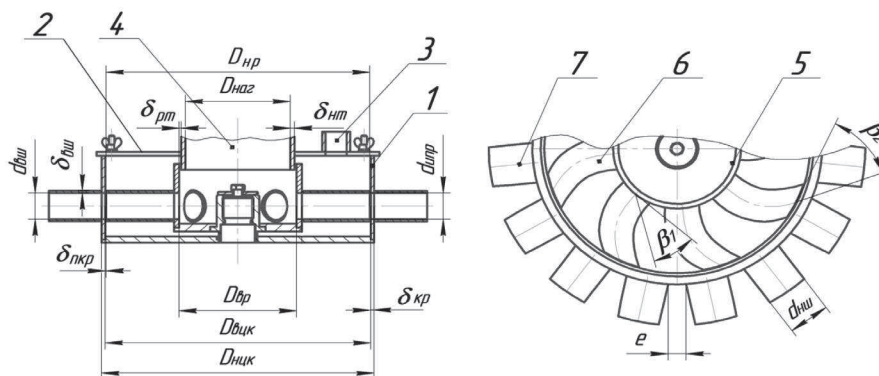


Рис.2. Схема для обоснования конструктивных и кинематических параметров роторного распределителя: 1 – цилиндрический корпус; 2 – крышка; 3 – сапун; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – стакан ротора; 6 – патрубок ротора; 7 – выливной штуцер

При определении внутреннего диаметра ротора распределителя (рис. 2), руководствуясь целью максимально использовать серийно выпускаемые узлы и детали, значение диаметра нагнетательного трубопровода примем таким же, как и у серийных машин для поверхностного внесения жидкого навоза. Тогда внутренний диаметр ротора $D_{вр}$ можно определить по формуле:

$$D_{вр} = D_{наг} + 2\delta_{нт} + 2\delta_{рм}. \quad (1)$$

где $D_{наг}$ – внутренний диаметр нагнетательного трубопровода серийной машины, м; $\delta_{нт}$ – толщина стенки нагнетательного трубопровода, м; $\delta_{рм}$ – зазор между внутренней поверхностью ротора и наружной поверхностью нагнетательного трубопровода, м.

Наружный диаметр ротора

$$D_{нр} = D_{внк} - 2\delta_{нкр}. \quad (2)$$

где $D_{внк}$ – внутренний диаметр корпуса роторного распределителя, м; $\delta_{нкр}$ – зазор между патрубками ротора и внутренней стенкой корпуса роторного распределителя, м.

Внутренний диаметр корпуса роторного распределителя:

$$D_{внк} = D_{ннк} - 2\delta_{кр}, \quad (3)$$

где $D_{ннк}$ – наружный диаметр корпуса роторного распределителя, м; $\delta_{кр}$ – толщина стенки корпуса роторного распределителя, м.

Наружный диаметр $D_{ннк}$ цилиндрического корпуса роторного распределителя определяется количеством выливных штуцеров $z_{ш}$, расположенных в один ряд по длине окружности корпуса. А их количество, в свою очередь, определяется рабочей шириной захвата B_m агрегата и шагом расстановки рабочих органов в секции X_T :

$$z_{ш} = \frac{B_m}{X_T}, \quad (4)$$

где $z_{ш}$ – количество выливных штуцеров, шт.; B_m – ширина захвата агрегата, м; X_T – шаг расстановки рабочих органов в секции адаптера, м.

Для исключения попадания навоза в корпус роторного распределителя принимаем внутренний диаметр патрубков ротора $d_{шр}$ равным внутреннему диаметру выливных штуцеров $d_{ви}$, который определяется по следующей формуле [3]:

$$d_{ви} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_n}{\pi \cdot v \cdot z_{ш}}}, \quad (5)$$

где Q_n – объем подаваемого жидкого навоза из цистерны в роторный распределитель за единицу времени, м³/с; v – средняя скорость движения жидкого навоза по трубопроводу, м/с.

Среднюю скорость движения жидкого навоза по трубопроводу выбираем из условия [4]:

$$v_{кр1} \leq v \leq v_{кр2}, \quad (6)$$

где $v_{кр1}$ – минимально допустимая скорость движения жидкого навоза из условия отсутствия осаждаемости и заиливания трубопровода ($v_{кр1} = 0,6...0,8$ м/с); $v_{кр2}$ – скорость, определяющая переход к турбулентному режиму течения жидкого навоза в трубе ($v_{кр2} \approx 3,6$ м/с).

Тогда наружный диаметр $D_{ннк}$ корпуса распределителя, с учетом полученных формул (4) и (5), можно определить по выражению:

$$D_{ннк} = \frac{B_m \left(\sqrt{\frac{4 \cdot Q_n \cdot X_T}{\pi \cdot v \cdot B_m}} + 2\delta_{ви} + e \right)}{\pi X_T}, \quad (7)$$

где $\delta_{ви}$ – толщина стенки выливного штуцера, м; e – технологический зазор между выливными штуцерами, м.

Количество патрубков ротора z_n определим из условия:

$$\sum S_{unp} \geq S_{наг}, \quad (8)$$

где $\sum S_{unp}$ – суммарная площадь поперечных сечений патрубков ротора, м²; $S_{наг}$ – площадь поперечного сечения нагнетательного трубопровода, м².

Суммарную площадь поперечных сечений патрубков ротора определим по выражению:

$$\sum S_{unp} = z_n S_{unp}, \quad (9)$$

где z_n – количество патрубков ротора, шт.

Площади поперечных сечений патрубка и нагнетательного трубопровода определим по известной формуле:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (10)$$

Тогда, подставив в условие (9) значения площадей и выразив количество патрубков ротора z_n , получим:

$$z_n = \frac{\pi D_{наг}^2 v_{zu}}{4 \cdot Q_n}. \quad (11)$$

Полученную цифру округляем до целого числа в большую сторону.

Так как площадь сечения патрубка ротора постоянна по всей его длине, то скорость на входе в патрубок v_1 будет равна скорости на выходе из него v_2 и будет вычисляться по формуле:

$$v_{om} = \frac{4 \cdot Q_n}{z_n \cdot \pi \cdot d_{unp}^2}. \quad (12)$$

Заключение

Полученные формулы позволяют обосновать основные конструктивные и кинематические параметры роторного распределителя, при которых будет обеспечена равномерная подача жидкого навоза к каждому рабочему органу.

Список использованных источников

1. Попробуйте органику! Современные технологии внесения в почву отходов животноводства // Новое сельское хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 58–63.
2. Технология внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений. – М.: Колос, 1987. – 60 с.
3. Жарский, М. А. Гидро- и пневмотранспорт в сельском хозяйстве: учебное пособие для студентов с.-х. вузов / М. А. Жарский, Г. П. Цыганок. – Горки : БСХА, 1988. – 68 с.
4. Грачева, Л. И. Трубопроводный транспорт на животноводческих фермах / Л.И. Грачева, Н.Н. Шумляк. – М.: Колос, 1979. – 159 с.

Н. В. Зык, В. О. Шункевич, И. В. Зык, О. В. Малашенко

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

E-mail: oup@bntu.by

СИНТЕЗ И ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕКСАФТОРОСИЛИКАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Был разработан метод целенаправленного синтеза гексафторосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов с заданными химическими свойствами. Проведены лабораторные испытания и производственная проверка предложенного метода синтеза гексафторосиликатов из гексафторосиликатсодержащих (SiF_6^{2-}) жидкофазных отходов производства стеклоизделий (сточных вод из адсорберов цеха химического полирования стеклоизделий Борисовского хрустального завода), которые подтвердили возможность выпуска в Республике Беларусь широкого ассортимента гексафторосиликатов реактивной квалификации.

Ключевые слова: щелочные элементы, щелочноземельные элементы, гексафторосиликат, растворение, химический состав.

N. V. Zyk, V. O. Shunkevich, I. V. Zyk, O. V. Malashenko

Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

E-mail: oup@bntu.by

SYNTHESIS AND THERMOCHEMICAL STUDY OF HEXAFLUOROSILICATES OF ALKALI AND ALKALINE EARTH ELEMENTS

Abstract. A method was developed for the targeted synthesis of hexafluorosilicates of alkali and alkaline earth metals with desired chemical properties. Laboratory tests and production verification of the proposed method for the synthesis of hexafluorosilicates from hexafluorosilicate-containing (SiF_6^{2-}) liquid-phase waste from the production of glassware (wastewater from adsorbers of the chemical polishing shop of glassware of the Borisov Crystal Plant) were carried out, which confirmed the possibility of producing a wide range of reactive grade hexafluorosilicates in the Republic of Belarus.

Keywords: alkaline elements, alkaline earth elements, hexafluorosilicate, dissolution, chemical composition.

Введение

Проблема разработки высокоэффективных методов получения и освоение новых технологических схем синтеза гексафторосиликатов, так же, как и интенсификация существующих технологических процессов в промышленности актуальны в настоящее время, так как эти соединения применяют в различных отраслях народного хозяйства, например в пищевой промышленности (кремнефтористоводородная кислота, гексафторосиликаты натрия и калия) и в сельском хозяйстве (гексафторосиликаты натрия, калия, кальция, стронция и бария). Исследования в этой области могут проводиться только при наличии данных о физико-химических свойствах указанных соединений. На гексафторосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов приходится около 90 % общего объема производства кремнефтористых солей. В большинстве литературных источников основой исследования процессов синтеза указанных соединений является разработка технологических схем получения технических гексафторосиликатов в виде побочных продуктов при производстве фосфорной кислоты и фосфатных удобрений, при этом товарные продукты содержат не более 90 массовых % основного вещества.

Основная часть

В пищевой промышленности в качестве антиферментационных агентов и ингибиторов брожения может быть использована кремнефтористоводородная кислота (образуется при химическом полировании стеклоизделий как побочный продукт), которую применяют для дезинфекции аппаратуры и трубопроводов на пивоваренных заводах и табачных фабриках, гексафторосиликат натрия – для фторирования воды.

В сельском хозяйстве гексафторосиликаты нашли применение преимущественно в качестве инсектицидов и фунгицидов, что является важнейшей областью их применения. Хорошо растворимые гексафторосиликаты повышают кислотность почвы. В настоящее время преимущественно используют гексафторосиликаты натрия и бария.

Полученные соединения могут быть использованы и в лабораторной практике, и для производственных целей. В ходе лабораторных испытаний получено 300–500 г каждого из исследуемых гексафторосиликатов, в ходе производственной проверки – 410 кг гексафторосиликата натрия реактивной квалификации «Ч» (в том числе из карбоната натрия – 230 кг, остальное – из хлорида натрия, как наиболее дешевых и доступных сырьевых источников). Полученный продукт может быть использован в сельском хозяйстве в качестве гербицида и дефолианта. На техническом совете Борисовского хрустального завода принято решение о принятии предложенной схемы в качестве промышленного метода.

Объекты нашего исследования получены растворением хлоридов, карбонатов и гидроксидов соответствующих элементов в 10–30 %-ном избытке кремнефтористоводородной кислоты (при использовании карбонатов и гидроксидов). Осадки малорастворимых в воде гексафторосиликатов натрия, калия, рубидия, цезия и бария отделяли от маточного раствора фильтрованием и далее промывали холодной дистиллированной водой. Хорошо растворимые в воде гексафторосиликаты лития, кальция, стронция выделены из фильтрата выпариванием соответствующих растворов при нагревании. Затем синтезированные гексафторосиликаты сушили при температуре 65–155 °С и измельчали. Температура из сушки подбиралась индивидуально для каждого соединения согласно данным термического анализа для того, чтобы предотвратить термическое разложение синтезированных солей. Она составила 70 °С для гексафторосиликатов лития и кальция, 65 °С – для гексафторосиликата магния, 155 °С – для остальных гексафторосиликатов. Полученные соединения идентифицировали методами рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализов, для кристаллогидратов и их безводных солей – методом комплексного термогравиметрического анализа [1].

Для определения химического состава продукты синтеза анализировали на содержание гексафторосиликат- и фторид- ионов (в пересчете на HF), общий фтор и кремний. Все использованные методики известны из литературы, их применимость в каждом отдельном случае установлена в предварительных опытах.

Кроме того, содержание гексафторосиликат- и фторид- ионов контролировали алкалиметрически. Анализ на общий фтор проводили потенциометрическим методом с использованием ионоселективного электрода с мембраной из монокристалла фторида лантана. Содержание общего кремния контролировали методом электронного микроскопического анализа. Микрофотографии выделенных твердых фаз в системах гексафторосиликат – вода проводили оптическим методом с использованием микроскопа типа Полам Л-213 (видимый проходящий поляризованный свет), в основу которого было положено сопоставление показателей преломления и дисперсии у исследуемых образцов и соответствующих иммерсионных жидкостей (рис. 1 – гексафторосиликат натрия, 540X, в 1 см 20 мкм, рис. 2 – гексафторосиликат кальция, 400X, в 1 см 25 мкм).



Рис. 1. Гексафторосиликат натрия

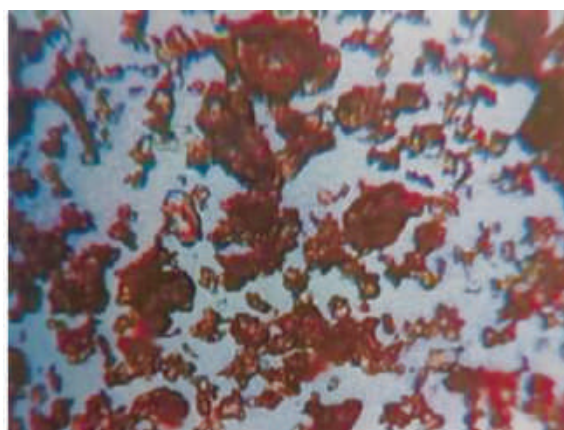


Рис. 2. Гексафторосиликат кальция

Количество кристаллизационной воды определяли по потере массы при нагревании выше температуры разложения соответствующего гексафторосиликата. Полученные значения анализируемых величин приведены в таблице.

Химический состав синтезированных гексафторосиликатов (ГФС)

Соединение	Исходный реагент	Содержание в ГФС, мас.%				
		SiF ₆ ²⁻	HF	F _{общ.}	Si	Основного вещества
Li ₂ SiF ₆	Li ₂ CO ₃	81,32±0,02	0,060±0,006	57,28±0,03	14,10±1,20	99,53±0,03
Na ₂ SiF ₆	NaCl	84,61±0,02	0,050±0,005	59,91±0,02	14,75±1,20	99,76±0,03
K ₂ SiF ₆	KCl	73,84±0,02	0,060±0,006	51,28±0,02	12,62±1,20	99,98±0,03
Rb ₂ SiF ₆	RbCl	54,74±0,01	0,050±0,005	35,94±0,01	8,84±0,080	99,56±0,03
Cs ₂ SiF ₆	CsCl	44,38±0,01	0,050±0,005	27,63±0,02	6,80±0,80	99,71±0,03
MgSiF ₆	MgCO ₃	58,71±0,02	0,080±0,006	39,16±0,02	9,60±1,00	99,51±0,03
CaSiF ₆	CaCO ₃	72,90±0,02	0,100±0,001	50,56±0,02	12,44±1,40	99,50±0,03
SrSiF ₆	SrCO ₃	61,83±0,02	0,100±0,005	41,68±0,02	10,25±1,20	99,92±0,03
BaSiF ₆	BaCl ₂	60,30±0,02	0,050±0,005	40,40±0,02	9,90±1,00	99,25±0,03

Выбранная нами методика определения состава кремнефтористоводородной кислоты является наиболее надежной из имеющихся в литературе [2], так как применима к кислоте любого состава и обеспечивает получение точных и воспроизводимых данных, что установлено нами в предварительных опытах. Применительно к исследуемым нами кислотам она состоит в следующем.

Около 0,45 г кислоты, а в случае использования в качестве кислоты кремнефторсодержащих жидкофазных отходов производства стеклоизделий около 2,00 г, взвешивали с погрешностью не более 0,0002 г в плотно закрывающемся бюксе из полиэтилена и количественно переносили в полиэтиленовый стакан емкостью 300–400 мл. К раствору прибавляли 3–4 капли насыщенного раствора фторида калия, перемешивали и охлаждали в бане с тающим льдом 15 минут. При этом, как следует из литературных данных, все низкофторированные комплексы, входящие в состав кислоты (SiF₅(OH₂)-, SiF₄(OH₂)₂- и H₂SiO₃) переходят в K₂SiF₆. Затем в раствор вводили около 7 г хлорида калия, тщательно перемешивали и выдерживали в бане с тающим льдом еще 15 минут. К смеси прибавляли 2–3 капли 1,0 мас.-%-ого раствора фенолфталеина и титровали 0,25 н. раствором гидроксида натрия NaOH до исчезающей в течение 10–15 с малиновой окраски (гексафторосиликат при этом не титруется). Затем к раствору прибавляли 200 мл горячей дистиллированной воды, добавляли 1 мл 1 мас.-%-ого фенолфталеина и титровали тем же раствором NaOH до постоянного слабо-розового окрашивания. В качестве результирующего значения анализируемого параметра принимали среднее арифметическое из шести параллельных определений, абсолютное

значение расхождения между которыми не превышало суммарной погрешности данного определения (0,20 отн. % для H_2SiF_6), которая принималась за допускаемую.

Определение массовой доли гексафторосиликатов и фторидов в синтезированных кристаллических соединениях, жидких и твердых фазах равновесных систем состава $\text{X}_x\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$ ($\text{X}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) проводили по единой методике, усовершенствованной нами на основании анализа имеющихся соответствующих литературных данных [3]. Целесообразность использования разработанной методики была подтверждена нами в предварительных опытах при определении химического состава раствора и твердой фазы в равновесной системе $\text{K}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$ при 25 и 50 °С, результаты которого совпадают в пределах погрешности используемых методов анализа с результатами аналогичных определений, проведенных А.А. Васильевым и Н.Н. Мартыновой для той же системы [2]. Определение искомых величин проводили методами химического (алкалометрического) объемного анализа и (для сравнения) потенциометрического титрования следующим образом.

Алкалометрический анализ. При анализе кристаллических соединений на содержание гексафторосиликат-ионов и фторидов в полиэтиленовый (фторлон-4) химический стакан емкостью 500 мл вводили навеску анализируемого препарата, взвешенного с погрешностью не более 0,0002 г и 150 мл дистиллированной воды, свободной от углекислоты [4]. Затем к раствору гексафторосиликата добавляли избыток KCl и после тщательного перемешивания и стояния в течение часа к раствору добавляли спирт (1:1), причем на 100 мл 50 %-ого спирта прибавляли около 2 г KCl . Раствор тщательно перемешивали и дополнительно охлаждали в бане с тающим льдом. Через 30 минут к смеси прибавляли 2–3 капли 1 %-ого фенолфталеина и титровали 0,1 н. раствором NaOH из микробюретки до исчезающей в течение 10–15 с малиновой окраски. Взвесь разбавляли 200 мл горячей (~ 80 °С) дистиллированной воды, вводили 1 мл 1 %-ого фенолфталеина и титровали тем же раствором NaOH до появления слабо-розовой окраски.

При определении состава жидких фаз в исследуемых системах $\text{X}_x\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$ маточный раствор, отделенный путем декантации от твердой фазы, отфильтровывали через сложенный вдвое бумажный фильтр «синяя лента» (ТУ 6-09-1678-77).

Отфильтрованной жидкостью наполняли пикнометры емкостью 100 мл каждый и взвешивали их на аналитических весах. Если полученные при трех параллельных опытах удельные веса одних и тех же растворов различались больше, чем на четыре единицы в четвертом знаке, то эксперименты повторяли. Затем в анализируемый раствор вводили 150 мл дистиллированной воды, свободной от углекислоты, избыток KCl и далее анализ проводили аналогично описанному выше для кристаллических соединений.

Заключение

В результате проведенного исследования был разработан метод целенаправленного синтеза гексафторосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов с заданными химическими свойствами. Проведены лабораторные испытания и производственная проверка предложенного метода синтеза гексафторосиликатов из гексафторосиликатсодержащих жидкофазных отходов производства стеклоизделий (сточных вод из адсорберов цеха химического полирования стеклоизделий Борисовского хрустального завода), которые подтвердили возможность выпуска в Республике Беларусь широкого ассортимента гексафторосиликатов реактивной квалификации.

Список использованных источников

1. Оробей, Н. В. ИК спектроскопический и рентгенофазовый анализ гексафторосиликатов / Н. В. Оробей, А. Н. Третьяк, Г. И. Новиков // Весці НАН Беларусі. Серыя хімічных навук. – 1999. – № 4. – С. 5–8.
2. Оробей, Н. В. Получение кремнефторидов из отходов производства стекла / Н. В. Оробей, А. Н. Третьяк, Г. И. Новиков // Весці НАН Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2000. – № 1. – С. 113–115.
3. Оробей, Н. В. Определение теплот растворения гексафторосиликатов в воде / Н. В. Оробей, Г. И. Новиков // Весці НАН Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2000. – № 4. – С. 41–43.
4. Оробей, Н. В. Особенности процесса растворения гексафторосиликатов в воде / Н. В. Оробей, Б. А. Бутылин, Г. И. Новиков // Весці НАН Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2003. – № 4. – С. 77–79.

СОДЕРЖАНИЕ

Азаренко В. В., Голдыбан В. В., Бегун П. П. Методологические подходы передачи решений от биологии к инженерии	3
Комлач Д. И., Антоненко А. Н., Голдыбан В. В. К вопросу утилизации теплоты отработавших газов в двигателях внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники	9
Комлач Д. И., Юрин А. Н. Линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 и результаты её испытаний	19
Комлач Д. И., Голдыбан В. В., Бегун П. П. Терминология инженерного проектирования, основанного на биологическом подходе	26
Комлач Д. И., Юрин А. Н. Опрыскиватель двухрядный для ягодников ОД-2 и результаты его испытаний	30
Перепечаев А. Н., [Кислов Е. В.], Тарима А. И., Колешко С. П. Техническое обеспечение льнозаводов	36
Дыба Э. В., Микульский В. В., Трофимович Л. И., Пунько А. И., Свидович А. Ч. Обоснование основных конструктивных и кинематических параметров комбинированного рабочего органа для внесения мелиорантов	39
Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В. Почвовлагосберегающие машины для основной безотвальной обработки почвы и перспективы их развития (для условий Республики Беларусь)	45
Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В. Новые технические решения для влагонакопления и влагосбережения на склоновых землях	51
Ленский А. В., Жешко А. А. Разработка алгоритма рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы	56
Паркалов И. В., Жилич Е. Л., Цалко С. А., Екельчик О. Л., Рогальская Ю. Н., Никончук В. В. Экструдированная углеводная добавка в рационах кормления пушных зверей	62
Рогальская Ю. Н. Теоретические предпосылки к обоснованию параметров доильного станка	66
Рогальская Ю. Н. Современные тенденции развития сосковой резины	72
Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н., Никончук В. В., Кошля Г. И. Результаты разработки и применения комплекта оборудования для производства легкоусвояемого концентрата на основе местного зернового сырья для молодняка животных КЛК-0,7 в условиях хозяйства	77
Жилич Е. Л., Жешко Н. В., Жешко А. А., Рогальская Ю. Н. Аппаратная и программная реализация автоматизированной системы биометрической идентификации предмаститного состояния	82
Константинов В. М., Ткаченко Г. А. Высокопрочный крепеж для работы в условиях абразивного изнашивания	88
Константинов В. М., Ткаченко Г. А., Голдыбан В. В. Обеспечение самозатачивания наплавкой плужных лемехов	96
Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В. Теоретическое обоснование параметров дискового рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях	101
Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В. Теоретическое обоснование параметров прикатывающих рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях	106

Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В. Теоретическое обоснование основных параметров рыхлительных рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.	114
Юрин А. Н. Обоснование модели автоматизированного процесса сортирования плодов	122
Юрин А. Н. Исследования физико-механических свойств и размерных характеристик ветвей плодовых деревьев	129
Юрин А. Н. Методы идентификации качества плодов	134
Юрин А. Н. Автоматизированное деление потока плодов при сортировке системой технического зрения	140
Юрин А. Н. Формирование потока при автоматической сортировке плодов.	144
Юрин А. Н. Создание обучающей выборки для искусственной нейронной сети системы технического зрения.	148
Юрин А. Н. Обоснование метода осмотра при оптической идентификации качества плодов.	153
Юрин А. Н. Обоснование производительности средств механизации в садоводстве Беларуси.	157
Юрин А. Н. Исследование процесса механизированной загрузки яблок в контейнер плодуборочного агрегата.	168
Юрин А. Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы туннельного устройства шаптрового опрыскивателя	175
Юрин А. Н. Выбор схемы самоходного агрегата для уборки яблок	179
Юрин А. Н. Определение параметров платформ агрегата для уборки яблок и обрезки деревьев	182
Юрин А. Н. Разработка алгоритма трекинга изображения плодов для их классификации и сортировки	184
Микульский В. В., Дыба Э. В., Трофимович Л. И., Яровенко П. В. Обзор и анализ конструкций граблей-валкователей гребёчатого типа	188
Кувшинов А. А. Определение потерь давления при пневматическом транспортировании материалов по горизонтальному пневмопроводу.	197
Жешко А. А., Ленский А. В. Функциональная и информационная модели автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов	202
Сапун Л. Г., Дашков В. Н., Захаров А. В., Захарова И. О. Обоснование номенклатуры изделий для эмалирования оборудования, применяемого на животноводческих фермах	208
Воробей А. С. Искусственный интеллект – залог будущего для АПК Республики Беларусь	212
Воробей А. С., Голдыбан В. В., Бабак Ю. Н. Пути повышения равномерности посадки картофеля	222
Тарасенко В. Е., Жешко А. А., Мухля О. О. Результаты модернизации диагностического стенда для работы с системами «насос-форсунка» и «насос-трубка-форсунка»	227
Байметов Р. И., Абдулхаев Х. Г. Перспективы развития и совершенствования комплекса машин для возделывания и уборки картофеля в Республике Узбекистан	236
Гедроить Г. И., Занемонский С. В. Совершенствование ходовых систем тракторных прицепов.	241
Капустин Н. Ф. SWOT-анализ выполнения в Беларуси проекта по приготовлению и применению подстилочного материала на основе навоза крупного рогатого скота	247
Клыбик В. К., Пылило И. С. Обоснование параметров вращающихся распылителей для ультрамалообъемного внесения жидких растворов	250
Гируцкий И. И., Немирович С. И., Клыбик В. К. Разработка модели оценки эффективности применения доильных роботов	255
Гируцкий И. И., Ракевич Ю. А., Клыбик В. К. Совершенствование доильных аппаратов для щадящего доения коров и средства их диагностики	261
Садовская А. В., Петренко Е. А. Разработка конструкции деревянной упаковки для транспортирования сложнотехнической продукции.	267

Селиванова В. П., Карпунин В. И. Инновационный подход в дизайне сельскохозяйственного оборудования на примере пресс-подборщика лент льна самоходного ПЛС-1	273
Юрин А. Н. Разработка графического интерфейса приложения для системы технического зрения линии сортировки плодов	276
Дыба Э. В., Ловкис В. Б., Пётух А. В. Обоснование условий безударной подачи жидкости из патрубка в штуцеры роторного распределителя	283
Дыба Э. В., Ловкис В. Б., Пётух А. В. Обоснование конструктивных и кинематических параметров роторного распределителя	289
Зык Н. В., Шункевич В. О., Зык И. В., Малашенко О. В. Синтез и термохимическое исследование гексафторосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов.	293

Научное издание

**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Межведомственный тематический сборник

Основан в 1968 году

Выпуск 56

Редактор-корректор *Т. А. Карпунина*
Компьютерная верстка *М. Э. Юрени*

Подписано в печать 23.03.2023. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 34,88. Уч.-изд. л. 30,0. Тираж 100 экз. Заказ 57.

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.