

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ



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

Механизация и электрификация сельского хозяйства

Межведомственный тематический сборник
Основан в 1968 году

Выпуск 52

Минск
«Беларуская навука»
2019

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. 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 (*главный редактор*);
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
С. Г. Яковчик (*зам. главного редактора*);
доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси
В. В. Азаренко; *доктор технических наук, профессор,*
член-корреспондент УААН В. И. Кравчук (Украина); доктор технических наук,
профессор, академик РАН Н. М. Морозов (Российская Федерация);
доктора технических наук, профессора В. Н. Дашков, В. О. Китиков,
Я. П. Лобачевский (Российская Федерация),
В. И. Передня, В. Романюк (Республика Польша),
П. А. Савиных (Российская Федерация), Л. Я. Степук,
И. Н. Шило; доктор технических наук, доцент В. П. Чеботарев;
кандидаты технических наук, доценты Н. Г. Бакач, А. Н. Басаревский,
А. А. Жешко, В. К. Клыбик, Н. Д. Лепешкин, А. И. Пунько, Ю. Л. Салапура,
А. Н. Юрин; кандидат экономических наук, доцент В. Г. Самосюк;
кандидаты технических наук И. В. Барановский, В. В. Голдыбан,
Н. Ф. Капустин, И. М. Лабоцкий, А. Л. Рапинчук, В. В. Чумаков;
кандидат экономических наук А. В. Ленский.

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси
В. В. Азаренко; *доктора технических наук, профессора*
В. Н. Дашков, В. И. Передня, В. О. Китиков, Л. Я. Степук, И. Н. Шило;
доктор технических наук, доцент В. П. Чеботарев.

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.

С. Г. Яковчик, Н. Г. Бакач, Ю. Л. Салапура, В. К. Клыбик

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В статье представлены перспективные направления развития информационно-управляющих систем в сельскохозяйственном производстве, результаты разработки инноваций в данной области в Республике Беларусь на современном этапе.

Ключевые слова: информационно-управляющие системы, точное земледелие, точное животноводство, машинно-тракторный агрегат, дистанционный мониторинг, бортовой компьютер, машинное зрение.

S. G. Yakovchik, M. G. Bakach, Y. L. Salapura, V. K. Klybik

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by*

PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

The article presents perspective directions of development of information-controlled systems in agricultural production. The results of the development of innovations in this field in the Republic of Belarus at the present stage are presented.

Keywords: management information systems, precision agriculture, precision livestock farming, machine-tractor unit, remote monitoring, on-board computer, machine vision.

Введение

Приоритетной задачей каждого государства является обеспечение его продовольственной безопасности. Первостепенное значение уделяется производству зерновых и зернобобовых культур. Об этом свидетельствуют следующие цифры: с сезона 2000/2001 гг. по прогнозный сезон 2017/18 гг. суммарное потребление зерна в мире выросло в 1,37 раза – с 1894 до 2599,6 миллиона тонн (рисунок 1), а цены за этот период, согласно индексу Международного совета по зерну, выросли практически в 2 раза. Эта ситуация отражает долгосрочный тренд роста спроса на зерно и ограниченности мировых возможностей его производства.

С учетом роста населения нашей планете уже через 30 лет потребуются на 70 % больше продуктов питания, чем их производится в данный момент.

В Республике Беларусь проблема продовольственной безопасности в аспекте независимости и обеспеченности основными продуктами питания собственного производства в настоящее время решена. Однако при том, что энергообеспеченность 1 га сельскохозяйственных угодий Беларуси и стран ЕС сопоставима, на производство единицы сельхозпродукции в республике расходуется в 2–2,5 раза больше топлива, в 1,2–1,5 раза – семенного материала и почти в 2 раза – удобрений, что сказывается на себестоимости продукции.

Поэтому стратегической целью развития сельского хозяйства Республики Беларусь на период до 2030 года является формирование конкурентоспособного на мировом рынке и экологически

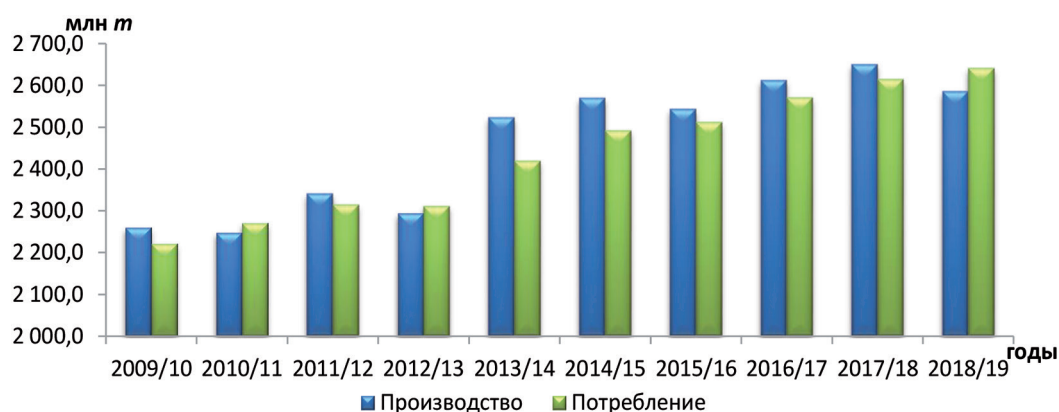


Рисунок 1. – Производство и потребление зерновых в мире

безопасного производства продуктов питания, поддержание достигнутого уровня продовольственной безопасности страны и обеспечение полноценного питания и здорового образа жизни населения республики. Для этого требуется решение следующих задач:

- снизить затраты ресурсов и повысить рентабельность производства сельскохозяйственной продукции;
- повысить качество продовольствия и его конкурентоспособность на международных рынках.

По оценкам экспертов, Республика Беларусь способна не менее чем на 50 процентов увеличить производство растениеводческой продукции и достичь к 2030 году рентабельности продаж не менее 11–13 процентов.

Основная часть

Изучение мирового опыта и тенденций свидетельствует о переходе сельского хозяйства на ресурсосберегающие технологии, одним из базовых элементов которых является точное сельское хозяйство. Лидерами по внедрению технологий точного земледелия являются сельхозтоваропроизводители США, Германии, Дании, Голландии, Японии, Бразилии, Китая и Австралии [1].

Так, с развитием научно-технического прогресса все активнее стала применяться компьютеризация фермерских хозяйств. Уже в 2009 году доступ в «глобальную паутину» имели 59 % американских фермеров, а 64 % ферм были оснащены компьютерами, позволяющими получать новейшую информацию по всем вопросам агропромышленного бизнеса. На сегодняшний день, благодаря компьютеризации и автоматизации, в сельском хозяйстве США занято порядка 1,5 % населения [2].

В Германии в более чем в 60 % фермерских хозяйств сельскохозяйственная техника обеспечена высокоточными приборами, использующими информацию со спутников. Применение технологии точного земледелия способствует повышению урожайности на 30 % при экономии затрат средств 100–150 €/га [3].

Это свидетельствует о том, что в мире активно ведутся работы по переходу на *Сельское хозяйство 4.0*, которое открывает путь к использованию в сельскохозяйственном производстве робототехники и искусственного интеллекта.

В настоящее время в мировой практике применяются такие словосочетания, как «цифровая экономика», «цифровое земледелие» (*Digital Farming*), «точное земледелие» (*Precision Farming*), «цифровое животноводство» (*Digital Animal Farming*).

В Республике Беларусь Государственной программой развития аграрного бизнеса на 2016–2020 годы в области механизации и автоматизации сельского хозяйства (подпрограмма «Техническое переоснащение и информатизация агропромышленного комплекса») предусматриваются техническое переоснащение и информатизация агропромышленного комплекса страны, переход на ведение электронного сельского хозяйства посредством концептуализации, проектирования, разработки, оценки и применения инновационных способов использования информационно-коммуникационных технологий.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» уже с 2011 года занимается разработкой отдельных элементов системы точного земледелия. Так, в рамках отраслевой научно-технической программы «Импортозамещающая продукция» совместно с ОАО «Минский часовой завод» был разработан комплект оборудования и программного обеспечения системы дистанционного мониторинга машинно-тракторных агрегатов, включающий модуль телеметрический и модуль идентификации, топливные датчики, сервер и специализированное программное обеспечение, устанавливаемое на рабочее место специалиста (рисунок 2). Данная система позволяет определять координаты местоположения, направления, скорости движения машинно-тракторного агрегата, состав агрегата, обработанную площадь и расход топлива, в том числе в режиме реального времени.

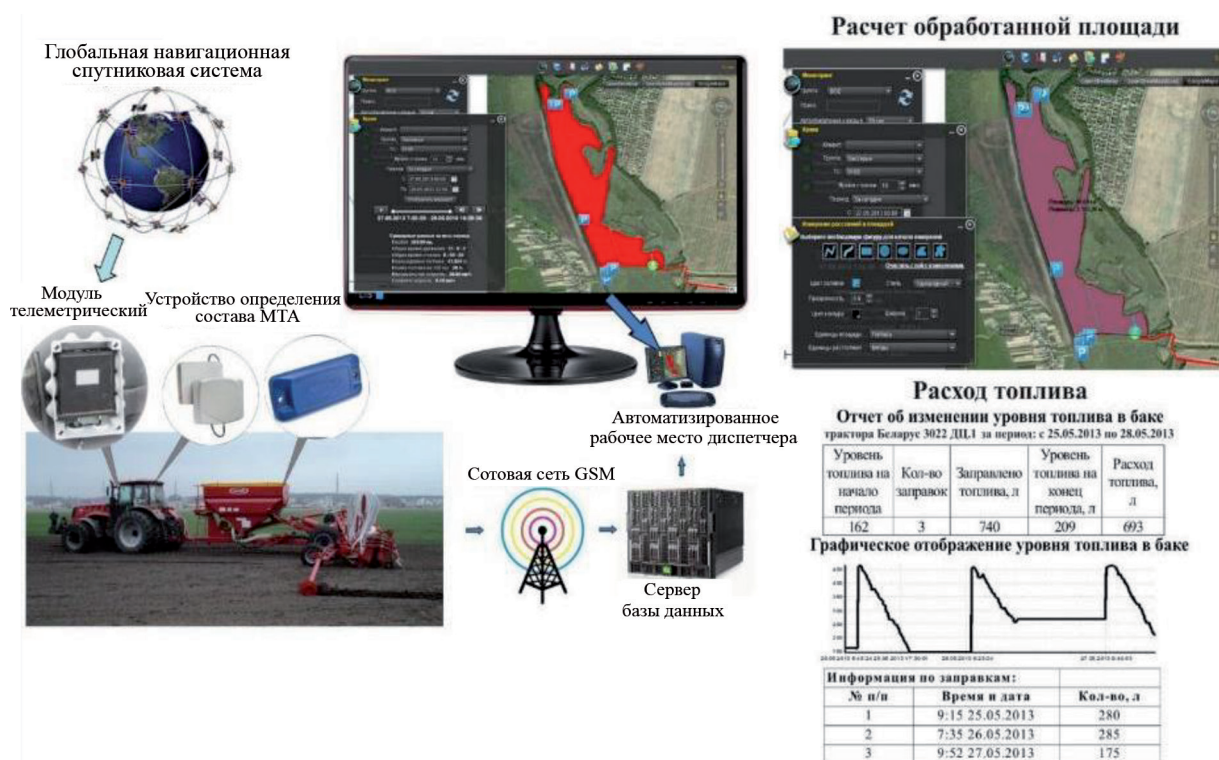


Рисунок 2. – Система дистанционного мониторинга машинно-тракторных агрегатов

В настоящее время системой мониторинга МТА в сельскохозяйственных предприятиях республики оборудовано 3508 тракторов и комбайнов (около 7 % от общего их количества), двумя годами ранее цифра составляла 2250.

Продолжением работы в данном направлении стала разработка и изготовление совместно с НПО «ОКБ ТСП» опытного образца бортового компьютера для тракторов «Беларус 3022/3522» с навигационным модулем (рисунок 3), позволяющего определять текущие координаты МТА с точностью до 10 см в процессе движения на основе использования дифференцированных поправок Республиканского унитарного предприятия «Белгеодезия».

Данный бортовой компьютер позволяет контролировать более 15 эксплуатационных параметров работы трактора и осуществлять автоматическое ведение агрегата по заданной траектории с сантиметровой точностью.

Кроме того, в НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства ведутся работы, направленные на автоматизацию трудоемких процессов в сельском хозяйстве. Например, для идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля из общего вороха разрабатывается система технического зрения и автоматической инспекции по внешним цветовым дефектам: позеленению, наличию ростков, повреждениям ризоктониозом и серебряной паршой, порезам и трещинам. В основу работы положена концепция интеллектуального анализа данных: полученные

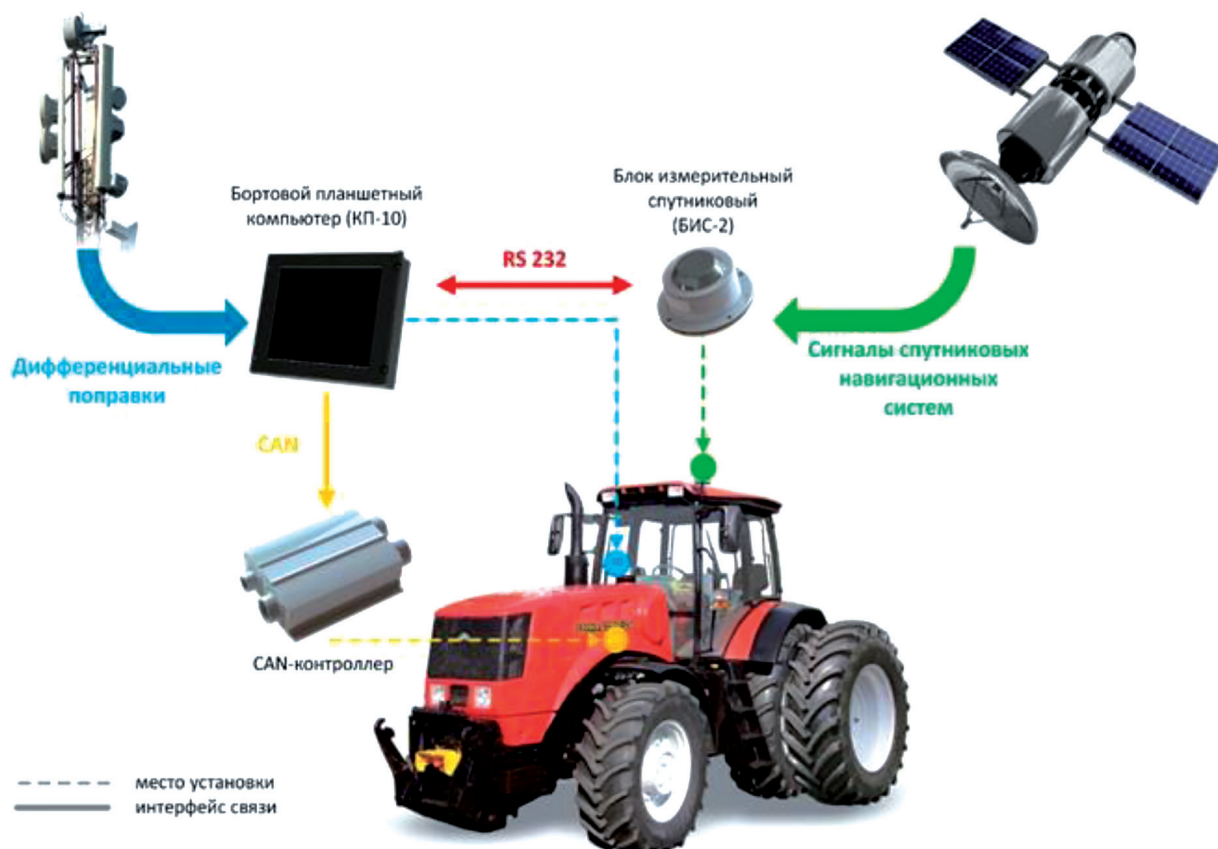


Рисунок 3. – Бортовой компьютер машинно-тракторных агрегатов

с видеокамер изображения картофеля обрабатываются и формируются в образы с последующим распознаванием и выдачей сигнала исполнительному устройству.

Аналитический принцип заложен и для сортировщика плодов, где полученные с видеокамер изображения также обрабатываются и формируются в образы с последующим распознаванием и выдачей сигнала исполнительному устройству, которое в зависимости от качества должно отсортировать три товарных сорта: высший, первый и второй с учетом размера, цвета, наличия механических повреждений, повреждений от болезней и вредителей.

Значительную роль в обеспечении продовольственной безопасности играет и животноводство, процессы в котором наиболее трудоемки. НПЦ по механизации сельского хозяйства также ведет работы по механизации и автоматизации технологических процессов в этой отрасли. Так, разработаны широкий спектр оборудования автоматизированного приготовления и нормированной раздачи жидких кормосмесей и сухих кормов для свиноводства, автоматизированная станция индивидуального кормления свиноматок и комплект оборудования для многократного кормления по биофазам животных, работающие в автоматическом режиме с возможностью удаленного контроля через сеть Интернет, что позволяет максимально исключить влияние человеческого фактора на животноводческих фермах и комплексах.

В то же время современные тенденции в развитии животноводческой отрасли требуют ускорения перехода от управления технологическими процессами и установками к управлению рентабельностью животноводческого предприятия с применением новых инструментов по принятию решений с использованием технологий точного животноводства (рисунок 4).

Поэтому в ближайшей перспективе требуется роботизация процессов в животноводстве, которая достижима путем разработки базовых принципов и программно-технических средств построения интегрированных систем управления, средств автоматизации, информационно-коммуникационных и т. п.

Литература

1. Труфляк, Е. В. Опыт применения систем точного земледелия / Е. В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 22 с.
2. Севостьянова, Е. В. Внедрение результатов НТП в сельское хозяйство США / Е. В. Севостьянова, А. А. Агафонова // Инновационная экономика и общество. – 2016. – № 4 (14). – С. 63–67.
3. Шаталина, Л. П. Точное земледелие как один из путей к энергосбережению ресурсов в сельскохозяйственном производстве / Л. П. Шаталина // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 949–953.
4. Лопачев, Н. А. Теоретические основы использования потоковых структур в прецизионном земледелии / Н. А. Лопачев // Агробизнес и экология. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 240–243.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018. – 235 с.

УДК 658.7:004

Поступила в редакцию 01.06.2018
Received 01.06.2018

Е. И. Михайловский

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: N22-22@yandex.ru*

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

В статье приводятся результаты выполненных исследований по формированию базы информационного обеспечения анализа материальных ресурсов на предприятии.

Ключевые слова: анализ, материальные ресурсы, база, источники информации, структурное подразделение, информационная база.

E. I. Mikhailovsky

*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: N22-22@yandex.ru*

FORMATION OF INFORMATION BASE FOR ANALYSIS OF CONSUMPTION OF MATERIAL RESOURCES AT ENTERPRISE

In the article results of the executed researches on formation of a database of the information providing of the analysis of material resources at the enterprise are resulted.

Keywords: analysis, material resources, base, information sources, structural unit, information base.

Введение

Предприятие представляет собой сложную организационно-управленческую структуру, отдельные элементы которой связаны между собой информационно. Функционирование этой структуры, движение отдельных элементов в едином заданном направлении достигаются посредством организации информационных потоков между субъектом и объектом управления в прямом и обратном направлении [1]. В условиях рыночных отношений важным фактором эффективного управления предприятием становится аналитическая информация.

Результаты исследований

От качества привлеченных источников, полноты и достоверности получаемой информации о состоянии объекта анализа, оперативности поступления и обработки этих данных зависят глубина анализа, достоверность и объективность аналитических выводов.

Для различных видов экономического анализа используется разный набор источников информации. В значительной степени он определяется также отраслевыми и другими особенностями деятельности предприятия (производство, оптовая торговля, оказание услуг), его организационно-управленческой структурой, размером, уровнем автоматизации учета и анализа.

По отношению к предприятию выделяют внутренние и внешние источники информации [2]:

1. Внутренние (учредительные документы; первичные документы, фиксирующие состав и оценку материальных ресурсов предприятия; первичные документы, отражающие движение материальных запасов; проектная и техническая документация; юридические документы, фиксирующие отношения с поставщиками материалов; данные оперативного, бухгалтерского и статистического учета; акты инвентаризаций и ревизий; планово-нормативная документация; бизнес-планы.)

2. Внешние (экономическая политика страны; экономическая информация: состояние спроса и предложения на рынке сырья и материалов, процентные ставки за кредит, волатильность иностранных валют, состояние и перспективы развития отдельных отраслей страны; информация о деятельности, финансовой устойчивости и перспективах развития конкретных контрагентов предприятия.)

Практика показывает, что для проведения финансово-экономического анализа деятельности предприятия важную роль играет внутренняя информация, как наиболее доступная, достоверная, качественная и в большей степени учитывающая состояние объекта анализа. Однако руководителю предприятия для принятия эффективных управленческих решений необходимы дополнительно данные о состоянии внешней среды.

Внешняя информация включает данные об экономической политике государства, о системе налогообложения, о состоянии спроса и предложения на различные товары и услуги, макроэкономические показатели, характеризующие состояние в отрасли, регионе; курсы валют, процентные ставки, темпы инфляции, информацию о финансовом состоянии поставщиков и другие сведения.

По составу и содержанию данных источники информации подразделяют на нормативно-плановые (планы, сметы и нормативные материалы), источники учетного (данные статистического, бухгалтерского, управленческого, оперативного учета и отчетности) и внеучетного характера [3].

Внеучетные источники информации – это данные, регулирующие деятельность предприятия, а также данные об изменении внешней среды функционирования предприятия: официальные документы; хозяйственно-правовые документы; научно-техническая информация; техническая и технологическая документация; материалы специальных обследований; информация об основных контрагентах предприятия; данные об основных конкурентах; данные о состоянии рынка материальных ресурсов; сведения о состоянии рынка капитала; данные о состоянии фондового рынка; информация Госкомстата.

Следует отметить, что результативность анализа напрямую зависит не только от характера информации, но и от организации информационных потоков на предприятии [2]. Таким образом, правомерно рассматривать информационное обеспечение анализа как совокупность двух составляющих: источников информации для проведения анализа и информационной логистики.

Рассмотрим одну из подсистем информационной базы предприятия: информационно-учетное обеспечение анализа материальных ресурсов.

Обеспеченность экономического субъекта материальными ресурсами необходимого количества и качества и их эффективное использование при производстве продукции, выполнении работ и оказании услуг являются отдельным направлением управленческой деятельности. Поступление материальных ресурсов, их хранение на складе, отпуск в производство, потребление в технологическом процессе затрагивают различные отделы (подразделения) предприятия, что отражается на большом и разнообразном потоке информации, дающей представление о состоянии объекта управления.

Значительную роль в анализе материальных ресурсов играет информация нормативно-планового характера, включающая бюджет прямых материальных расходов, бюджет закупок сырья и материалов, плановые калькуляции себестоимости единицы товара, работы (услуги) по статьям

калькуляции, сметы капитального ремонта и капитального строительства, утвержденные лимиты расходования материалов, норматив запасов на начало и конец периода, норматив оборачиваемости видов (групп) товарно-материальных ценностей, другая информация.

Эти данные формируются на предприятии в таких подразделениях, как планово-экономический отдел, отдел капитального строительства, отдел главного технолога, финансовый отдел. Информация необходима для проведения план-факт анализа, анализа выполнения норм расхода материальных ресурсов, а также для оценки политики предприятия в части управления материальными запасами.

Основным источником информации для проведения анализа материальных ресурсов являются данные бухгалтерского учета и отчетности. Это связано в первую очередь с тем, что потоки бухгалтерской информации являются самыми отлаженными в информационной системе предприятия.

Использование учетной информации для получения данных о фактическом размере материальных запасов, затратах материальных ресурсов за отчетный период, выходе продукции и размере прибыли позволяет избежать дублирования потоков данных. В то же время необходимо понимать, что бухгалтерская информация имеет ряд недостатков:

- отставание во времени: данные о затратах сырья и материалов отражаются в бухгалтерии лишь в конце отчетного периода;
- формы сводных регистров бухгалтерского учета регламентированы, вследствие чего типовые регистры не всегда обеспечивают необходимую информацию для целей анализа и обоснования управленческих решений, детализацию информации;
- использование исторической оценки для отражения хозяйственных операций, то есть не учитывается фактор морального старения активов, потери ликвидности и потребительских свойств в результате длительного хранения и других возможных причин;
- использование только стоимостной оценки активов, что делает невозможным проведение оценки качества сырья и материалов, их соответствия стандартам и нормам.

Восполнить эти пробелы позволяют данные оперативного учета и отчетности, которые формируются на предприятии исходя из целей управления материальными ресурсами и методики их анализа. Сбор и предоставление данных в системе оперативного учета, форма и содержание этих документов тесно связаны с утвержденным на предприятии регламентом бюджетного процесса и комплексным планом проведения аналитической работы, запросами управленческого аппарата.

Оперативная информация поступает непосредственно от отделов (подразделений), отвечающих за эти показатели. Дополняет данные, полученные в результате бухгалтерского, статистического и оперативного учета, информация внеучетного характера: официальные внутренние документы, хозяйственно-правовые документы, техническая и технологическая документация, данные о состоянии рынка материальных ресурсов.

Приказами руководителя определяются лимитирующие факторы, учитываемые при анализе состояния политики управления материальными ресурсами (ограничения в выборе каналов поставки, сроков доставки материальных ценностей и пр.). Данные хозяйственно-правовых договоров используются для анализа обеспеченности потребности в материальных ресурсах договорами, ритмичности поставок, выполнения графика поставок и его влияния на размер выпуска продукции.

Информация технического и технологического содержания предоставляется отделами главного механика, главного энергетика, главного технолога, материально-технического снабжения и служит основой для поиска резервов повышения эффективности использования материальных ресурсов на основе внедрения ресурсосберегающих технологий, повышения уровня автоматизации, оптимизации структуры конструкционных материалов.

Для выявления тенденций изменения цен на отдельные виды товарно-материальных ценностей, изучения емкости рынка сырья и материалов, поиска недостатков и резервов роста необходимы данные о состоянии рынка материальных ресурсов. Такая информация используется при планировании финансово-экономической деятельности для учета инфляционных факторов при

разработке отдельных статей операционного и финансового бюджетов, а также для принятия отдельных решений, например, о замене видов сырья и материалов в условиях их нехватки, сезонных колебаний предложения или общего спада в экономике.

С целью оценки полноты информационной базы для проведения анализа материальных ресурсов целесообразно систематизировать источники информации по этапам анализа, выделенным согласно приведенной методике. Методика анализа материальных ресурсов конкретного предприятия должна сочетать в себе черты общих методик (классические аналитические процедуры) и одновременно учитывать отраслевые особенности данного предприятия. С учетом современной теории и практики комплексного финансово-экономического анализа следует выделить этапы анализа материальных ресурсов согласно схеме, приведенной на рисунке 1.

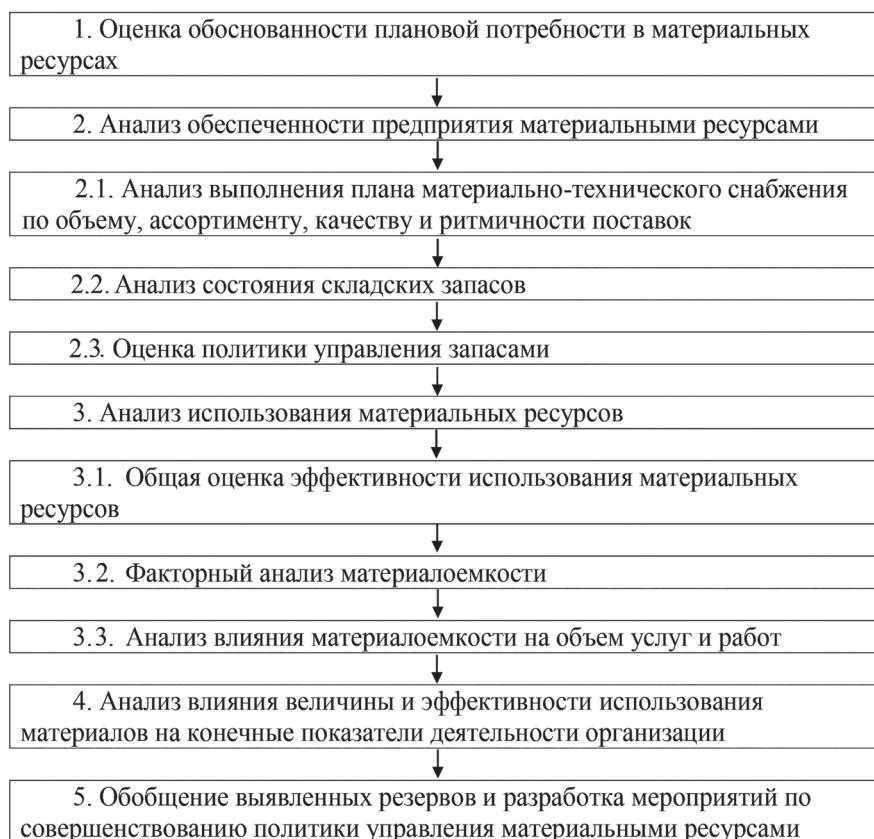


Рисунок 1. – Схема проведения анализа материальных ресурсов предприятия

Затем необходимо классифицировать источники информации по этапам анализа: оценка обоснованности плановой потребности в материальных ресурсах; анализ обеспеченности предприятия материальными ресурсами; анализ использования материальных ресурсов; анализ влияния величины и эффективности использования материалов на конечные показатели деятельности предприятия; обобщение выявленных резервов и разработка мероприятий по совершенствованию процесса управления материальными ресурсами.

Немаловажным аспектом формирования информационной базы для анализа материальных ресурсов является организация информационных потоков. Под организацией информационных потоков понимается регламентированный порядок, сроки, форма и лица (структурные подразделения), ответственные за представление данных.

Процесс движения информации о состоянии материальных ресурсов основывается на методике анализа и разрабатывается для каждого отдельного этапа анализа материальных ресурсов в виде схемы «источник информации – ответственное подразделение – получатель информации».

Так, анализ обеспеченности предприятия материальными ресурсами проводится на основании данных складского и производственного учета (отдел снабжения, бухгалтерия), договоров поставок (отдел снабжения или отдел договорных отношений). Часть аналитических расчетов выполняет отдел снабжения и в виде промежуточных отчетов направляет в отделы планово-экономический и финансовый (рисунок 2).

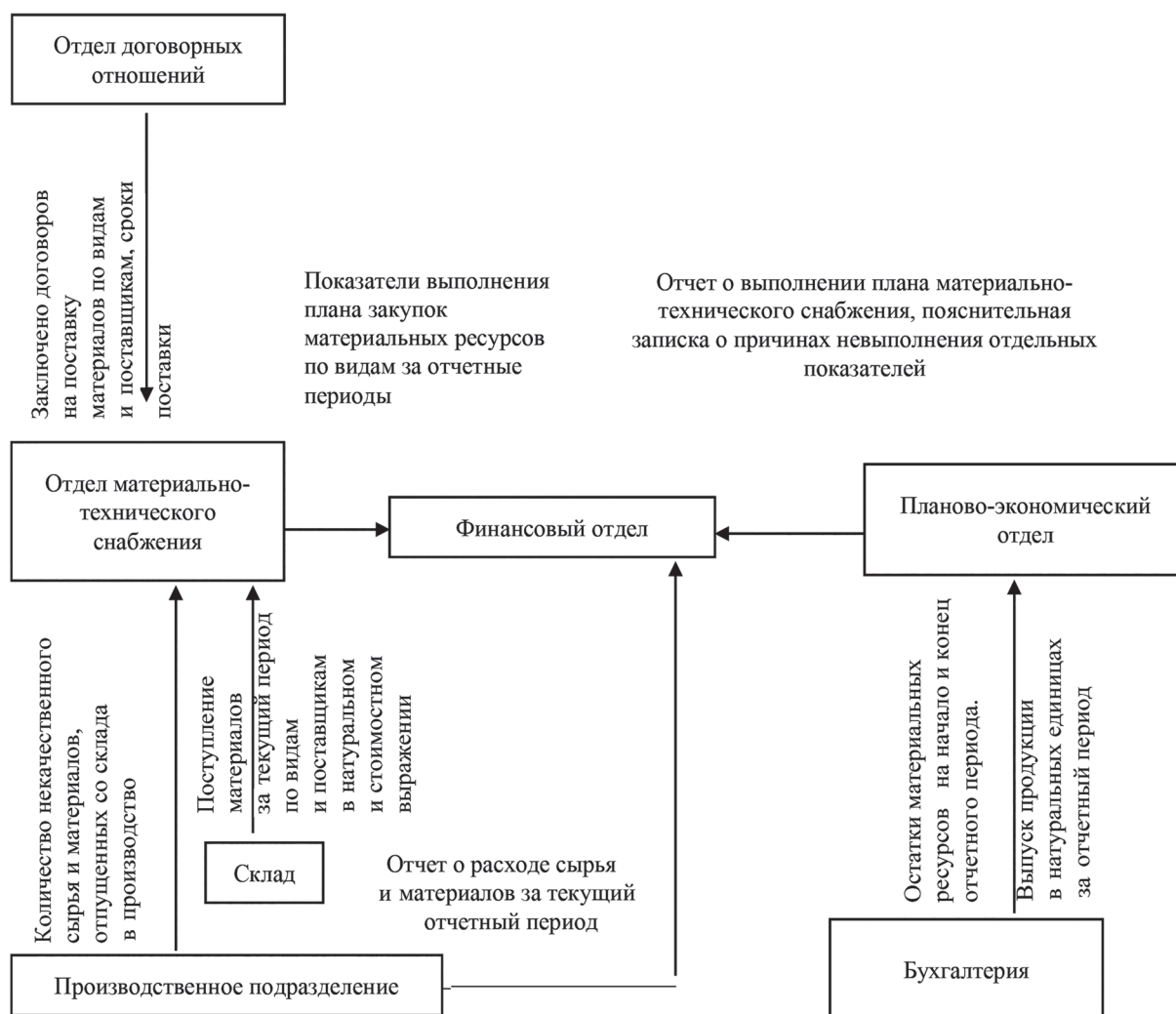


Рисунок 2. – Схема организации информационных потоков на этапе анализа выполнения плана материально-технического снабжения

Актуальной проблемой информационной логистики в современных условиях является ограничение доступа к информационной базе предприятия. В целях соблюдения коммерческой тайны и обеспечения достоверности информации необходимо регламентировать права специалистов различных подразделений по вводу, получению и корректировке данных.

Результатом комплекса работ по информационному обеспечению анализа материальных ресурсов должен стать регламент предприятия. Этот документ должен содержать подробное и четкое описание методики анализа, источников информации, обязанностей должностных лиц по вводу, обработке, контролю, передаче информации и сроков проведения работ. Данный регламент утверждает руководитель предприятия.

Формирование базы информационного обеспечения анализа материальных ресурсов должно включать следующие этапы:

1. Разработку комплексной методики анализа материальных ресурсов, учитывающей все особенности предприятия и потребности управления.

2. Отбор соответствующих источников информации в целом для анализа и по каждому отдельному его этапу с целью рационализации документооборота и информационных потоков.
3. Регламентацию ввода, обработки, движения информации между структурными подразделениями.
4. Разработку и утверждение регламента «Информационное обеспечение анализа материальных ресурсов предприятия».

Заключение

1. Последовательное решение поставленных задач позволит сформировать базу учетно-информационного обеспечения анализа материальных ресурсов, соответствующую принципам комплексности, научности, рациональности, систематичности, достоверности и полноты; организовать аналитическую работу по заданному направлению; четко регламентировать функции специалистов на участке материальной логистики.

2. Перечисленные меры будут способствовать повышению эффективности управления материальными ресурсами на конкретном предприятии.

Литература

1. Вахрушина, М. А. Бухгалтерский управленческий учет / М. А. Вахрушина. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ИКФ Омега-Л: Высш. шк., 2002. – 528 с.
2. Барнгольц, С. Б. Методология экономического анализа деятельности хозяйствующего субъекта: учеб. пособие / С. Б. Барнгольц, М. В. Мельник. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 240 с.
3. Савицкая, Г. В. Экономический анализ / Г. В. Савицкая. – 9-е изд., испр. – М.: Новое знание, 2004. – 640 с.

УДК 631.171/.31

Поступила в редакцию 26.04.2018
Received 26.04.2018

А. В. Ленский, А. А. Жешко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by; alex_lensky@mail.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПО РАБОЧИМ УЧАСТКАМ ПРОСТОЙ КОНФИГУРАЦИИ

В статье выполнена апробация функционирования разработанных авторами модели и алгоритма расчета для оптимизации маршрутов движения машинно-тракторных агрегатов. Изложены принципы формирования базы данных типовых участков простой конфигурации, определен базовый комплекс машинно-тракторных агрегатов для проведения сравнительных расчетов, выполнены расчеты оптимальной траектории движения и производительности МТА.

Ключевые слова: алгоритм расчета, машинно-тракторный агрегат, оптимальная траектория движения, моделирование условий.

A. V. Lensky, A. A. Zheshko

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by; alex_lensky@mail.ru*

OPTIMIZATION OF ROUTES OF MOVEMENT OF MACHINE AGGREGATES ON WORKING FIELDS OF SIMPLE CONFIGURATION

This article gives an approbation the functioning of the model developed by the authors and the calculation algorithm for optimizing the routes of movement of machine aggregates. The principles of forming a database of typical working fields of a simple configuration are stated, a basic set of machine aggregates for performing comparative calculations is determined and calculations of the optimal trajectory of motion and productivity of the machine aggregates are performed.

Keywords: calculation algorithm, machine aggregates, optimal trajectory, modeling of conditions.

Введение

Технологический прогресс в сельском хозяйстве определяется не только повышением эффективности использования материальных ресурсов и ростом производственных показателей, но также сопровождается необходимостью внедрения в практику современных методов планирования и управления. В этой связи имеется объективная потребность в применении специализированных программных продуктов, позволяющих выполнять уточненные расчеты по определению эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов в конкретных природно-производственных условиях. Известно, что условия эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники являются следствием сочетания различных факторов, действие которых по-разному влияет на состав машинно-тракторного парка и границы эффективного использования машин. Из большого количества природных, агротехнических и биологических факторов, влияющих на производительность машинно-тракторных агрегатов, по заключению многих исследователей, наиболее существенными являются длина гона и конфигурация или рельеф полевых участков.

В настоящее время возможности автоматизации выполнения технологических расчетов и планирования производственной деятельности позволяют обеспечить сельскохозяйственных товаропроизводителей необходимыми прикладными программными продуктами для принятия оперативных управленческих решений и более интенсивного использования на практике технологий точного земледелия. Большинство применяемых алгоритмов, несмотря на их внешнее различие, содержит ряд последовательных этапов, объединенных общей методологией расчета. Такими этапами являются выбор исходного контура поля, построение поворотных полос, генерация рабочих и холостых ходов (поворотов), формирование окончательной траектории движения и расчет производительности машинного агрегата. В результате выполненных расчетов пользователь получает технологическую документацию, включающую схему движения агрегата по полю и операционные показатели – норму выработки и расхода топлива, которые могут быть использованы для разработки технологических карт и нормирования работ.

Основная часть

Разработанный авторами программный продукт предназначен для аналитического определения производительности техники при выполнении сельскохозяйственных работ на полевых участках простой конфигурации.

Программный продукт обеспечивает:

- формирование и хранение базы данных координат полевых участков индивидуально для каждого пользователя на основании электронных карт;
- возможность изменения эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов в процессе проведения расчетов;
- генерацию параллельных ходов для каждого полигона, построение поворотов и формирование общей траектории движения по критерию максимальной производительности машинно-тракторного агрегата;
- возможность корректировки направления движения по желанию пользователя (параллельно выбранной стороне полигона);
- возможность качественного нормирования полевых работ для любых видов технических средств на участках произвольной конфигурации.

Для тестирования алгоритма оптимизации траектории движения МТА и апробации программного продукта нами сформирована база данных полевых участков простой конфигурации. Подготовка массива данных для проведения вычислительных процедур предполагает выполнение следующего объема работ:

- 1) обоснование границ интервалов (уровней) для факторов, определяющих производительность машинно-тракторных агрегатов;
- 2) формирование массива соответствующих полевых участков;
- 3) определение технологических операций и комплекса машин и оборудования для выполнения тестовых расчетов.

При определении границ интервалов были приняты во внимание результаты ранее выполненных исследований, на основании которых границы диапазонов устанавливались графоаналитическим путем, исходя из гиперболического характера изменения производительности агрегатов в зависимости от конфигурации полей (таблица 1) [1; 2, с. 52–54].

Таблица 1. – Значение интервалов изменения анализируемых признаков

Признак	Интервалы изменения	Характеристика условий
Длина гона	200–300 м (4–6 га)	плохие
	400–500 м (12–15 га)	средние
	600–700 м (25–30 га)	хорошие
	800–1000 м (40–50 га)	очень хорошие
	1300–1500 м (60–65 га)	отличные
Тип конфигурации	прямоугольник	поле правильной формы
	трапеция	поле частично неправильной формы
	треугольник	сложный рельеф и конфигурация поля

Сформированный массив полевых участков, отвечающий вышеизложенным требованиям, приведен на рисунке 1.

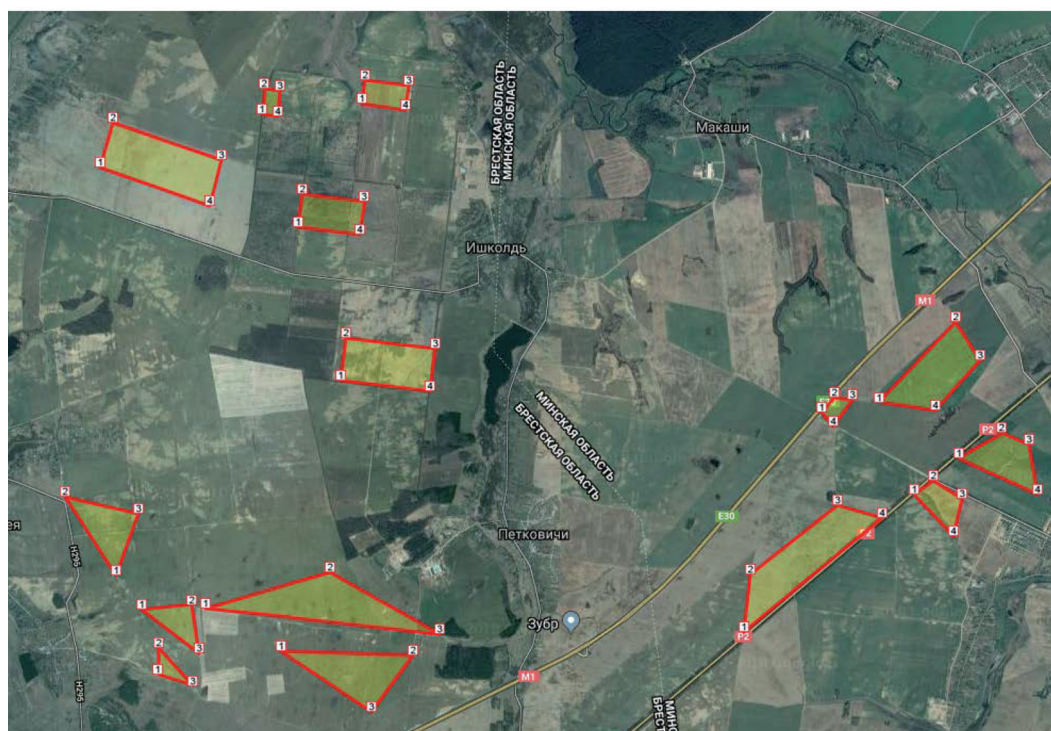


Рисунок 1. – Массив модельных полевых участков

Для проведения расчета нами были выбраны наиболее распространенные технологические процессы и сельскохозяйственные машины, непосредственно для которых или их близких аналогов установлены нормативные значения производительности в зависимости от условий эксплуатации (таблица 2) [4, 5]:

- вспашка агрегатом «Беларус 1523» + ППО-(4+1)-40К;
- посев зерновых комбинированным агрегатом «Беларус 3022» + АПП-6Д;
- чизельная обработка агрегатом «Беларус 3522» + АКЧ-8;
- внесение удобрений агрегатом «Беларус 1221» + РУ-7000 (аммофос – 250 кг/га);
- обработка посевов «Беларус 820» + «Мекосан-2500-24» (норма внесения – 200 л/га).

Таблица 2. – Нормативные значения производительности для базовых агрегатов по материалам типовых норм выработки

Состав агрегата	Значения производительности, га/смену, при эксплуатации МТА на различных длинах гона				
	200–300 м	400–500 м	600–700 м	800–1000 м	1300–1500 м
«Беларус 1523» + ППО-(4+1)-40К	6,9	7,9	8,5	8,8	9,2
«Беларус 3022» + АПП-6Д	18,2	21,6	23	24,9	26,4
«Беларус 3522» + АКЧ-8	21,7	24,4	27	26,7	27,6
«Беларус 1221» + РУ-7000*	59,2	68,1	70	71,7	73,6
«Беларус 820» + Мекосан 2500-24**	45,3	50,9	53	55,3	56,9

* Расстояние транспортировки – до 5 км, норма внесения – до 250 кг/га.

** Расстояние транспортировки – до 2 км, норма внесения – 200 л/га.

При этом рабочие скорости агрегатов выбраны в соответствии с агротехническими требованиями проведения соответствующих полевых работ: чизельная обработка – 8 км/ч, вспашка, посев, химическая обработка – 9 км/ч, внесение удобрений – 10 км/ч.

На основании результатов выполненных расчетов необходимо отметить, что эксплуатационные показатели МТА, представляемые в типовых нормах выработки, являются в некоторых случаях заниженными и не согласуются с данными, предоставляемыми по результатам производственных испытаний. Так, в частности, для 5-корпусного плуга вариация сменной производительности в первом случае составляет 0,86–1,15 га/ч, в то время как испытания аналогичного агрегата в ГУ «Белорусская МИС» показали производительность не менее 1,25 га/ч (для типовых условий – вспашка почв сопротивлением 45 кПа на глубину 20–22 см, длина гона – 600 м) (таблица 3).

Таким образом, можно отметить, что, несмотря на достаточную распространенность методик расчета эксплуатационных показателей, установленные по ним значения производительности имеют определенные отличия. В некоторой степени это может быть обусловлено маркетинговыми соображениями, то есть необходимостью акцентировать внимание на определенной марке машины путем субъективного сравнения с моделью другой фирмы. С другой стороны, даже при качественном проведении хронометражных работ и расчете нормативных значений производительности результат может быть искажен дополнительными факторами: квалификации механизатора, технического состояния МТА, особенностями организации работ и пр.

Таблица 3. – Значения производительности для базовых агрегатов по материалам испытаний в ГУ «Белорусская МИС»

Состав агрегата	Значение производительности, га/ч (номер протокола испытаний)
«Беларус 1523» + плуг оборотный 5-корпусный	1,25 (№ 199–2010 от 08.12.2010) 1,17 (№ 024Д 2/2–2010 от 08.02.2010)
«Беларус 3022» + агрегат посевной шириной 6 м	2,98 (№ 165 Д 3/3–2010 от 05.11.2010)
«Беларус 3522» + чизельный агрегат шириной 8 м	4,8–5,0 (по материалам ООО «Техмаш» и испытаниям аналогичных машин на МИС РФ)
«Беларус 1221» + машина для внесения минеральных удобрений емкостью 7 т (ширина 20 м)	13,5 (№ 048 СН/2–2009 от 27.02.2009)
«Беларус 820» + опрыскиватель емкостью 2500 л (ширина 24 м)	12–14 (№ 123–2006 от 24.08.2006; № 169Д 8/2–2008 от 11.12.2008)

В этой связи наиболее правомерным решением является автоматизация расчета нормативных показателей производительности машинно-тракторных агрегатов для индивидуально выбранных полевых участков по разработанному нами алгоритму. Результаты проведения оптимизационных расчетов для типовых полевых участков приведены в таблице 4.

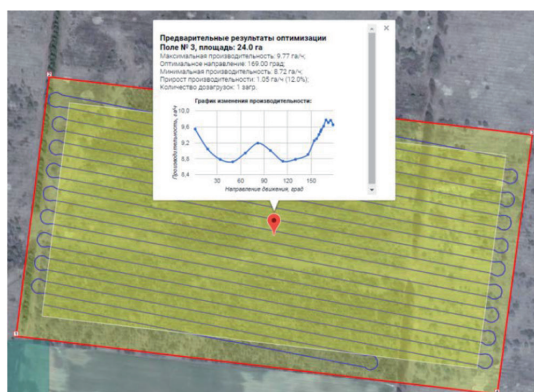
Таблица 4. – Расчетные значения производительности базовых агрегатов для типовых участков простой конфигурации

Состав агрегата	Тип поля*	Длина гона (среднее значение)				
		200–300 м	400–500 м	600–700 м	800–1000 м	1300–1500 м
		250 м	450 м	650 м	900 м	1400 м
«Беларус 1523» + ППО-(4+1)-40К	1	1,04	1,2	1,27	1,31	1,35
	2	1,07	1,19	1,26	1,31	1,36
	3	1,07	1,16	1,24	1,28	1,35
«Беларус 3022» + АПП-6Д	1	1,8	2,55	2,67	2,98	3,07
	2	1,87	2,61	2,73	2,99	3,08
	3	1,92	2,54	2,67	2,87	3,05
«Беларус 3522» + АКЧ-8	1	2,29	3,42	3,93	4,09	4,31
	2	2,37	3,48	3,94	3,99	4,30
	3	2,44	3,39	3,86	4,00	4,23
«Беларус 1221» + РУ-7000	1	3,87	7,77	9,15	12,07	12,66
	2	4,24	8,05	9,77	11,04	12,27
	3	4,52	7,67	9,61	11,18	12,09
«Беларус 820» + «Мекосан 2500-24»	1	4,13	7,57	10,04	12,34	12,95
	2	4,51	7,94	10,18	11,39	12,78
	3	4,49	7,63	9,94	11,12	12,34

* Тип поля 1 – «прямоугольник», тип поля 2 – «трапеция», тип поля 3 – «треугольник».

Справочно. Процедура расчета производилась в 2 этапа: в первую очередь выполнялся предварительный процесс оптимизации направления движения (рисунок 2а), однако, поскольку процедура ограничена точностью вычисления в пределах 3 градусов, на втором этапе производилось уточнение расчета путем выбора направления, параллельного одной из сторон поля (рисунок 2б). Такой подход является наиболее приближенным к реальным условиям эксплуатации, так как линия первоначального прохода агрегата всегда расположена вдоль стороны обрабатываемого поля, что упрощает навигацию МТА и существенным образом не сказывается на его производительности.

Установлено, что наиболее высокие темпы роста производительности с увеличением длины гона имеют широкозахватные агрегаты, работающие по технологическому циклу, – с 3,87–4,52



а



б

Рисунок 2. – Процедура оптимизации траектории с расчетом производительности МТА на участке простой конфигурации (а) и уточнения направления движения вдоль стороны поля (б)

Примечание – Погрешность вычислений при уточнении направления – 2,6 %.

до 12,09–12,66 га/ч, или в 1,67–2,27 раза (машины для внесения твердых минеральных удобрений); с 4,13–4,51 до 12,34–12,95 га/ч, или в 1,74–2,13 раза (опрыскиватели). Для широкозахватной почвообрабатывающей техники различия в производительности выражены также достаточно сильно – в среднем 70 % при работе на мелкоконтурных полях (5–7 га) и на полях с длиной гона 1 км и более (40–60 га).

Существенное влияние на расчетные значения производительности оказывает также и конфигурация поля: если для типа «прямоугольник» значение прироста производительности МТА принять за 100 %, то для типа «трапеция» оно составит в среднем 85–90 %, для типа «треугольник» – 75–85 %.

Следует отметить, что полученные расчетные значения в целом согласуются с материалами официальных протоколов испытаний сельскохозяйственной техники, что подтверждает правильность проведенных вычислений и определяет целесообразность применения предлагаемого компьютерного приложения для нормирования полевых работ в конкретных производственных условиях.

Заключение

Для тестирования разработанного алгоритма оптимизации траектории движения МТА сформирована база данных полевых участков простой конфигурации. Подготовка массива данных для проведения вычислительных процедур базируется на обосновании границ интервалов для факторов, определяющих производительность машинно-тракторных агрегатов; на непосредственном формировании массива соответствующих полевых участков; определении технологических операций и комплекса машин и оборудования для выполнения тестовых расчетов. Для проведения оценки работоспособности предлагаемого алгоритма сформирован массив из 15 полей, включающих 3 типа конфигурации («прямоугольник», «трапеция», «треугольник»), по 5 диапазонов длин гона в каждой.

В качестве субъектов тестирования выбраны следующие технологические процессы и сельскохозяйственные машины, для которых установлены нормативные значения производительности: вспашка – «Беларус 1523» + ППО-(4+1)-40К; посев зерновых – «Беларус 3022» + АПП-6Д; чизельная обработка – «Беларус 3522» + АКЧ-8; внесение удобрений – «Беларус 1221» + РУ-7000; обработка посевов – «Беларус 820» + «Мекосан-2500-24».

Наиболее высокие темпы роста производительности с увеличением длины гона имеют широкозахватные агрегаты, работающие по технологическому циклу, – с 3,87–4,52 до 12,09–12,66 га/ч, или в 1,67–2,27 раза (машины для внесения твердых минеральных удобрений); с 4,13–4,51 до 12,34–12,95 га/ч, или в 1,74–2,13 раза (опрыскиватели). Существенное влияние на расчетные значения производительности оказывает также и конфигурация поля: если для типа «прямоугольник» значение прироста производительности МТА принять за 100 %, то для типа «трапеция» оно составит в среднем 85–90 %, для типа «треугольник» – 75–85 %.

Расчетные значения согласуются с материалами официальных протоколов испытаний, что подтверждает правильность проведенных вычислений и определяет целесообразность применения предлагаемого компьютерного приложения для нормирования полевых работ в конкретных производственных условиях.

Литература

1. Ленский, А. В. Типизация условий эксплуатации – основа формирования рационального парка машин для растениеводства / А. В. Ленский, Е. Г. Родов, П. М. Шмарловский // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2007. – № 2. – С. 88–95.
2. Черепанов, С. С. Использование земледельческих агрегатов: в 2 ч. / С. С. Черепанов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – Ч. 1. – 360 с.
3. Типовые нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы в сельском хозяйстве: в 3 ч. / ГУ «Республиканский нормативно-исследовательский центр Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь»; сост. С. В. Соусь [и др.]. – Минск, 2012. – Ч. 2: Посев, посадка, уход за посевами, внесение удобрений и ядохимикатов. – 348 с.
4. Типовые нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы в сельском хозяйстве: в 3 ч. / ГУ «Республиканский нормативно-исследовательский центр Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь»; сост. Р. В. Мазолевская [и др.]. – Минск, 2007. – Ч. 1: Основная и предпосевная обработка почвы. – 159 с.

А. В. Ващула¹, С. А. Антошук²

¹ГУ «Белорусская МИС»
п. Привольный, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь
belmis@mail.belpak.by
²ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: santoshuk@rambler.ru

ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В статье приводятся анализ существующего состояния технологии точного земледелия в Республике Беларусь, технических средств для ее реализации и отдельные результаты проведенных ГУ «Белорусская МИС» опытов по апробации элементов технологии в условиях хозяйств.

Ключевые слова: технология точного земледелия, технические средства для реализации технологии точного земледелия, дифференцированное внесение удобрений, дифференцированный высев семян, картирование урожайности.

A. V. Vashchula¹, S. A. Antoshuk²

¹SI «Belarussian MTS»
Privolny, Minsk district, Minsk region, Republic of Belarus
belmis@mail.belpak.by
²The State Scientific Institution «The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: santoshuk@rambler.ru

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF PRECISION AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

An analysis of the current state of the Precision agriculture in the Republic of Belarus are providing in the article.

Keywords: technology of exact agriculture, technical means for realizing the technology of precision farming, differentiated application of fertilizers, differentiated sowing of seeds, mapping of yields.

Введение

Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, основанная на технологиях глобального позиционирования. Суть точного земледелия заключается в том, что обработка полей производится в зависимости от реальных потребностей выращиваемых в данном месте культур. Накопление статистики обработки (куда и сколько внесли каждого вещества) и получаемых результатов (урожайность) позволяет применять различные виды анализа, с тем чтобы в дальнейшем корректировать применяемые дозы для получения максимума отдачи на каждый вкладываемый в обработку рубль.

Точное земледелие в первую очередь строится на анализе данных, получаемых из различных источников, основные из которых: химический анализ почвы, составление карт урожайности культур, аэрофотосъемка, спутниковая съемка, дистанционный мониторинг почвы и растений при помощи оборудования на сельскохозяйственных машинах, данные об урожайности за предыдущие годы (не менее 5 лет).

Основные этапы развития точного земледелия

Современная концепция точного земледелия является в некотором смысле развитием идей программирования урожайности, которые обрели определенную популярность в 70-80-х годах XX века. Однако, в отличие от последних, базировавшихся на теоретических предпосылках, точное земледелие должно основываться на реальных данных, которые получают при помощи различных методов зондирования и затем обрабатывают специальными программами, позволяющими на основе полученных данных планировать работы, рассчитывать затраты, прогнозировать урожай.

Основной предпосылкой к быстрому развитию в последние годы точного земледелия явилось разрешение использования глобальных систем позиционирования в гражданских целях.

Первыми весомых результатов в использовании электронных устройств на сельскохозяйственной технике добились разработчики машин для защиты растений. Например, опрыскиватель Hydroelectron фирмы Тескома, получивший золотую медаль на международной выставке SIMA-1976 в Париже, был оборудован электронным регулятором подачи раствора пропорционально скорости движения агрегата.

Сложнее решались вопросы точного высева семян зерновых колосовых культур. Экспериментальные образцы таких сеялок были показаны на международной выставке в Мюнхене в 1982 г., а серийная машина с электронным регулятором высева фирмы Blanchot появилась лишь через три года и была отмечена на парижской выставке SIMA-1985.

В 1986 г. в результате тесного сотрудничества фирм-производителей тракторов и сельхозмашин было признано рациональным многоканальный микропроцессор устанавливать на тракторе, а на машинах использовать лишь унифицированные датчики.

В разных странах начали разрабатывать способы и средства для упрощения и снижения стоимости агрохимического анализа почвы, в том числе через урожайность выращенной культуры на отдельных участках поля. Были разработаны как косвенные (картирование урожайности), так и прямые методы (оценка содержания азота) определения потенциальной урожайности почв.

Основные принципы и технологические элементы точного земледелия

Технологии картирования полей: анализ почв, мониторинг урожайности

1. Химический анализ почвы, отбор образцов по сетке.

При использовании этого метода поле делится на клетки, в каждой из которых берутся почвенные образцы. Каждый образец анализируется отдельно на содержание гумуса, основных питательных элементов, кислотность, после чего создаются карты свойств почвы.

Главные недостатки данного метода – он является самым дорогостоящим, самым трудоемким, самым неточным и самым архаичным. Для получения реальной картины пестроты почвенного плодородия необходимо брать тысячи и десятки тысяч образцов. Но чтобы сделать этот метод рентабельным, приходится значительно уменьшать количество, увеличивая площадь участка до 5–20 га. Земледелие в таких случаях перестает быть точным.

2. Составление карт урожайности культур

Появление оборудования для мониторинга урожайности дало резкий стимул развитию технологий точного земледелия за счет значительного увеличения скорости сбора информации и точности анализа.

Картирование урожайности имеет следующие преимущества: возможность точного определения пестроты плодородия в пределах поля при значительном уменьшении затрат на анализ неоднородности полей по сравнению с отбором почвенных образцов по сетке; при правильной калибровке монитор урожайности сразу дает абсолютные данные по урожайности ($m/га$); высокую детализацию картирования; возможность создания точных границ полей.

К недостаткам метода необходимо отнести следующие: он не учитывает почвенные условия; необходимы дополнительные капиталовложения (более высокая цена уборочного оборудования); требуется регулярная калибровка каждого прибора (до нескольких раз в смену).

3. Аэрофотосъемка, спутниковая съемка

Миниатюризация летательных аппаратов, проникновение частного бизнеса в космос и другие факторы позволили существенно упростить доступ гражданских структур к ресурсам, которые раньше были доступны только военным. Дистанционное зондирование осуществляется путем анализа спектра, отраженного от земной поверхности или от поверхности растительности.

В настоящее время ни один из существующих в точном земледелии методов не может сравниться по производительности со спутниковой съемкой. Главный недостаток – цена.

При аэрофотосъемке основным препятствием служит отсутствие законодательной базы о применении беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

4. Анализ электропроводности почвы

Метод основан на различной способности почвы проводить электрический ток в зависимости от концентрации в ней анионов и катионов, а также от ее влажности. Он популярен в регионах, где засоленность или кислотность почв являются основными факторами, ограничивающими урожайность.

Данный метод не всегда коррелирует с концентрацией элементов питания растений в почве и должен применяться с осторожностью.

5. Дистанционный мониторинг почвы и растений при помощи оборудования на сельскохозяйственных машинах

Дистанционный мониторинг используется, как правило, для азотной подкормки, точечного применения гербицидов при отсутствии основной культуры и т. д.

Преимуществами оптических датчиков являются гибкость в использовании и отсутствие зависимости от облачности. В числе недостатков следует назвать высокую стоимость.

Техническое оснащение при использовании технологии точного земледелия

На современном этапе развития технологий в системе точного земледелия используются: мобильное оборудование для отбора проб почв, оборудование для дистанционного зондирования полей (БЛА) с установленным на нем оборудованием для фотосъемки, разбрасыватели минеральных удобрений, сеялки и посевные агрегаты с автоматизированным приводом регулирующих механизмов, опрыскиватели, уборочная техника (в первую очередь – зерноуборочные комбайны), а также различное вспомогательное оборудование, предназначенное для измерения площадей, картирования полей, управления агрегатами и других операций, для осуществления которых используются сигналы спутниковых навигационных систем, в первую очередь – GPS.

Мобильный агрегат для отбора почвенных проб представляет собой транспортное средство высокой проходимости (трактор, внедорожный автомобиль) с установленным на нем автоматическим пробоотборником, способным отбирать образцы на глубине до 30 см (некоторые модели – до 60 см). Необходимым компонентом агрегата является бортовой компьютер с системой спутниковой навигации и специальным программным оборудованием, способным обрабатывать карту заданного поля, на которой предварительно отмечены точки отбора проб.

Значительное удешевление систем управления и электронных компонентов привело к широкому внедрению систем воздушного картографирования и дистанционного зондирования полей с использованием автоматической беспилотной авиации.

Съемка сельскохозяйственных угодий осуществляется в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с целью получения визуальной информации (фотоснимков) об используемых полях и о выращиваемой на них растительной продукции. Получаемые фотографии после обработки специализированным программным обеспечением используют для принятия управленческих решений в рамках отдельных служб и в масштабах всего хозяйства.

Для работы в системе точного земледелия фирмами-производителями предлагается ряд решений. В первую очередь – совместимость со стандартом ISOBUS с целью подключения к терминалу трактора. Управление дозой внесения, открытие и закрытие заслонок, включение устройств для обработки поворотных полос осуществляются автоматически, в зависимости от типа удобрений, дозы и других параметров. Например, фирма Kverneland предлагает серию разбрасывателей Exakta TL, оснащенных компьютерами. Кроме вышеперечисленных функций, машина имеет 4 весовых тензодатчика плюс еще один корректирующий, который помогает устранять колебания системы, учитывает уклоны местности.

Разбрасыватели удобрений, адаптированные для использования в системе точного земледелия, выпускают почти все ведущие производители.

Практически все посевные агрегаты и сеялки ведущих производителей подготовлены для работы в системе точного земледелия и позволяют осуществлять дистанционное автоматическое изменение дозы внесения удобрений и нормы высева семян в зависимости от информации, передаваемой бортовым компьютером.

Для картирования урожайности применяют специальное оборудование, смонтированное на комбайне, представляющее собой компьютер, датчики объема и датчики влажности, с помощью которых фиксируются объем и влажность поступающей зеленой (зерновой и т. д.) массы, полученные значения пересчитываются на сухую массу и сохраняются в компьютере. После окончания рабочего дня или смены данные при помощи карты памяти передаются на ПК для дальнейшей обработки.

Так, компанией Claas для работы в системе точного земледелия создана система CEBIS. При картировании урожайности она дополняет полученные данные о количестве убранной культуры географическими координатами, используя при этом данные GPS. Все измеренные значения сохраняются на мобильной чип-карте. Входящее в комплект поставки программное обеспечение AGROCOM MAP START позволяет также создавать карты урожайности, на основании которых можно разрабатывать будущую производственную стратегию. Картирование урожайности может осуществляться при уборке зерновых культур комбайнами Lexion и при уборке зеленой массы комбайнами Jaguar.

В 2015 году компания Kverneland разработала плуг, имеющий технические элементы точного земледелия. Навесной оборотный плуг Kverneland 2500 i-Plough имеет интерфейс ISOBUS, позволяющий автоматически регулировать значительное количество параметров при помощи бортового компьютера трактора.

Системы параллельного вождения

В республике основной парк машин для внесения твердых минеральных удобрений (более 90 %) составляют центробежные дисковые разбрасыватели. Их широкое распространение обусловлено такими достоинствами, как возможность внесения различных видов удобрений, невысокая стоимость, высокая производительность, возможность обеспечения широкого диапазона доз внесения, простота конструкции, низкие затраты на техническое обслуживание. Вместе с тем одной из важнейших особенностей центробежных дисковых разбрасывателей является необходимость перекрытия смежных проходов на определенную величину, отклонение от которой увеличивает неравномерность внесения удобрений по полю. При этом наиболее сложной в плане соблюдения необходимых перекрытий является работа без технологической колеи.

Даже опытный и добросовестный механизатор из-за отсутствия точного ориентира при работе с широкозахватными машинами не выдерживает стыковых проходов, совершая двойную обработку площади или оставляя огрехи шириной 2–8 метров.

Таким образом, при работе без технологической колеи отсутствие устройств точного вождения ведет к нарушению оптимального перекрытия смежных проходов и к огрехам, что существенно повышает неравномерность распределения удобрений и пестицидов по полю. Это приводит к отклонению фактически вносимых доз от заданных на участках с двойной обработкой и огрехам, потерям удобрений и пестицидов при их внесении и семян при посеве, перерасходу топлива на всех видах работ, снижению эффективности применения удобрений, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

Обработка данных и системы принятия решений

Учитывая исключительную важность сельского хозяйства в контексте экологической безопасности и обеспечения населения продуктами питания, актуальным является обеспечение эффективного управления растениеводческими предприятиями, с тем чтобы, с одной стороны, максимально повысить урожайность, а с другой – свести к минимуму антропогенную нагрузку на биосферу. Для достижения этих целей производители в различной степени используют разработки ученых, машиностроителей, экономистов и других специалистов, обслуживающих

АПК. На настоящем этапе данные наработки находят применение в программных продуктах, которые должны обеспечить поддержку и принятие управленческих решений в отрасли АПК.

Результаты исследований

Для оценки эффективности работы оборудования, предназначенного для технологии точного земледелия, были проведены исследования на базе ГУ «Белорусская МИС».

Для проведения исследований определены контрольные поля, на которых возделывали следующие культуры:

- поле № 1 – озимая тритикале;
- поле № 2 – яровой ячмень;
- поле № 3 – кукуруза на зерно и зеленую массу.

В ходе работы выполнены следующие этапы:

- проведен отбор проб почвы на контрольных полях;
- произведен анализ состояния почвы;
- составлены картограммы содержания подвижных форм фосфора и калия, а также картограммы кислотности и известкования почвы;
- определены участки для традиционного и дифференцированного внесения минеральных удобрений и дозы внесения минеральных удобрений;
- на контрольных участках внесены минеральные удобрения и карбамидно-аммиачная смесь (КАС) по традиционной и дифференцированной схеме внесения;
- произведен посев зерновых и кукурузы;
- проведены работы по дистанционному зондированию посевов с помощью беспилотного летательного аппарата;
- осуществлена уборка зерновых культур (кроме кукурузы: на зерно не убиралась из-за неблагоприятных погодных условий) комбайном, оснащенным системой картирования урожайности Trimble;
- выполнена оценка возможностей создания универсального бортового компьютера на базе компьютера «Роса» производства ООО «Агромашресурс».

Результаты экономической оценки сведены в таблицу 1.

Таблица 1. – Оценка экономической эффективности

Наименование показателя	Дифференцированное внесение Amazone ZAM 3000 Ultra (калий + аммофос) и ОС «ROSA» (КАС)	Традиционное внесение Amazone ZAM 3000 Ultra (калий + аммофос) и ОС «ROSA» (КАС)
Себестоимость механизированных работ с учетом расхода удобрений, тыс. руб.	78867,930	108267,220
Затраты на почвоотбор, тыс. руб.	1900,821	–
Затраты на формирование электронных карт, тыс. руб.	1767,382	–
ИТОГО, тыс. руб.	82536,133	108267,220
Степень снижения себестоимости, %	23,8	X

Заключение

В настоящее время уровень развития технологий позволяет выпускать и эксплуатировать «умные» машины и оборудование, способные автоматически отслеживать выполнение технологического процесса. Однако наличия таких машин недостаточно для реализации идей точного земледелия. Одинаковые условия могут быть обеспечены только путем объединения их в систему машин и оборудования, работающую как единый программно-аппаратный комплекс.

В то же время даже частичное внедрение современных технологий способно дать положительный результат. Так, в ходе исследований, проводимых ГУ «Белорусская МИС», осуществлена апробация машин и оборудования для внесения удобрений, посева, дистанционного мониторинга посевов, картирования урожайности и химического анализа проб. Получены следующие результаты:

- степень снижения затрат за счет применения системы дифференцированного внесения удобрений в сочетании с системой картирования полей составляет 24 %;
- эффект за счет использования системы дифференцированного высева семян находится на уровне погрешности, что с учетом высокой стоимости оборудования делает ее использование в настоящее время нецелесообразным;
- система картирования урожайности должна быть внедрена на всех уборочных машинах хозяйства, в противном случае часть полей не будет учтена;
- система картирования урожайности должна совершенствоваться: относительные отклонения в опытах достигают 12–28 %, что неприемлемо.

Таким образом, на настоящем этапе развития технологий является актуальным прогнозирование плодородия почв по участкам, применение дифференцированного внесения удобрений, использование систем картирования урожайности (с учетом выявленных недостатков). Использование сеялок и посевных агрегатов, оснащенных системой дифференцированного высева семян, в настоящее время нецелесообразно.

Особое внимание должно быть обращено на системы дистанционного мониторинга сельскохозяйственных культур и полей. В настоящее время технологии использования космической и авиасъемки имеют достаточно высокую точность и доступны по цене, но при этом отсутствует эффективное программное обеспечение для адекватной интерпретации полученных фотографий.

Литература

1. Полуэктов, Р. А. Имитационный метод программирования урожаев / Р. А. Полуэктов, Б. Г. Заславский, Т. А. Неусыпина // Доклады ВАСХНИЛ. – 1978. – № 7. – С. 118–121.
2. Мельничук, А. Не бойтесь зоны, бойтесь клетки! / А. Мельничук, А. Сорокин // Новое сельское хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 90–96.
3. Koch, B. The role of precision agriculture in cropping systems / B. Koch, R. Khosla // Cropping Systems: Trends and advances. Food products press. – 2003. – P. 361–382.
4. Зомолайный, А. Датчик азота и глобальная система позиционирования: новая техника на службе нового сельского хозяйства / А. Зомолайный, В. Тараба // Экология и сельскохозяйственная техника. – СПб. – 2005. – С. 276–280.
5. Лях, С. И. О точном вождении агрегатов при внесении удобрений и пестицидов / С. И. Лях, С. А. Антошук // Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Минск, 2010–2018. – Режим доступа: <http://legacy.belagromech.by/press/a5a9ece038932a8e.html>. – Дата доступа: 20.07.2018.
6. Woollenhaupt, N. C. Grid Soil Sampling / N. C. Woollenhaupt, R. P. Wolkowski // Better Crops with Plant Food. – Vol. LXXVIII#4. – Fall 1994.
7. Шафран, С. А. Оценка внутрипольной неравномерности содержания питательных веществ в почвах НРНЗ / С. А. Шафран, В. Д. Черевинков, Е. В. Леонова // Плодородие. – 2008. – № 1. – С. 33–34.
8. Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

Ю. Л. Салапура¹, Д. В. Зубенко², М. Н. Салапура³, Э. В. Дыба¹

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: salapura.yurii@mail.ru; dibua-18@mail.ru

²УО «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета»

аграрно-технический колледж имени В. Е. Лобанка»

п. Марьино, Республика Беларусь

³УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

г. Минск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В статье приводится анализ выполненных научных исследований по направлению ресурсосбережения. Представлены функции и направления ресурсосбережения, отмечены основные причины потерь ресурсов. Подчеркивается важность технического обеспечения сельского хозяйства.

Ключевые слова: ресурсосбережение, технологии, инновации, техническое обеспечение, управляемое сельское хозяйство, направления ресурсосбережения, эффективность.

Y. L. Salapura¹, D. V. Zubenko², M. N. Salapura³, E. V. Dyba¹

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: salapura.yurii@mail.ru; dibua-18@mail.ru

²EE «Maryinogorsk state awards «Honour Sign» agrarian and technical college of V. E. Lobanok»

s. Maryino, Republic of Belarus

³EE «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics»

Minsk, Republic of Belarus

FEATURES AND TENDENCIES RESOURCE-SAVING IN AGRICULTURE

The article presents an analysis of the research in the direction of resource saving. The functions and directions of resource saving are presented, the main causes of resource losses are noted. The importance of technical support of agriculture is emphasized.

Keywords: resource saving, technologies, innovations, technical support, managed agriculture, directions of resource saving, efficiency.

Введение

Рост ресурсных, финансово-экономических рисков, резкое обострение гиперконкурентной борьбы на мировом продовольственном рынке усилили необходимость производства только конкурентной аграрной продукции [1]. Важным стало не только наращивание сельскохозяйственного производства, но и повышение его экономической эффективности, достижение которой без развития инновационных процессов в кратчайшие сроки невозможно. При этом главным условием повышения экономической эффективности аграрной отрасли является наращивание производства сельскохозяйственной продукции при снижении удельных затрат на всех этапах производства [2].

Основной задачей технологического развития сельского хозяйства является создание конкурентоспособного, устойчивого и экологически безопасного производства сельскохозяйственной продукции, обеспечивающего внутренние потребности страны и наращивание экспортного потенциала. Решение этой задачи напрямую связано с внедрением в сельскохозяйственное производство прорывных инновационных технологий, базирующихся на энерго- и ресурсосбережении.

Основная часть

Ресурсосбережение – это процесс эффективного использования материально-технических, трудовых, финансовых и других ресурсов. Его цель – производство продукции с лучшими качественными показателями при минимуме совокупных затрат производственных ресурсов и повышение экономической отдачи от каждой натуральной единицы ресурсов [3].

Сущность ресурсосберегающей деятельности заключается в комплексном использовании ресурсов, максимальном устранении всех видов потерь на каждом этапе производства, более полном вовлечении в хозяйственный оборот вторичных материальных и энергетических ресурсов при замещении исчерпаемых невозобновляемых их видов. Ограниченность производственных ресурсов актуализирует проблему ресурсосбережения на всех стадиях агропромышленного производства [4].

Ресурсосбережение в АПК выполняет три функции. Первая заключается в сокращении затрат, росте выручки и, как следствие, максимизации прибыли. Вторая предполагает наиболее полное удовлетворение потребностей общества в получении качественного продовольствия по относительно невысоким ценам. Третья функция основана на соблюдении принципа минимизации нагрузок на экосистему. Фактически эти функции можно назвать экономической, социальной и экологической [5].

При этом в ресурсосбережении выделяют следующие блоки мероприятий (направлений), нацеленных на выполнение указанных выше функций:

- технический – улучшение технических параметров новой и модернизируемой техники, направленное на снижение потребления ресурсов, топлива и энергии и улучшение их использования в сельском хозяйстве;
- технологический – создание и внедрение новых ресурсо- и энергосберегающих технологий и технологических процессов;
- организационный – разработка и внедрение новых способов организации производства, направленных на экономию ресурсов;
- экономический – анализ и выявление тенденций по затратам ресурсов; экономическая оценка имеющихся и перспективных технических средств, технологий и способов производства; создание методов стимулирования за разработку и внедрение техники и технологий и реализацию имеющихся резервов [3].

Анализ передового мирового опыта свидетельствует о том, что экономическая эффективность любого из предприятий АПК зависит не столько от величины ресурсного потенциала, сколько от умения с максимальной отдачей использовать имеющиеся в распоряжении ресурсы [6].

Эффективность ресурсосбережения можно представить в виде схемы (рисунок 1), на которой показаны основные составляющие [7].

Достижение устойчивого развития экономики сельского хозяйства в настоящее время и в перспективе требует решения проблемы оптимизации ресурсопотребления и ресурсосбережения.

Выделяют следующие основные причины потерь ресурсов в сельскохозяйственном производстве и отраслях [8], обслуживающих его:

- нерациональный расход материалов в технологиях и изделиях;
- нерациональные технологические потери энергии при переработке материалов, изготовлении и эксплуатации изделий;
- нерациональное использование почвенных ресурсов и биологического потенциала растений и пород животных.

Учеными установлено, что при ограниченности и дефицитности ресурсов, используемых в сельском хозяйстве, ресурсосбережение становится важным фактором повышения эффективности производства. Результатом ресурсосбережения является снижение издержек производства продукции, оно должно стать одним из важных источников обеспечения дополнительной потребности в производственных ресурсах [9]. При этом обязательным условием ресурсосбережения является рост урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности скота. Так, при урожайности зерновых культур 35 ц/га капитальные вложения в технику на 1000 т убранных



Рисунок 1. – Эффективность ресурсосбережения

зерна сокращаются в 1,4 раза по сравнению с урожайностью 20 ц/га, расход энергоресурсов – в 1,3 раза [10].

Уровень технической и технологической оснащённости сельскохозяйственных товаропроизводителей во многом определяет уровень развития всего агропромышленного комплекса. Ежегодные затраты на инженерно-технологическое обеспечение в структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции составляют около 60 %. Успешное функционирование этой службы определяет уровень конкурентоспособности отечественного продовольствия и возможность выполнения задач перспективного технологического развития сельского хозяйства [11].

Подчеркивая важность технического обеспечения, российские исследователи А. А. Ежевский, В. Ф. Федоренко, Э. Л. Аронов указывают, что инженерное и производственно-техническое обеспечение сельского хозяйства наиболее динамично влияет на результаты производственной деятельности тружеников села и создает наилучшие условия для успешного применения других основных факторов, составляющих основу сельскохозяйственного производства [12]. Таким образом, основным направлением повышения эффективности использования материально-технических ресурсов в сельском хозяйстве является всемерная интенсификация производственных процессов. Повысить эффективность сельскохозяйственного производства и конкурентоспособность продукции можно только при закупке современной ресурсо- и энергосберегающей техники, позволяющей одновременно применять новые интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур и выращивания животных

Для решения первоочередной задачи, стоящей перед аграриями республики по обеспечению конкурентоспособности производимой продукции в связи с постоянным удорожанием удобрений, средств защиты растений, энергоносителей и необходимостью удовлетворения возрастающих потребностей в качественном и экологически чистом продовольствии, необходимо широко-масштабное освоение энерго- и ресурсосберегающих технологий в рамках информационно-управляемого земледелия, в том числе системы точного земледелия. В связи с этим важной является разработка оборудования и комплексов машин для реализации технологии точного земледелия, включающей в себя системы сбора и регистрации эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов, системы точного вождения агрегатов, картирования сельхозугодий, мониторинга урожайности и агрохимического состояния почв.

Современные тенденции в развитии животноводческой отрасли Беларуси требуют ускорения перехода от управления технологическими процессами и установками к управлению рентабельностью животноводческого предприятия с использованием новых инструментов принятия

решений и технологий «цифрового» животноводства, обеспечивающих за счет максимального использования генетического потенциала животных увеличение продуктивности животных, снижение удельного расхода кормов и электроэнергии.

В ближайшей перспективе роботизация процессов в животноводстве достижима путем разработки базовых принципов и программно-технических средств построения интегрированных систем управления в животноводстве, средств автоматизации и роботизации в молочном и мясном скотоводстве, информационно-коммуникационных систем в свиноводстве, а также разработки и внедрения интегрированных систем энергообеспечения новых технологий в животноводстве на базе возобновляемых источников энергии.

Современные технологии все больше проникают в аграрное производство, обеспечивая пути решения стоящих перед ним задач. Одним из базовых элементов ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве является точное земледелие (или, как его иногда называют, – прецизионное земледелие). Условно говоря, под точным земледелием понимается оптимальное управление для каждого элементарного участка поля. Целью такого управления является получение максимальной прибыли при условии оптимизации сельскохозяйственного производства, экономики хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды. Такой подход, как показывает международный опыт, обеспечивает гораздо больший экономический эффект. Данная технология отлично зарекомендовала себя и успешно применяется в США, Канаде, Бразилии и в странах Европы.

Заключение

В настоящее время рост цен на семена, минеральные удобрения, средства защиты растений, технику и другие средства производства в сельском хозяйстве приводит к необходимости повышать эффективность их использования. Сделать это намного легче с применением информационных технологий в сельском хозяйстве. Исходя из того, что ресурсосбережение является одним из важнейших направлений ведения сельского хозяйства, очевиден вектор развития отечественного сельского хозяйства – сокращение потерь ресурсов и повышение энергоэффективности производства продукции.

Литература

1. Беляков, А. В. Инновационные процессы – основа повышения экономической эффективности аграрного производства / А. В. Беляков, В. И. Нехорошева // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2015. – № 1 (30). – С. 47–51.
2. Заяц, Л. К. Решение проблем производства кормового белка – важнейший резерв укрепления аграрной экономики / Л. К. Заяц // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1. – С. 3–5.
3. Драгайцев, В. И. Организационно-экономический механизм ресурсосбережения в сельском хозяйстве / В. И. Драгайцев // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 3. – С. 12–15.
4. Федоренко, В. Ф. Научно-информационное обеспечение ресурсосбережения в АПК / В. Ф. Федоренко // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – № 2 (7). – С. 19–23.
5. Саушева, О. С. Ресурсосберегающие технологии в АПК как инструмент обеспечения продовольственной безопасности: опыт Европейского союза / О. С. Саушева, В. А. Горин, Е. С. Земскова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6. – С. 212–217.
6. Горбунов, С. Направления развития ресурсосберегающей агроэкономики / С. Горбунов, И. Воротников // Экономика сельского хозяйства России. – 2010. – № 10. – С. 28–35.
7. Федоренко, В. Ф. Повышение ресурсоэнергоэффективности агропромышленного комплекса / В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 284 с.
8. Махотлова, М. Ш. Ресурсосбережение и агроэкология в земледелии / М. Ш. Махотлова // Символ науки. – 2016. – № 1. – С. 49–51.
9. Косенко, Т. Г. Особенности организации производства и предпринимательства в АПК: учеб. пособ. / Т. Г. Косенко. – п. Персиановский, 2008. – 116 с.
10. Драгайцев, В. И. Организационно-экономический механизм ресурсосбережения в сельском хозяйстве / В. И. Драгайцев // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 7. – С. 5–7.
11. Кряжков, В. М. О технической и технологической модернизации сельскохозяйственного производства / В. М. Кряжков // Международный научный журнал. – 2011. – № 5. – С. 53–56.
12. Полухин, А. А. Организационно-экономический механизм технической модернизации сельского хозяйства: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / А. А. Полухин. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 2014. – С. 17–19.

И. И. Пиуновский

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

**НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ АКАДЕМИКА М. Е. МАЦЕПУРО
ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ
(к 110-летию со дня рождения)**

Современное сельскохозяйственное производство является высокомеханизированным, обеспечивающим выполнение основных технологических процессов производства продукции растениеводства и животноводства техническими средствами, при работе которых используются различные уровни энергетических ресурсов. Поскольку жидкие и газообразные виды энергетических ресурсов являются природными материалами и их наличие неограниченно, то широкое использование для промышленных и бытовых нужд обуславливает необходимость их экономии. В последнее время многие специалисты называют энергосбережение залогом экономической безопасности страны. Только в 80-х годах прошлого века получил распространение энергетический анализ в сельскохозяйственном производстве, который ставил своей целью разработку ресурсо- и энергосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции. Эффективность потребления энергоресурсов в процессе сельскохозяйственного производства при таком энергетическом анализе обычно характеризуют показателем энергетической эффективности, представляющим собой отношение энергии, аккумулированной за счет фотосинтеза и биоконверсии, к полным затратам энергии, получаемой главным образом из невозобновляемых источников, на производство сельскохозяйственной продукции. В статье рассмотрена методология энергетического анализа технологических процессов и средств механизации сельскохозяйственного производства, предложенная академиком М. Е. Мацепуро и получившая название «принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации». Она включает показатели полезной энергоемкости при производстве продукции и коэффициент полезного действия рабочего органа или машинно-тракторного агрегата. Оптимальное сочетание этих показателей позволяет минимизировать расход энергии на выполнение технологического процесса, что является основой энергосбережения в сельскохозяйственном производстве.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, энергоемкость, средства механизации, энергосбережение.

I. I. Piunovsky

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

**SCIENTIFIC HERITAGE OF ACADEMICIAN M. E. MATSEPURO
ON ENERGY CONSERVATION IN AGRICULTURE
(to the 110th birthday)**

Modern farming is highly mechanized, ensuring the fulfillment of basic technological processes of crop and livestock production by technical means, using their work with different levels of energy. Given that liquid and gaseous forms of energy are natural materials and their presence is not unlimited, it is necessary in every way to save them in connection with the extensive use of them for industrial and domestic use. Therefore, in recent years, many experts call energy saving the country's economic security. Only in the 1980s they began to conduct energy analysis in agricultural production, which was aimed at developing resource- and energy-saving technologies in agricultural production. The efficiency of energy consumption in the process of agricultural production in this energy analysis is typically characterized by the «energy efficiency», which is the ratio of energy stored by photosynthesis and bioconversion to the total energy costs for the production of agricultural produce, obtained mainly from non-renewable sources. The article describes the methodology of the energy analysis of technological processes and means of mechanization of agricultural production, proposed by Academician M. E. Matsepuro and dubbed «The principle of optimal energy consumption of technological processes and means of mechanization»,

including indicators of useful energy consumption in the production process and the efficiency of the working organ or machine-tractor unit. The optimum combination of these parameters helps to minimize the energy required to perform the technological process, which is the basis of energy conservation in agricultural production.

Keywords: agricultural production, energy consumption, means of mechanization, energy saving.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство является высокомеханизированным, обеспечивающим выполнение основных технологических процессов производства продукции растениеводства и животноводства техническими средствами, при работе которых используются различные уровни энергетических ресурсов. Поскольку жидкие и газообразные виды энергетических ресурсов являются природными материалами и их наличие неограниченно, то широкое использование для промышленных и бытовых нужд обуславливает необходимость их экономии.

Использование энергетических ресурсов, источниками которых являются различные виды топлива: твердого, жидкого, газообразного, электричество, атомная энергия, возобновляемые виды энергии, химические реакции, природные явления и т. д., началось после того, как человечество научилось добывать огонь.

Наибольшее значение энергетические ресурсы приобрели в XX в., когда быстрыми темпами начали развиваться промышленность, сельское хозяйство, а также стали создавать новейшее вооружение для армии (самолеты, танки, автомобили, ракетные устройства и т. п.).

В сельском хозяйстве повсеместное применение получили тракторы, комбайны и автотранспортные средства, которые потребляют в основном твердое, жидкое и газообразное топливо, кроме стационарных машин в животноводстве, на привод которых используется электрическая энергия.

В 1970–1980 гг. прошлого столетия в мировой практике наметился топливный кризис. Это не могло не сказаться на резком сокращении энергоемких производств, особенно в сельском хозяйстве, например, по приготовлению травяной муки и искусственной суши.

Научный подход должен быть преобладающим в сбережении энергетических ресурсов. В качестве одного из научных направлений в сбережении энергетических ресурсов в сельскохозяйственном производстве впервые академиком М. Е. Мацепуро было предложено оценивать работу тракторов, сельскохозяйственных машин или тракторных агрегатов по энергетическим параметрам, энергоемкости и коэффициенту полезного действия тракторного агрегата. Научная основа энергосбережения в сельскохозяйственном производстве была изложена в 1964 г. в постановочной статье «Принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации» [1, 2].

В эти же годы энергетический метод в исследовании комплексно-механизированных процессов в строительстве был предложен Д. М. Ярошевым [3].

В данных работах рассматриваются производственные процессы, в основе которых лежит переход энергии из одного вида в другой при взаимодействии различных видов энергии с материалами, меняющими в ходе процессов свои физические свойства и свое положение в пространстве.

Как в сельскохозяйственном производстве, так и в других отраслях для понимания существа производственных процессов необходим исследующий их физику и механику энергетический анализ, что позволит выявить скрытые в них закономерности и законы.

Современное развитие общества невозможно без значительных затрат энергетических ресурсов, основу которых составляют различные виды топлива: твердое, жидкое, газообразное и альтернативные источники энергии: солнечная радиация, ветер, вода рек, морские приливы и т. д. Если в начале прошлого века основными видами топлива были каменный уголь, дрова, торф, то уже в середине XX века основным видом топлива становятся продукты переработки нефти. В этот период проходит бурное развитие механизации в производстве продукции сельского хозяйства. Потребность в жидком топливе настолько возросла, что уже в начале второй половины двадцатого века в мире наступил топливный кризис. В сельскохозяйственном произ-

водстве приступили к сокращению технологических процессов, при выполнении которых использовалось большое количество жидкого топлива.

Необходимость экономии топлива стала возникать еще в начале 60-х гг. Тогда впервые в сельскохозяйственном производстве возникла научная проблема энергосбережения при производстве сельскохозяйственной продукции. По мнению академика М. Е. Мацепуро, в основе решения вопросов, связанных с разработкой и обоснованием теорий, технологий и сельскохозяйственной техники, применения машин, механизацией сельского хозяйства, должен лежать принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации – научно обоснованной энергоемкости технологических операций и процессов, агрегатов и машин.

Топливный кризис наступил в мировой экономике в 1973 г., когда стоимость жидкого топлива увеличилась в 400 раз и почти во всех странах был принят режим экономии. Однако академиком М. Е. Мацепуро почти за 10 лет до этого было принято решение создать для экономии топлива научное направление по энергосбережению в сельском хозяйстве. В его основу был положен принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации, сущность которого заключается в минимальных затратах энергии на получение требуемой продукции при максимальных условиях передачи энергии от двигателя к рабочему органу машины, выполняющему полезную работу. При этом количество энергии, затрачиваемой на получение полезной продукции, названо «энергоемкостью», а отношение энергии, используемой для получения полезного продукта, к полной энергии, затрачиваемой агрегатом, названо «коэффициентом полезного действия». В эти же годы математическая база энергетического метода оценки производственных процессов в строительстве была предложена Д. М. Ярошевым, который ввел понятие технического уровня средств механизации как отношение коэффициента полезного действия машины к энергоемкости. Таким образом, чем выше коэффициент полезного действия и чем меньше энергоемкость для получения полезной продукции, тем выше технический уровень средств механизации. Только в 80-х гг. прошлого века получил распространение энергетический анализ в сельскохозяйственном производстве, который ставил своей целью разработку ресурсо- и энергосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции. В качестве основного показателя, характеризующего энергоемкость процесса, технологии, комплекса или системы машин, сорта растений или породы животных, принималась «полная энергоемкость», представляющая собой сумму прямых и овеществленных энергозатрат, отнесенных к объему производственной продукции или выполненной работы [4–8]. Эффективность потребления энергоресурсов в процессе сельскохозяйственного производства при таком энергетическом анализе обычно характеризуют показателем «энергетической эффективности», представляющим собой отношение энергии, аккумулированной за счет фотосинтеза и биоконверсии, к полным затратам энергии, получаемой главным образом от невозобновляемых источников, на производство сельскохозяйственной продукции [4].

Основным значением принципа оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации, предложенного академиком М. Е. Мацепуро, является вскрытие энергетической сущности производственных процессов в сельском хозяйстве, что дает возможность делать выводы о дальнейшем совершенствовании технологического процесса и конструкций средств механизации. В области научно-исследовательских работ этот метод позволяет вскрывать неправильный выбор показателей, односторонность выбранных исследований, недоучет взаимосвязей между исследуемыми показателями, а главное, использовать математический аппарат при изучении взаимодействия рабочих органов машин с обрабатываемой сельскохозяйственной средой.

Однако с усовершенствованием средств производства величина овеществленных затрат энергии изменяется, поэтому необходимы специальные исследования для их систематической корректировки.

Основная часть

При изучении взаимодействия рабочих органов машин и агрегатов с сельскохозяйственной средой при производстве продукции используются законы физики и механики.

Физическое учение об энергии основывается на открытом М. Ю. Ломоносовым законе сохранения энергии. Этот показатель Д. М. Ярошев назвал «энергопоглощаемостью» материала [3].

По мнению М. Е. Мацепуро, в сельскохозяйственном производстве энергоёмкость является основным критерием технологичности и конструктивности машин и агрегатов. Большое значение энергетической оценке работы агрегатов придавал академик В. П. Горячкин [1, 2].

М. Е. Мацепуро отмечал, что коэффициент полезного действия тракторного агрегата зависит от конструктивных элементов и эксплуатационных условий, влияющих на его работу, и подразделяется на коэффициенты полезного действия, характеризующие как конструктивные, так и эксплуатационные параметры агрегата [1].

Когда академик М. Е. Мацепуро предложил методологию экономии энергоресурсов, одновременно с теоретическими исследованиями показателей машинно-тракторного агрегата, влияющих на энергозатраты при производстве технологических процессов, были проведены экспериментальные определения этих показателей в полевых условиях с использованием машин прежних лет выпуска. Для проверки высказанных теоретических положений проводились испытания машинно-тракторных агрегатов в совхозе «Заречье» Смолевичского района Минской области. Составляющие мощностного баланса агрегатов определялись с помощью самоходной тензометрической лаборатории на базе автомобиля ГАЗ-63. Кроме того, электрическими методами измерялись сопротивление рабочих органов, глубина обработки и скорость движения агрегатов. По результатам испытаний определялись показатели производительности $\frac{\eta_a}{\Sigma}$ агрегатов [9].

На примере выполнения технологического процесса почвообработки для навесного пахотного агрегата по результатам испытаний показатель $\frac{\eta_a}{\Sigma}$ был максимален в пределах $v_p = 1,35 - 1,45$ м/с. Это значение скорости соответствует и минимальным эффективным затратам энергии. С уменьшением глубины пахоты вследствие более медленного снижения КПД по сравнению с уменьшением энергоёмкости Σ отношение $\frac{\eta_a}{\Sigma}$ несколько увеличивается, причем его максимум смещается в сторону большей скорости.

Для прицепного агрегата с пятикорпусным плугом скорость, соответствующая максимальному значению $\frac{\eta_a}{\Sigma}$, ниже. При одной и той же глубине пахоты показатель $\frac{\eta_a}{\Sigma}$ прицепного агрегата выше, чем навесного. Это объясняется не только более высокой производительностью при одинаковой скорости движения прицепного агрегата с пятикорпусным плугом, но и меньшим удельным тяговым сопротивлением прицепного плуга. При этом пятикорпусной плуг, хотя и в прицепном исполнении, имея повышенную производительность по сравнению с навесным, но при незначительном повышении энергозатрат, становится эффективнее, что подтверждается показателем $\frac{\eta_a}{\Sigma}$. В этом и заключается объективность предложенного М. Е. Мацепуро принципа оптимальной энергоёмкости технологических процессов и средств механизации.

Рассматривая исторический процесс развития средств сельскохозяйственного производства, можно представить, что технический прогресс связан с уменьшением КПД механизмов передачи энергии посредством их усложнения и уменьшения Σ за счет улучшения рабочих органов и увеличения объема одновременно перерабатываемого материала (имеется в виду уменьшение энергозатрат на обработку единицы объема или веса материала). Аналогично происходит процесс совершенствования землеройных машин, для которых отношение $\frac{\eta_a}{\Sigma}$ непрерывно повышается. Снижение энергоёмкости рабочих органов является закономерностью, отражающей один из важнейших процессов совершенствования сельскохозяйственной техники. Снижение энергоёмкости должно приводить к более интенсивному росту производительности по сравнению с интенсивностью роста мощности привода. В то же время технологические процессы, осуществляемые рабочими органами, неразрывно связаны с механикой агрегатов. Поэтому при анализе эти две стороны производственного процесса неотделимы, и важно найти их рациональное соотношение, которое может наиболее полно характеризоваться показателями производительности $\frac{\eta_a}{\Sigma}$. Эти исследования подтверждают мнение академика М. Е. Мацепуро о том, что при повышении коэффициента полезного действия агрегата и снижении затрат на полезную работу повышается эффективность машинно-тракторных агрегатов, экономно используются

энергоресурсы. При этом эффективное использование энергоресурсов в сельском хозяйстве может явиться эталоном при создании и постановке на производство механических средств, необходимых при производстве продукции растениеводства и животноводства. В этом случае коэффициент полезного действия показывает, насколько без потерь энергия передается от двигателя к рабочему органу машины, а энергоемкость свидетельствует о том, с какими затратами энергии происходит обработка сельскохозяйственного материала при производстве полезной продукции. В этом и есть суть эффективного использования энергоресурсов.

Заключение

Энергосбережение как научное направление в развитии сельского хозяйства было впервые предложено академиком М. Е. Мацепуро, в его основе должен лежать принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации, включающий не только энергозатраты на выполнение производственного процесса, но и конструктивность средств механизации. Лишь через два десятка лет был предложен другой метод энергетического анализа сельскохозяйственного производства, включающий прямые и овеществленные энергозатраты, связанные с затратами на непосредственное выполнение работ, а также с затратами энергоресурсов на всех дополнительных работах, вплоть до добычи ископаемых для приготовления сырьевых ресурсов: металлов, удобрений, ядохимикатов и т. п., с учетом их хранения. Однако каждая из методик энергетического анализа не исключает друг друга, а дополняет, причем первая больше относится к непосредственно выполненной технологической операции, а вторая – к суммарным затратам на весь технологический процесс производства сельскохозяйственной продукции. В настоящее время термин «энергосбережение» можно сформулировать как реализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и внедрение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Литература

1. Мацепуро, М. Е. Принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации / М. Е. Мацепуро // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Минск, 1964. – Т. XII. – С. 276–290.
2. Горячкин, В. П. Собрание сочинений в трех томах / В. П. Горячкин. – М., 1965. – Т. I. – 720 с.
3. Ярошев, Д. М. Проблемы комплексной механизации и энергетический метод / Д. М. Ярошев. – М., 1964. – 186 с.
4. Севернев, М. М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве / М. М. Севернев. – Минск, 1994. – 221 с.
5. Жученко, А. А. Энергетический анализ в сельском хозяйстве. / А. А. Жученко, В. Н. Афанасьев. – Кишинев, 1988. – 130 с.
6. Кубышев, В. А. Основные направления разработки энергосберегающих технологий в сельскохозяйственном производстве: сб. тр. ВИЭСХ / В. А. Кубышев, В. И. Сыроватко. – М., 1985. – Т. 64. – С. 145–155.
7. Лихоцкий, Л. Экономия энергии при механизации сельского хозяйства / Л. Лихотский // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1981. – № 4. – С. 134–145.
8. Марочкин, В. К. Экономия топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве / В. К. Марочкин, Н. Д. Байлук. – Минск, 1987. – С. 76–84.
9. Дмитриев, А. М. К вопросу энергетической оценки машинно-тракторных агрегатов: Тр. ЦНИИМЭСХ / А. М. Дмитриев, И. И. Пиуновский, Н. И. Бохан. – Минск, 1969. – Т. VI. – С. 3–13.

К. А. Кравченко*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»**г. Минск, Республика Беларусь**e-mail: labmkr@yandex.ru***РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

В статье актуализирована потребность в разработке специализированного комплекса программных средств автоматизированного проектирования рабочих органов машин для ухода за мелиоративными каналами. Изложены результаты компьютерного моделирования процесса очистки мелиоративных каналов, а также результаты инженерного анализа входных параметров каналочистителей и косилок-измельчителей с ротационными рабочими органами. Приведен перечень решаемых САПР задач, связанных с компьютеризацией инженерных исследований и моделированием поведения конструкций каналочистительной техники в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, каналочистительная техника, мелиорация, сорная растительность, ротор, моделирование.

К. А. Kravchenin*RUE «SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization» Minsk, Republik of Belarus**e-mail: labmkr@yandex.ru***PREPARATION FOR DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED COMPLEX OF SOFTWARE
OF AUTOMATED DESIGNING OF WORKING BODIES OF CHANNEL CLEANING MACHINES**

The article actualized the need to develop specialized software for complex computer-aided design of working bodies of machines for the care of drainage canals. The results of computer simulation of the process of clearing meliorative canals, as well as the results of engineering analysis of the input parameters of canal cleaners and mowing machines with rotary working bodies are presented. The list of solvable CAD tasks related to the computerization of engineering research and simulation of the behavior of canal cleaning equipment during operation is given.

Keywords: system of computer-aided design, channel cleaning technology, melioration, weed vegetation, rotor, modeling.

Введение

В Республике Беларусь площади мелиорированных земель составляют примерно 6 млн га, из них около 2,9 млн га – земли, подвергнутые осушению. Земли, охваченные осушительно-увлажнительными системами, имеют площадь более 700 тыс. га, а орошаемые земли составляют около 30 тыс. га [1]. Общая протяженность мелиоративных каналов на территории страны – около 170 тыс. км [2]. От их состояния во многом зависит работоспособность всей мелиоративной системы.

С повышением срока эксплуатации сложность и капиталоемкость работ по реконструкции объектов мелиорации возрастает. В связи с чем особую актуальность приобретает разработка и освоение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий выполнения эксплуатационных и профилактических работ для обеспечения максимального срока службы мелиоративных каналов.

В настоящее время работоспособность каналов восстанавливают главным образом путем их очистки одноковшовыми экскаваторами с различными ковшом, изначально не предназначенными для выполнения таких операций. Одноковшовые каналочистители часто нарушают дно

и откосы канала, неспособны очищать каналы малых размеров, и, как правило, требуется проведение дополнительных работ.

Процесс удаления каналоочистителями и косилками-измельчителями с ротационными рабочими органами сорной и древесно-кустарниковой растительности из мелиоративных каналов производится путем ее измельчения до состояния, когда не требуется дополнительной утилизации (то есть нет необходимости привлекать дополнительные технические средства для уборки скошенной растительности).

Применение компьютерных технологий для анализа и проектирования технических средств по уходу за мелиоративными каналами позволяет провести моделирование процесса очистки каналов с целью создания техники, наиболее приспособленной к нашим погодно-климатическим условиям, составу почвы и сорной растительности, выявить преимущества и недостатки различных конструкций еще до этапа создания макетного образца, в значительной мере сократить издержки на производство каналоочистительных машин.

Основная часть

Полное наименование разрабатываемого программного изделия – «Специализированный комплекс программных средств автоматизированного проектирования рабочих органов машин для ухода за мелиоративными каналами» (СКПС ПРО МУМК).

СКПС ПРО МУМК предназначен для информационной поддержки процессов проектирования, объемного геометрического моделирования и инженерного анализа элементов конструкций РО МУМК и анализа принципиальной работоспособности полученных решений.

СКПС ПРО МУМК применяется на этапе проектирования конструкций РО МУМК и представляет собой инструментальную среду проектирования и инженерного анализа элементов конструкций РО МУМК, объединяющую специализированные приложения, используемые в процессе проектирования и обеспечивающие реализацию расчетных процедур, процедур графического и численного моделирования и ведения проекта в составе единой базы данных (БД).

Создание СКПС ПРО МУМК приведет:

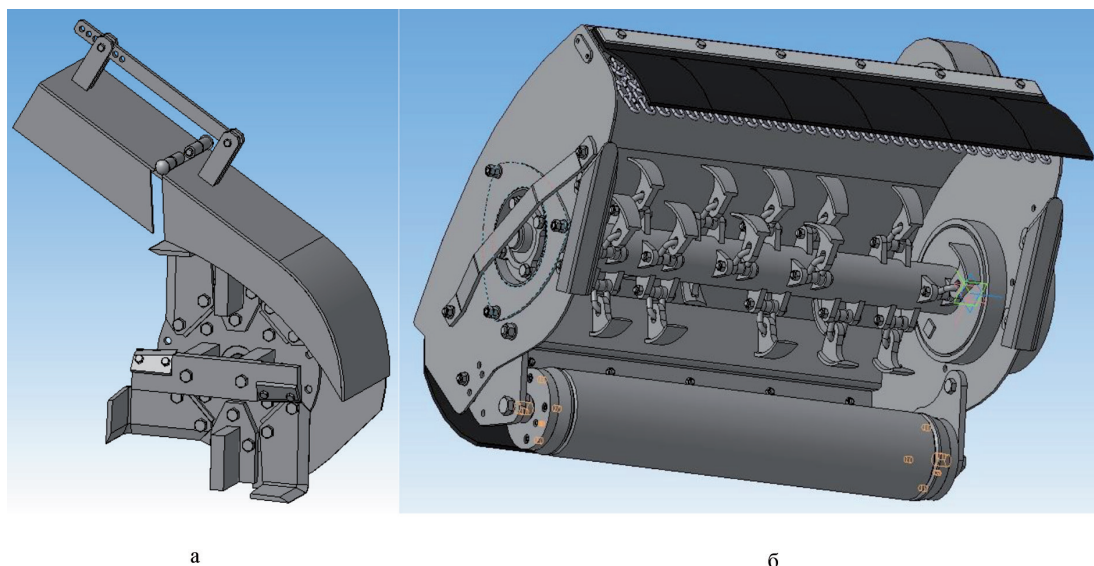
- к снижению затрат на проектирование за счет автоматизации процессов проектирования, формирования геометрических моделей рабочих органов МУМК для целей анализа, формирования расчетных моделей, уменьшения затрат на проведение натурных испытаний и оформление документации по результатам анализа;
- сокращению исправлений и доработок в каждом цикле подготовки конструкторско-технологической документации;
- повышению качества конечного продукта за счет создания перспективных образцов конструкций МУМК, по своим характеристикам не уступающих лучшим зарубежным аналогам и адаптированных к отечественным условиям эксплуатации;
- снижению сроков постановки изделия на производство (20–30 %).

Для создания СКПС ПРО МУМК необходимо:

- проанализировать преимущества и недостатки конструкций технических средств по уходу за мелиоративными каналами, выбрать наиболее перспективные типы машин для очистки мелиоративных каналов от наносов (твердых мелких частиц) и сорной растительности;
- получить аналитические выражения, учитывающие физико-механические свойства травяной растительности и твердых механических частиц (наносов), позволяющие обосновать конструктивные и кинематические параметры ротационных рабочих органов;
- получить уравнения регрессии, описывающие процесс воздействия ротационных рабочих органов на травяную растительность и твердые механические частицы (наносы), позволяющие определить рациональные значения конструктивных и кинематических параметров, при которых обеспечивается качественное выполнение технологических процессов;
- установить закономерности влияния частоты вращения, количества ножей, диаметра, длины фрезы и барабана, скорости движения машины на производительность, позволяющие качественно оценить показатели качества выполнения технологических процессов;

– провести экспериментальные исследования процесса механического воздействия ротационных рабочих органов на травяную растительность и наносы мелиоративных каналов при уходе и восстановлении их профиля для подтверждения теоретических исследований. По их результатам сформировать алгоритмы действий, на основании которых будет работать СКПС ПРО МУМК.

Для проверки и уточнения результатов теоретических исследований, полученных расчетных соотношений были созданы 3-мерные модели базовых ротационных рабочих органов каналоочистителя и косилки-измельчителя (рисунок 1) и проведено виртуальное моделирование процесса удаления сорной растительности со дна мелиоративного канала в программе ANSYS.



а – каналоочиститель; б – косилка-измельчитель
Рисунок 1. – 3-мерные модели ротационных рабочих органов

Схема моделируемого опыта со смещением режущей кромки ножей ротационного рабочего органа каналоочистителя представлена на рисунке 2.

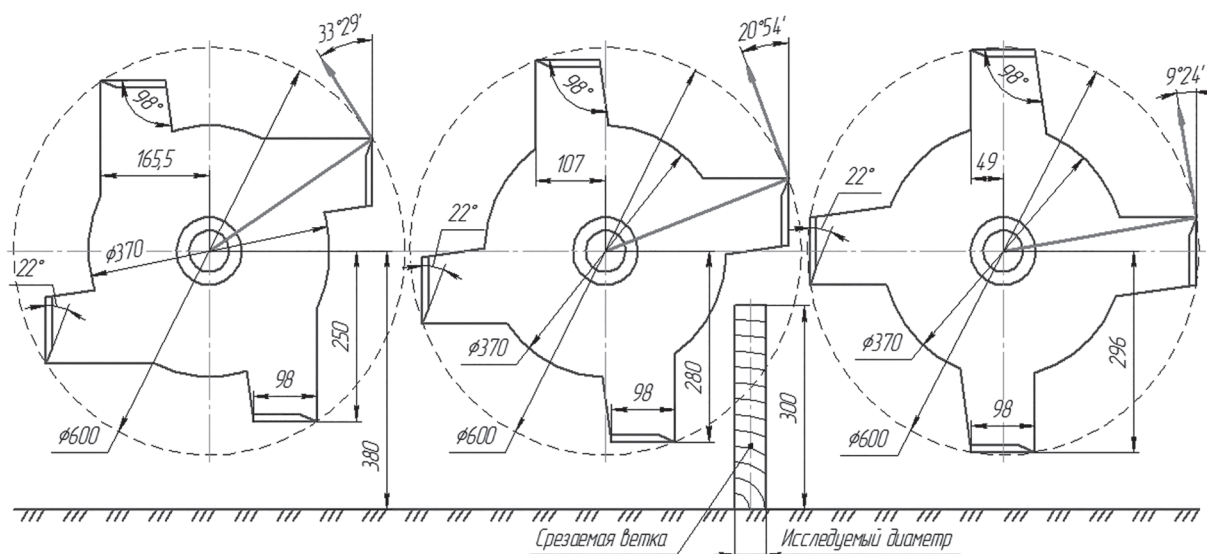


Рисунок 2. – Схема моделируемого опыта работы каналоочистителя с ротационным рабочим органом

Задачей моделируемого опыта было определение степени влияния переменных факторов эксперимента (частота вращения ротационного рабочего органа, смещение режущей кромки ножей каналаочистителя, угол режущей кромки ножей, диаметр ротационного рабочего органа, модуль упругости Юнга стеблей сорной растительности и их плотность) на качество выполнения технологического процесса – удаление наносов, сорной и древесно-кустарниковой растительности со дна мелиоративного канала.

В ходе инженерного анализа проведенных экспериментов были сформированы возможные варианты компоновки конструкций и режимов работы каналаочистителя и косилки-измельчителя (рисунок 2, 3) с ротационными рабочими органами, представленные в таблицах 1 и 2 соответственно.

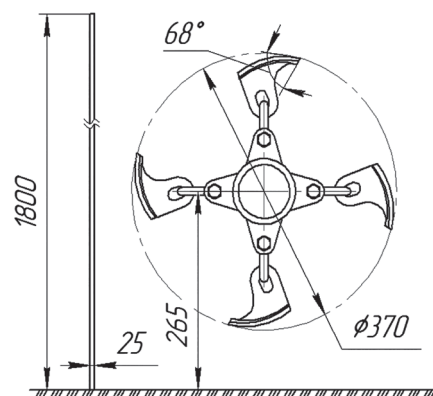


Рисунок 3. – Схема моделируемого опыта работы косилки-измельчителя с ротационным рабочим органом

Таблица 1. – Входные параметры инженерного анализа каналаочистителя [3, 4]

Плотность древесины, $кг/м^3$	Модуль Юнга, $ГПа$	Частота вращ. ротац. раб. орг., $мин^{-1}$	Смещение реж. кромки ножа по X и Y, мм/мм	Угол реж. кромки ножей, град.	Диаметр ротац. раб. орг., мм	Кол-во ножей, мм	Уровень резания от земли, мм
490	9	600	165,5/250	16	500	2	60
530	9,5	700	136/265	19	550	3	70
570	10	800	107/280	22	600	4	80
610	10,5	900	78/288	25	650	5	90
650	11	1000	49/296	28	700	6	100

Таблица 2. – Входные параметры инженерного анализа косилки-измельчителя [3, 4]

Средн. плотн. стволов и листьев сорной растит., $кг/м^3$	Модуль Юнга, $ГПа$	Частота вращ. ротац. раб. орг., $мин^{-1}$	Вес ножа, г	Угол заточ. реж. кромки ножей, град.	Диам. ротац. раб. орг., мм	Кол-во ножей в одной секции, мм	Ширина раб. органа, мм	Уров. резан. от земли, мм
250	7,4	800	350	56	320	2	789	60
300	7,8	900	400	59	350	3	915	70
350	8,2	1000	450	62	370	4	1041	80
400	8,6	1100	500	65	400	5	1167	90
450	9	1200	550	68	420	6	1293	100

В результате компьютерного моделирования были получены зависимости влияния физико-механических параметров сорной растительности (модуль Юнга, плотность стеблей), конструктивных и режимных параметров работы каналаочистителей (частота вращения ротора, смещение режущей кромки ножей, изменение угла вхождения режущей кромки в срезаемый материал) на максимальный диаметр веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган каналаочистителя с заданными параметрами (таблица 3).

Таблица 3. — Влияние физико-механических свойств сорной растительности и конструктивно-режимных параметров ротационного рабочего органа на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины

Порода древесины	Плотность, $кг/м^3$	Модуль Юнга, $ГПа$	Частота вращ. ротац. раб. орг., $мин^{-1}$			Макс. диаметр среза, мм, при 900 $мин^{-1}$		
			700	900	1100	Отклон. реж. кромки на 165,5 мм	Отклон. реж. кромки на 107 мм	Отклон. реж. кромки на 49 мм
Береза	640	14,2	41,8	42,1	42,5	42,1	43,3	45,4
Дуб	780	14,2	41,4	42	42,7	42	43,17	45,26
Ель	445	9,6	44,8	48,9	53,3	48,9	50,4	51,3
Ива	455	8,98	48,6	50,8	53,6	50,8	51,7	52,6
Ольха	525	9,33	45,9	49,6	53,4	49,6	50,9	51,8
Осина	495	11,2	45,2	48,5	52,9	48,5	48,9	49,9
Сосна	505	12,2	42,1	44,9	45,9	44,9	45,8	46,7

Анализ результатов моделирования показал, что:

– для ротационного рабочего органа диаметром 600 мм, ось вращения которого расположена на расстоянии 380 мм от земли, вращающегося с частотой 900 мин⁻¹ и срезающего ветки длиной до 300 мм, при росте плотности срезаемой ветки на 100 кг/м³ максимально срезаемый диаметр древесных остатков уменьшается всего на 0,21 %. В то же время при уменьшении модуля Юнга на 1 ГПа максимально срезаемый диаметр веток увеличивается на 3,83 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,86 мм;

– рост частоты окружного вращения ротационного рабочего органа на 100 мин⁻¹ увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков в среднем на 2,65 %, что для проанализированных пород древесины составляет 1,24 мм;

– при увеличении смещения режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа на 100 мм максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков увеличивается в среднем на 4,03 %, что для проанализированных пород древесины составляет 1,92 мм.

Таким образом, установлены предельные (обеспечивающие критическую скорость резания) конструктивные и режимные параметры ротационных рабочих органов, позволяющие проводить качественное удаление наносов и сорной растительности со дна и откосов мелиоративных каналов с минимальной энергоемкостью.

На базе подобных экспериментов, результатов полевых испытаний и проведения виртуального трехмерного моделирования будут сформированы алгоритмы для работы СКПС ПРО МУМК. Используемые в процессе экспериментов входные параметры позволят уже на этапе подготовки к разработке программного комплекса сформировать базы данных, необходимые для его функционирования.

Заключение

СКПС ПРО МУМК предназначен для информационной поддержки процессов проектирования, объемного геометрического моделирования и инженерного анализа элементов конструкций рабочих органов МУМК и анализа принципиальной работоспособности полученных решений.

Использование СКПС ПРО МУМК делает возможным решение широкого круга задач, связанных с компьютеризацией инженерных исследований и моделированием поведения конструкций в процессе эксплуатации.

Результаты виртуального моделирования позволили подтвердить достоверность проведенных теоретических исследований, сформировать расчетные соотношения для определения параметров и режимов работы ротационных рабочих органов, а также разработать алгоритмы и программные средства реализации функций расчета параметров ротационных рабочих органов каналоочистительных машин.

Литература

1. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 31 августа 2010 г., № 1262 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2010. – 5/32430.
2. Мелиоративные машины / Б. А. Васильев [и др.]; под ред. И. И. Мера. – М.: Колос, 1980. – 351 с.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: учебник / Н. И. Кленин, В. Г. Егоров. – М.: Колос С, 2003. – 464 с.
4. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины: учебник / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – 6 изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 527 с.
5. Мажугин, Е. И. Мелиоративные машины. Основы теории и расчета: учеб. пособие / Е. И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2007. – 161 с.

В. М. Булгаков*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
г. Киев, Украина
e-mail: vbulgakov@meta.ua***ТЕОРИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ И УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ
КОМБИНИРОВАННОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА**

Целью данного исследования является разработка теоретических основ вертикальных колебаний комбинированного пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата и обоснование устойчивости его движения в продольно-вертикальной плоскости. При проведении исследований использованы методы построения расчетных математических моделей функционирования сельскохозяйственных машин и машинных агрегатов, основанные на теории трактора, теории колебаний, теории автоматического регулирования и устойчивости движения, и методы составления программ и численных расчетов на ПЭВМ. Динамика вертикальных колебаний данного агрегата исследована на основе анализа амплитудно-частотных характеристик агрегата как динамической системы, реагирующей на внешние возмущения в виде неровностей поверхности почвы. В результате проведенных аналитических исследований вначале была построена эквивалентная схема данного комбинированного машинно-тракторного агрегата в продольно-вертикальной плоскости, определены характерные его точки, заданы линейные и угловые перемещения, приложены активные силы. Каждое пневматическое колесо агрегата, представленное в виде упруго-демпфирующей модели, имеет точечный контакт с неровностями поверхности почвы, которые заданы соответствующими высотами. Используя исходные уравнения динамики в форме Лагранжа 2-го рода, вначале были определены обобщенные координаты, выражения для кинетических и потенциальных энергий, диссипативных функций и обобщенных сил и после необходимых преобразований составлена система из четырех дифференциальных уравнений движения рассматриваемой динамической системы. Далее для полученной системы дифференциальных уравнений были выполнены преобразования Лапласа, что дало возможность получить систему уравнений в операторной форме и подготовить их к виду, удобному для численных расчетов по составленной программе на ПЭВМ. По результатам численных расчетов построены графики амплитудных и фазовых частотных характеристик вертикальных колебаний трактора при различных коэффициентах жесткости его управляемых колес, амплитудно-частотные характеристики колебаний измельчителя в зависимости от его массы и коэффициента жесткости шин опорных колес, а также характеристики колебаний плуга при различных коэффициентах жесткости его полевого опорного пневматического колеса.

Ключевые слова: трактор, машинный агрегат, плуг, измельчитель, теория, дифференциальные уравнения, численные решения, колебания, амплитуда, частота.

V. M. Bulgakov*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kiev, Ukraine
e-mail: vbulgakov@meta.ua***THEORY OF VERTICAL VIBRATIONS AND SUSTAINABILITY OF MOTION
OF COMBINED MACHINE-TRACTOR UNIT**

The purpose of this study is to develop the theoretical foundations of the vertical oscillations of the combined arable-grinding machine-tractor unit and to justify the stability of its movement in the longitudinal-vertical plane. The studies used methods for constructing mathematical models of the functioning of agricultural machines and machine units based on the theory of the tractor, the theory of oscillations, the theory of automatic control and stability of motion, and methods of programming and numerical calculations on a PC. The dynamics of the vertical oscillations of this unit is investigated on the basis of the analysis of the amplitude-frequency characteristics of the unit as a dynamic system that reacts to external disturbances in the form of irregularities in the soil surface. As a result of the conducted analytical studies, an equivalent circuit of this combined machine-tractor unit was

constructed in the longitudinal-vertical plane, its characteristic points were determined, linear and angular displacements were specified, and active forces were applied. Each pneumatic wheel of the unit, presented in the form of an elastic-damping model, has a point contact with the unevenness of the soil surface, which are given by the corresponding heights. Using the initial equations of Lagrange form of the 2nd kind, first generalized coordinates, expressions for kinetic and potential energies, dissipative functions and generalized forces were determined and after the necessary transformations a system of four differential equations of motion of the dynamical system under consideration was composed. Next, for the obtained system of differential equations, Laplace transformations were performed, which made it possible to obtain a system of equations in operator form and prepare them for a form convenient for numerical calculations using a compiled program on a PC. According to the results of numerical calculations, graphs of the amplitude and phase frequency characteristics of the tractor's vertical oscillations with different stiffness coefficients of its steerable wheels, amplitude-frequency characteristics of chopper vibrations depending on its mass and stiffness coefficient of the tires of the support wheels, as well as the characteristics of its oscillations field pneumatic support wheel.

Keywords: tractor, machine unit, plow, chopper, theory, differential equations, numerical solutions, oscillations, amplitude, frequency.

Постановка проблемы

Широкое применение универсальных комбинированных машинно-тракторных агрегатов, способных за один проход осуществлять несколько технологических операций, обусловлено несомненными их преимуществами, которые касаются значительных сокращений затрат, сроков проведения, снижения уплотняющего воздействия на почву, повышения качественных показателей. Для создания таких комбинированных машинно-тракторных агрегатов в наибольшей степени подходят современные пахотно-пропашные тракторы класса 3, имеющие передние и задние навесные устройства и, соответственно, передний и задний валы отбора мощности, а также способные эффективно двигаться прямым и реверсивным ходами.

Используя колесный пахотно-пропашной трактор класса 3, нами был разработан, а затем успешно испытан комбинированный машинно-тракторный агрегат, который за один проход может эффективно захватывать, измельчать и разбрасывать пожнивные растительные остатки (сухие и полеглые, высотой до одного метра) фронтально навешенным роторным измельчителем и одновременно осуществлять пахоту задненавесным плугом, то есть запахивать эти остатки на нужную глубину.

Не менее актуальным и эффективным может быть разработанный нами другой комбинированный агрегат, который за один проход способен разбрасывать минеральные удобрения фронтально навешенным разбрасывателем удобрений и производить их одновременное запахивание задним плугом.

Однако формирование и эффективная эксплуатация современных комбинированных широкозахватных машинно-тракторных агрегатов требуют соответствующей разработки новых научно-технических основ их агрегатирования. Прежде всего, это касается исследования динамических свойств и поиска параметров, обеспечивающих их устойчивое движение при одновременном выполнении различных технологических процессов.

Исследованию динамики сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов посвящены многие работы, классическими из которых являются работы П. М. Василенко [1–4], Л. В. Гячева [5, 6] и др. Однако предметом исследований в этих и других работах являлись агрегаты, которые агрегатируют только одну сельскохозяйственную машину, фронтально навешенную или прицепную. При этом теоретическое исследование данных машинно-тракторных агрегатов как динамических систем рассматривалось в горизонтальной или вертикальной плоскостях и наиболее часто дифференциальные уравнения движения были получены с использованием исходных уравнений динамики Лагранжа 2-го рода. Исследованию динамики комбинированных сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов (имеющих передненавесную и заднеприцепную машины) посвящены работы [7–10]. Однако в указанных работах при исследованиях колебаний таких агрегатов в продольно-вертикальных плоскостях не всегда учитываются случаи, когда опорно-копирующие колеса сельскохозяйственных машин имеют пневматические шины и представляют собой упругодемпфирующие модели (т. е. имеют соответствующие коэффициенты

жесткости и демпфирования), они рассматриваются как абсолютно жесткие. Кроме того, в современных конструкциях плугов также предусматривается использование пневматических колес в качестве полевых опорных колес, причем их может быть установлено на задненавесной плуг несколько. В связи с этим возникает необходимость уточнения математических моделей движения комбинированных машинно-тракторных агрегатов путем разработки более точных и при этом максимально учитывающих реальные условия эксплуатации их эквивалентных схем, а в дальнейшем – дифференциальных уравнений движения. Наибольший интерес представляют исследования комбинированных машинно-тракторных агрегатов, когда рассматриваются их колебательные движения именно в продольно-вертикальной плоскости, которые в значительной степени определяют их тягово-эксплуатационные свойства и качественные показатели агрегируемых машин.

Цель исследования

Целью данного исследования является разработка теоретических основ вертикальных колебаний комбинированного машинно-тракторного агрегата в составе пахотно-пропашного колесного трактора, навешенного на него сзади плуга и установленного фронтального измельчителя растительной массы и обоснование устойчивости его движения в продольно-вертикальной плоскости.

Материалы и методы

Исследование проведено с использованием методов моделирования функционирования сельскохозяйственных машин и машинных агрегатов, теории трактора, высшей математики, теоретической механики, в частности с использованием исходных уравнений в форме Лагранжа 2-го рода, преобразований Лапласа, а также составлением программ и численных расчетов на ПК.

Теория и моделирование

Во время рабочего движения указанного пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата на агрегирующий колесный трактор со стороны фронтально навешенного на него измельчителя растительных остатков и задненавесного плуга передаются колебания (толчки, удары), вызванные неровностями профиля поверхности почвы, неравномерностью сопротивления пахотного орудия, дискретностью нагрузок на измельчитель. В общем случае все три звена машинно-тракторного агрегата осуществляют при этом поступательные вертикальные и угловые перемещения в продольно-вертикальной плоскости.

Для построения расчетной математической модели данного комбинированного машинно-тракторного агрегата прежде всего разработаем его эквивалентную схему, рассматривая движения только в продольно-вертикальной плоскости (рисунок 1). Следует сразу оговорить, что подробное описание этой эквивалентной схемы будет нами последовательно приведено при детальном рассмотрении и моделировании составных элементов данного машинно-тракторного агрегата.

Связь между агрегирующим трактором и передней и задней навешенными сельскохозяйственными машинами происходит через нижние и центральные тяги его заднего и переднего навесных механизмов. Основное (рабочее) положение этих механизмов в процессе рабочего движения агрегата является плавающим. Поэтому во время движения машинно-тракторного агрегата при выполнении рабочего процесса имеются все основания пренебречь угловыми колебаниями фронтально навешенного измельчителя растительных остатков и задненавесного плуга. Наиболее ощутимые повороты их в продольно-вертикальной плоскости могли бы иметь место лишь при преодолении агрегатом значительных по высоте неровностей поверхности почвы, при этом достаточно часто повторяющихся. Однако вероятность таких неровностей является минимальной, поскольку макрорельеф полей, которые используются в современном сельском хозяйстве, в большинстве случаев является достаточно выровненным.

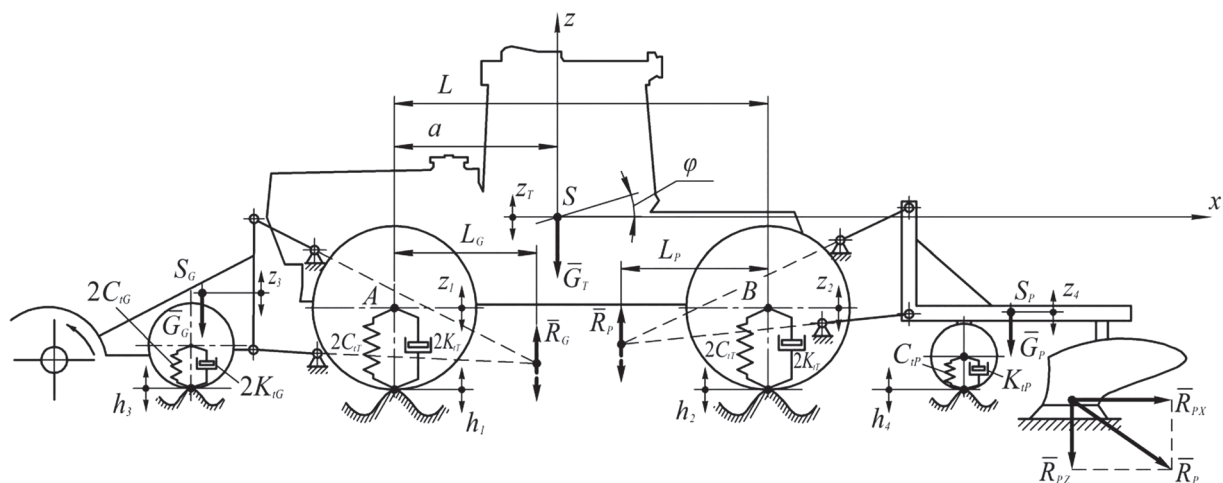


Рисунок 1. – Эквивалентная схема комбинированного пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата в продольно-вертикальной плоскости

В связи с вышеизложенным сформулируем основные допущения, принятые при построении расчетной математической модели комбинированного машинно-тракторного агрегата на основе пахотно-пропашного трактора:

1. В связи с незначительными угловыми колебаниями технологических частей пахотно-измельчающего машинно-тракторного агрегата принимаем, что синус и тангенс малого аргумента приблизительно равны самому аргументу, а косинус равен единице.

2. С целью упрощения решения поставленной задачи дифференциальные уравнения вертикальных колебаний пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата наиболее целесообразно составлять отдельно для каждого из его звеньев (то есть трактора, измельчителя растительных остатков и плуга). Взаимное влияние между ними будет выражаться одинаковыми по модулю и противоположными по направлению силами, приложенными в точках мгновенных центров поворота переднего и заднего навесных механизмов трактора.

3. Движение трактора в составе пахотно-измельчительного агрегата осуществляется правыми колесами в борозде. Наклон трактора в продольно-поперечной плоскости при этом учитывается тем, что он по отношению к фронтально установленному измельчителю растительных остатков и задненавесному плугу располагается на горизонтальной поверхности, ниже от поверхности поля на половину глубины пахоты. В этом случае есть возможность считать одинаковыми вертикальные нагрузки на колесах одной оси трактора.

4. Принимаем, что во время рабочего движения исследуемого машинно-тракторного агрегата колесный трактор сохраняет постоянный точечный контакт с поверхностью почвы, т. е. с поверхностью агротехнического фона.

5. Колебания неровностей поверхности почвы при этом представляют собой случайную стационарную и эргодическую функцию пути.

6. При незначительной амплитуде вертикальных колебаний продольного профиля неровностей поверхности почвы силы сопротивления в шинах пневматических колес допускается принимать пропорциональными скорости колебаний, а характеристики их упругих элементов – считать линейными.

Согласно принятым допущениям построим вначале расчетную математическую модель вертикальных колебаний только агрегирующего трактора. Для решения данной задачи рассмотрим пахотно-пропашной трактор тягового класса 3 в составе пахотно-измельчительного агрегата, представив его в виде отдельной эквивалентной схемы (рисунок 2). Колеса трактора представлены в виде упругодемпфирующих моделей, имеющих коэффициенты C_{it} жесткостей его шин и коэффициенты K_{it} сопротивления деформаций (демпфирования) шин. Поскольку на эквивалентной схеме (рисунок 2) показаны двойные колеса каждой оси трактора, то, соответственно, удваиваются и указанные коэффициенты. Каждое из колес трактора (переднее и заднее),

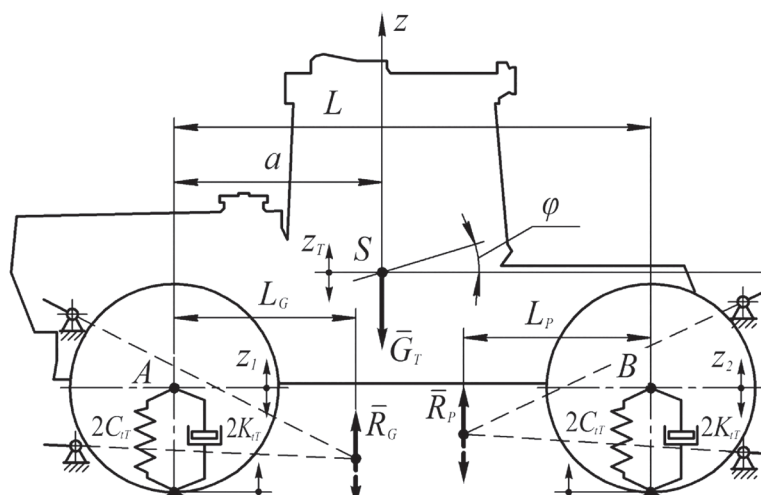


Рисунок 2. – Эквивалентная схема вертикальных колебаний агрегирующего трактора

имея точечный контакт с поверхностью почвы, движется по ее неровностям, высоты которых обозначены: h_1 – для неровностей под передними колесами трактора и h_2 – под задними колесами трактора.

Покажем на эквивалентной схеме все силы, которые действуют на трактор во время его движения. В соответствии с изложенными выше предположениями влияние фронтально навешенного измельчителя растительных остатков и задненавешенного на трактор плуга представим реакциями \bar{R}_G и \bar{R}_P , сосредоточенными, соответственно, в точках мгновенных центров поворота переднего и заднего навесных механизмов трактора. Указанные реакции \bar{R}_G и \bar{R}_P расположены, соответственно, на расстояниях L_G и L_P от оси переднего и заднего мостов трактора. К трактору приложена также сила его тяжести \bar{G}_T , сосредоточенная в его центре масс (точка S). Продольная база трактора обозначена L , через a – расстояние от оси передних колес трактора до его центра масс.

Покажем на эквивалентной схеме систему декартовых координат xSz , начало которой совпадает с центром масс трактора (точка S), ось x направлена горизонтально в сторону ведущих колес трактора, а ось z – вертикально вверх.

В представленном виде расчетная математическая модель трактора в составе пахотно-измельчительного комбинированного агрегата имеет две степени свободы: вертикальные колебания z_T его центра масс (точка S) и угловые колебания остова φ .

Дифференциальные уравнения движения (колебаний) трактора в продольно-вертикальной плоскости составим в форме уравнений динамики Лагранжа 2-го рода такого вида [1]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T_T}{\partial q_i} + \frac{\partial E_T}{\partial q_i} + \frac{\partial D_T}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (1)$$

где q_i – обобщенная координата ($i = 1, 2$); T_T – кинетическая энергия трактора; E_T – потенциальная энергия трактора; D_T – диссипативная функция рассеивания энергии трактором; Q_i – обобщенная сила.

Определим составляющие, входящие в выражение (1).

Прежде всего, определим выражение для кинетической энергии T_T вертикальных колебаний трактора, которое будет иметь такой вид:

$$T_T = \frac{M_T \dot{z}_T^2 + J_T \dot{\varphi}^2}{2}, \quad (2)$$

где M_T – масса трактора (κz); J_T – момент инерции трактора относительно оси, которая проходит через его центр масс (точка S) и является нормалью к продольно-вертикальной плоскости ($\kappa z \times m^2$).

Определим далее составляющие, которые входят в выражение (2). Прежде всего, обобщенные координаты z_T и j определенным образом связаны с вертикальными перемещениями переднего и заднего мостов трактора, т. е. с z_1 (точка A) и z_2 (точка B). Поэтому указанную связь аналитически можно представить такими двумя зависимостями:

$$z_T = \frac{z_1(L-a) + z_2a}{L}; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{z_2 - z_1}{L}, \quad (4)$$

где L и a – продольная база и продольная координата центра масс (точка S) трактора, м.

Поскольку при малых угловых перемещениях, как было указано выше, $\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$, то выражение (4) можно записать в более упрощенном виде:

$$\varphi = \frac{z_2 - z_1}{L}. \quad (5)$$

Продифференцируем далее выражения (3) и (5). Будем иметь:

$$\dot{z}_T = \frac{\dot{z}_1(L-a) + \dot{z}_2a}{L}; \quad (6)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{L}. \quad (7)$$

Подставив значения производных из (6) и (7) в выражение (2), после соответствующих преобразований и обозначения коэффициентов D_1 , D_2 и D_3 получим выражение для кинетической энергии трактора в таком виде:

$$T_T = \frac{D_1\dot{z}_1^2 + 2D_2\dot{z}_1\dot{z}_2 + D_3\dot{z}_2^2}{2}, \quad (8)$$

$$\text{где } D_1 = \frac{M_T(L-a)^2 + J_T}{L^2}; \quad D_2 = \frac{M_Ta(L-a) - J_T}{L^2}; \quad D_3 = \frac{M_Ta^2 + J_T}{L^2}.$$

Выполним далее действия согласно исходному уравнению (1). Поскольку кинетическая энергия T_T трактора зависит только от скорости и не зависит от обобщенной координаты, то:

$$\frac{\partial T_T}{\partial q_i} = 0. \quad (9)$$

Найдем далее частные производные от кинетической энергии T_T по скоростям обобщенных координат, которые будут иметь такой вид:

$$\frac{\partial T_T}{\partial \dot{z}_1} = D_1\dot{z}_1 + D_2\dot{z}_2; \quad (10)$$

$$\frac{\partial T_T}{\partial \dot{z}_2} = D_2\dot{z}_1 + D_3\dot{z}_2. \quad (11)$$

Частные производные по времени от выражений (10) и (11) определяются следующим образом:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_T}{\partial \dot{z}_1} = D_1\ddot{z}_1 + D_2\ddot{z}_2; \quad (12)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_T}{\partial \dot{z}_2} = D_2\ddot{z}_1 + D_3\ddot{z}_2. \quad (13)$$

Определим далее потенциальную энергию E_T трактора. Она будет равна работе упругих сил переднего и заднего мостов трактора. Указанные упругие силы являются функциями соот-

ветствующих прогибов упругих элементов, которыми являются шины ходовой системы колесного трактора. Если для переднего колеса прогиб обозначить через z_{fw} , а для заднего – z_{rw} , которые будут отсчитываться от положения статического равновесия данной динамической системы, то их значения могут быть определены таким образом:

$$\left. \begin{aligned} z_{fw} &= z_1 - h_1; \\ z_{rw} &= z_2 - h_2, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где h_1, h_2 – высоты неровностей поверхности почвы, расположенные под передними и задними колесами трактора соответственно, м.

Переменные во времени величины неровностей поверхности почвы h_1 и h_2 представляют собой те возмущения со стороны агрофона, которые и вызывают вертикальные колебания всех звеньев рассматриваемого машинно-тракторного агрегата.

У пахотно-пропашного трактора класса 3 колеса переднего и заднего мостов оборудованы одинаковыми шинами, кроме того, на эквивалентной схеме показанные шины каждого из мостов фактически являются удвоенными. С учетом вышесказанного выражение для нахождения потенциальной энергии E_T трактора будет иметь вид:

$$E_T = C_{iT} z_{fw}^2 + C_{iT} z_{rw}^2 = C_{iT} (z_{fw}^2 + z_{rw}^2). \quad (15)$$

С учетом выражения (14) потенциальная энергия E_T трактора в окончательном виде будет равна:

$$E_T = C_{iT} (z_1^2 - 2z_1h_1 + h_1^2 + z_2^2 - 2z_2h_2 + h_2^2). \quad (16)$$

Частные производные от потенциальной энергии E_T :

$$\frac{\partial E_T}{\partial z_1} = 2C_{iT} (z_1 - h_1); \quad (17)$$

$$\frac{\partial E_T}{\partial z_2} = 2C_{iT} (z_2 - h_2). \quad (18)$$

Диссипативную функцию D_T рассеивания энергии трактором определяем через силы сопротивления, пропорциональные скоростям перемещений. Указанные силы сопротивления также обусловлены шинами колес ходовой системы трактора. Как было сказано выше, для рассматриваемого нами случая, т. е. для пахотно-пропашного трактора класса 3 колеса переднего и заднего мостов имеют одинаковые шины, показанные на эквивалентной схеме как удвоенные, тогда диссипативная функция D_T рассеивания энергии трактором будет иметь вид:

$$D_T = K_{iT} \dot{z}_{fw}^2 + K_{iT} \dot{z}_{rw}^2 = K_{iT} (\dot{z}_{fw}^2 + \dot{z}_{rw}^2). \quad (19)$$

С учетом системы уравнений (14) выражение (19) для определения диссипативной функции D_T окончательно будет иметь вид:

$$D_T = K_{iT} (\dot{z}_1^2 - 2\dot{z}_1\dot{h}_1 + \dot{h}_1^2 + \dot{z}_2^2 - 2\dot{z}_2\dot{h}_2 + \dot{h}_2^2). \quad (20)$$

Частные производные для диссипативной функции D_T при этом будут иметь такие выражения:

$$\frac{\partial D_T}{\partial \dot{z}_1} = 2K_{iT} (\dot{z}_1 - \dot{h}_1); \quad (21)$$

$$\frac{\partial D_T}{\partial \dot{z}_2} = 2K_{iT} (\dot{z}_2 - \dot{h}_2). \quad (22)$$

В выражении (1) неопределенными остаются лишь обобщенные силы Q_i . Поскольку расчетная математическая модель трактора в составе рассматриваемого агрегата имеет две степени свободы, то таких обобщенных сил также будет две.

Для их определения дадим динамической системе возможное перемещение δz_1 . Перемещение заднего моста трактора при этом зафиксируем на нулевом уровне, тогда $\delta z_2 = 0$. Активными силами, которые выполняют работу на указанном возможном перемещении системы, будут силы R_G и R_P .

Вычислим сумму работ δA этих сил на возможном перемещении точки A . Она будет равна:

$$\delta A = R_G \delta z_{(R_G)} + R_P \delta z_{(R_P)} - G_T \delta z_{(G_T)}, \quad (23)$$

где $\delta z_{(R_G)}$, $\delta z_{(R_P)}$ и $\delta z_{(G_T)}$ – вертикальные перемещения точек приложения сил R_G , R_P и G_T .

Учитывая условие, что $\delta z_2 = 0$, из выражения (6) находим:

$$\delta z_{G_T} = \frac{\delta z_1 (L - a)}{L}. \quad (24)$$

По аналогии с этим можем записать:

$$\delta z_{(R_G)} = \frac{\delta z_1 (L - L_G)}{L}; \quad (25)$$

$$\delta z_{(R_P)} = \frac{\delta z_1 L_P}{L}. \quad (26)$$

В результате выражение для определения работы сил R_G и R_P на возможном перемещении динамической системы δz_1 имеет следующий вид:

$$\delta A = \left[\frac{R_G (L - L_G) + R_P L_P - G_T (L - a)}{L} \right] \delta z_1. \quad (27)$$

Из выражения (27) можем найти обобщенную силу Q_{z_1} , которая вызывает перемещение δz_1 . Она будет равна:

$$Q_{z_1} = \frac{R_G (L - L_G) + R_P L_P - G_T (L - a)}{L}. \quad (28)$$

Аналогично определяем и вторую обобщенную силу Q_{z_2} :

$$Q_{z_2} = \frac{R_G L_G + R_P (L - L_P) - G_T a}{L}. \quad (29)$$

Таким образом, найдены все составляющие, которые входят в выражение (1), и есть возможность подставить их, выполнить требуемые преобразования и получить систему, состоящую из двух дифференциальных уравнений вынужденных колебаний пахотно-пропашного трактора класса 3 в продольно-вертикальной плоскости, которая и будет представлять собой его расчетную математическую модель:

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \ddot{z}_1 + A_{12} \dot{z}_1 + A_{13} z_1 + A_{14} \ddot{z}_2 &= f_{11} \dot{h}_1 + f_{12} h_1 + f_{13}; \\ A_{21} \ddot{z}_2 + A_{22} \dot{z}_2 + A_{23} z_2 + A_{24} \ddot{z}_1 &= f_{21} \dot{h}_2 + f_{22} h_2 + f_{23}, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

$$\text{где } A_{11} = \frac{M_T (L - a)^2 + J_T}{L^2}; \quad A_{21} = \frac{M_T a^2 + J_T}{L^2}; \quad A_{12} = 2K_{iT}; \quad A_{22} = A_{12}; \quad A_{13} = 2C_{iT};$$

$$A_{23} = A_{13}; \quad A_{14} = \frac{M_T a (L - a) - J_T}{L^2}; \quad A_{24} = A_{14}; \quad f_{11} = f_{21} = A_{12}; \quad f_{12} = f_{22} = A_{13};$$

$$f_{13} = \frac{R_G(L - L_G) + R_P L_P - G_T(L - a)}{L}; \quad f_{23} = \frac{R_G L_G + R_P(L - L_P) - G_T a}{L}.$$

Далее, согласно принятым выше допущениям, построим расчетную математическую модель фронтально навешенного на трактор измельчителя растительных остатков.

Для исследования фронтально навешенного на трактор измельчителя растительных остатков как динамической модели, так же как и в предыдущем случае, представим его эквивалентную схему (рисунок 3). Центр масс измельчителя обозначен точкой S_G , в которую помещен центр прямоугольной декартовой системы координат xS_Gz , у которой ось x направлена горизонтально вправо, а ось z – вертикально вверх. Два опорных копирующих пневматических колеса измельчителя также представлены в виде упругодемпфирующих моделей, которые на эквивалентной схеме представлены одним колесом, имеющим удвоенные коэффициенты жесткости $2C_{tG}$ и демпфирования $2K_{tG}$. Обозначим силы, приложенные к измельчителю в продольно-вертикальной плоскости. Такими силами будут: сила веса \bar{G}_G , приложенная в точке S_G ; сила \bar{R}_G , действующая со стороны агрегирующего трактора, приложенная в точке мгновенного центра поворота его переднего навесного механизма (эта сила равна по модулю той же силе, которая уже использована нами при рассмотрении колебаний трактора, однако противоположная ей по направлению). Вертикальной составляющей силы, которая возникает на самом режущем аппарате измельчителя во время скашивания растительных остатков, ввиду ее незначительной величины, пренебрегаем.

Копирующие колеса измельчителя также имеют точечные контакты с неровностями поверхности почвы, высота которых обозначена h_3 . В продольно-вертикальной плоскости измельчитель имеет одну степень свободы, т. е. вертикальное перемещение его центра масс (точка S_G) – z_3 . Это вертикальное перемещение можно принять в качестве обобщенной координаты q_3 .

Используя исходные уравнения (1), составим дифференциальное уравнение движения (колебаний) измельчителя растительных остатков, фронтально навешенного на колесный агрегирующий трактор. Прежде всего определим кинетическую T_G и потенциальную E_G энергии измельчителя следующими выражениями:

$$T_G = \frac{M_G \dot{z}_3^2}{2}; \quad (31)$$

$$E_G = C_{tG} (z_3 - h_3)^2, \quad (32)$$

где M_G – масса измельчителя растительных остатков, (кг).

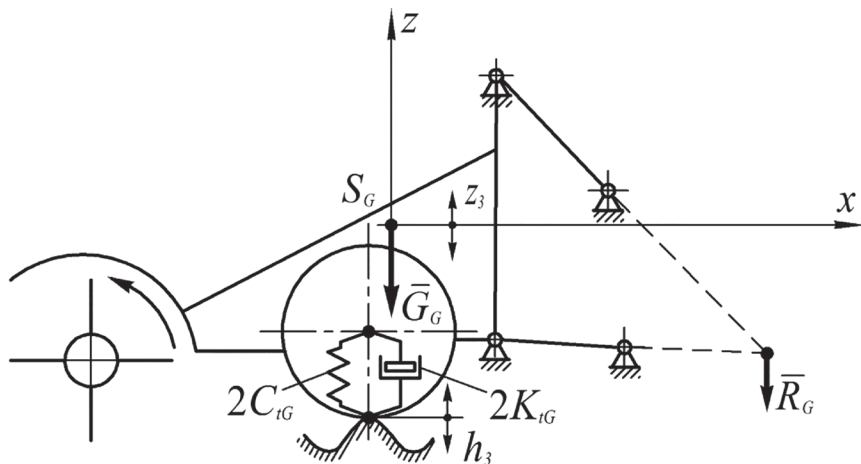


Рисунок 3. – Эквивалентная схема вертикальных колебаний фронтально навешенного на трактор измельчителя растительных остатков

Диссипативная функция D_G рассеивания энергии для измельчителя, которая прямо пропорциональна скорости вертикального перемещения его центра масс, будет определяться выражением:

$$D_T = K_{IG} (\dot{z}_3 - \dot{h}_3)^2. \quad (33)$$

Определим далее обобщенную силу. Поскольку расчетная математическая модель фронтально навешенного на трактор измельчителя растительных остатков в составе рассматриваемого агрегата имеет одну степень свободы, то будет одна обобщенная сила Q_{z_3} .

Вычислим вначале сумму работ δA всех активных сил, действующих на возможном перемещении точки S_G . Она будет равна:

$$\delta A = -(R_G \delta z_3 + G_G \delta z_3). \quad (34)$$

Обобщенная сила Q_{z_3} , которая определяется из выражения (34) и которая вызывает вертикальные перемещения центра масс (точка S_G) измельчителя, будет равна:

$$Q_{z_3} = -(R_G + G_G). \quad (35)$$

Используя полученные выражения (31)–(33) и (35), выполнив необходимые их преобразования и подстановку в уравнение (1), получим расчетную математическую модель вынужденных вертикальных колебаний измельчителя растительных остатков, фронтально навешенного на агрегирующий трактор, такого вида:

$$A_{31}\ddot{z}_3 + A_{32}\dot{z}_3 + A_{33}z_3 = f_{31}\dot{h}_3 + f_{32}h_3 + f_{33}, \quad (36)$$

где $A_{31} = M_G$; $A_{32} = 2K_{IG}$; $A_{33} = 2C_{IG}$; $f_{31} = A_{32}$; $f_{32} = A_{33}$; $f_{33} = -(R_G + G_G)$.

Используя принятые ранее допущения, построим расчетную математическую модель для задненавесного плуга.

При этом следует сразу оговорить, что агрегируемый навесной плуг может иметь опорное полевое колесо, выполненное стальным гладким, а может иметь, и это сейчас широко распространено в конструкциях современных (особенно многокорпусных) навесных плугов, опорное полевое колесо, оборудованное пневматической шиной. В этом случае задненавесной плуг данного комбинированного пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата будет иметь в процессе работы свои независимые вертикальные колебания, которые также необходимо учесть. Поэтому для задненавесного плуга составляем эквивалентную схему, на которой показано опорное полевое пневматическое колесо, которое также является упругодемпфирующей моделью, представленной на эквивалентной схеме коэффициентами жесткости C_{IP} и демпфирования K_{IP} (рисунок 4). Опорное пневматическое колесо плуга также имеет точечный контакт с неровностями поверхности почвы, высота которых обозначена через h_4 .

Центр масс задненавесного плуга, обозначенный на эквивалентной схеме точкой S_P , выбран началом прямоугольной декартовой системы координат xS_Pz , у которой ось x расположена горизонтально и направлена вправо, а ось z направлена вверх. В центре масс навесного плуга приложена сила тяжести \bar{G}_P . В продольно-вертикальной плоскости на навесной плуг также действует сила \bar{R}_P , передающаяся на него со стороны агрегирующего трактора, приложенная в точке мгновенного центра поворота его заднего навесного механизма (эта сила равна по модулю той же силе, которая уже использована нами при рассмотрении колебаний трактора, однако противоположна ей по направлению). Кроме того, в этой же плоскости необходимо учесть вертикальную составляющую \bar{R}_Z тягового сопротивления \bar{R}_P . Поскольку при испытаниях плугов всегда определяют горизонтальную составляющую тягового сопротивления \bar{R}_X , а, как известно, $\bar{R}_P = \bar{R}_X + \bar{R}_Z$, то, согласно данным [12], $R_Z \approx 0,2R_X$.

В продольно-вертикальной плоскости задненавесной плуг также имеет одну степень свободы, т. е. вертикальное перемещение его центра масс (точка S_P) – z_4 . Это вертикальное перемещение центра масс плуга можно принять в качестве обобщенной координаты q_4 .

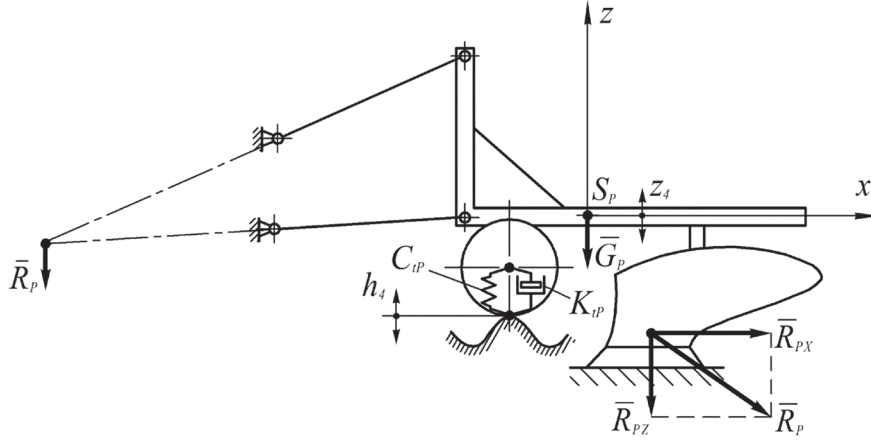


Рисунок 4. – Эквивалентная схема вертикальных колебаний задненавесного на трактор плуга

Определим кинетическую T_P и потенциальную E_P энергии плуга, а также диссипативную функцию D_P для плуга. Они будут определяться следующими выражениями:

$$T_P = \frac{M_P \dot{z}_4^2}{2}; \quad (37)$$

$$E_P = C_{IP} (z_4 - h_4)^2; \quad (38)$$

$$D_P = K_{IP} (\dot{z}_4 - \dot{h}_4)^2, \quad (39)$$

где M_P – масса задненавесного плуга, кг.

Для вычисления обобщенной силы Q_{z_4} воспользуемся известными ранее аналогичными выражениями. Так, сумма работ δA всех активных сил, действующих на возможном перемещении точки S_P , будет равна:

$$\delta A = -(R_P \delta z_4 + G_P \delta z_4 + R_{PZ} \delta z_4). \quad (40)$$

Обобщенная сила Q_{z_4} , которая определяется из выражения (40) и которая вызывает вертикальные перемещения центра масс плуга (точка S_P), будет равна:

$$Q_{z_4} = -(R_P + G_P + R_{PZ}). \quad (41)$$

Используя полученные выражения (37)–(39) и (41), после подстановки их в уравнение (1) и выполнения необходимых преобразований, получим расчетную математическую модель вертикальных колебаний задненавесного плуга такого вида:

$$A_{41} \ddot{z}_4 + A_{42} \dot{z}_4 + A_{43} z_4 = f_{41} \dot{h}_4 + f_{42} h_4 + f_{43}, \quad (42)$$

где $A_{41} = M_P$; $A_{42} = K_{IP}$; $A_{43} = C_{IP}$; $f_{41} = A_{42}$; $f_{42} = A_{43}$; $f_{43} = -(R_P + G_P + R_{PZ})$.

Дифференциальное уравнение (42) описывает колебательное движение задненавесного плуга в продольно-вертикальной плоскости.

Таким образом, если представить совместно дифференциальные уравнения вертикальных колебаний агрегирующего трактора (30), фронтально навешенного измельчителя растительных остатков (36) и задненавесного плуга (42), то получим расчетную математическую модель комбинированного пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата в продольно-вертикальной плоскости:

$$\left. \begin{aligned} A_{11}\ddot{z}_1 + A_{12}\dot{z}_1 + A_{13}z_1 + A_{14}\ddot{z}_2 &= f_{11}\dot{h}_1 + f_{12}h_1 + f_{13}; \\ A_{21}\ddot{z}_2 + A_{22}\dot{z}_2 + A_{23}z_2 + A_{24}\ddot{z}_1 &= f_{21}\dot{h}_2 + f_{22}h_2 + f_{23}; \\ A_{31}\ddot{z}_3 + A_{32}\dot{z}_3 + A_{33}z_3 &= f_{31}\dot{h}_3 + f_{32}h_3 + f_{33}; \\ A_{41}\ddot{z}_3 + A_{42}\dot{z}_4 + A_{43}z_4 &= f_{41}\dot{h}_4 + f_{42}h_4 + f_{43}. \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

Система четырех дифференциальных уравнений (43) описывает процесс вертикальных колебаний комбинированного машинно-тракторного агрегата в составе пахотно-пропашного колесного трактора, навешенного на него сзади плуга и установленного фронтального измельчителя растительных остатков, постоянные коэффициенты которых были представлены ранее.

В представленном виде входными параметрами в системе дифференциальных уравнений (43) являются:

1. Высоты неровностей поверхности почвы под передними h_1 и задними h_2 колесами агрегирующего трактора, под колесами измельчителя растительных остатков h_3 и под колесом задненавесного плуга h_4 .

Тяговое сопротивление задненавесного плуга, которое выражается вертикальной его составляющей R_{PZ} .

Некоторые конструктивные параметры данного комбинированного машинно-тракторного агрегата, которые отражены в коэффициентах f_{14} , f_{24} , f_{34} и f_{44} .

Выходными параметрами данной системы дифференциальных уравнений (43) являются вертикальные перемещения (амплитуды колебаний): переднего z_1 и заднего z_2 мостов агрегирующего трактора, центра масс z_3 фронтально навешенного измельчителя растительных остатков и центра масс z_4 задненавесного плуга.

Если в системе дифференциальных уравнений (43) осуществить преобразования Лапласа путем введения оператора $p = \frac{d}{dt}$, то получим данную систему дифференциальных уравнений в операторной форме такого вида:

$$\left. \begin{aligned} K_{11}z_1(p) + K_{12}z_2(p) &= F_{11}h_1(p) + F_{15}R_Z(p) + F_{16}; \\ K_{21}z_1(p) + K_{22}z_2(p) &= F_{22}h_2(p) + F_{25}R_Z(p) + F_{26}; \\ K_{33}z_3(p) &= F_{33}h_3(p) + F_{36}; \\ K_{44}z_4(p) &= F_{44}h_4(p) + F_{45}R_Z(p) + F_{46}, \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

где $K_{11} = A_{11}p^2 + A_{12}p + A_{13}$; $K_{12} = A_{14}p^2$; $K_{21} = A_{24}p^2$; $K_{22} = A_{21}p^2 + A_{22}p + A_{23}$; $K_{33} = A_{31}p^2 + A_{32}p + A_{33}$; $K_{44} = A_{41}p^2 + A_{42}p + A_{43}$; $F_{11} = f_{11}p + f_{12}$; $F_{15} = f_{13}$; $F_{16} = f_{14}$; $F_{22} = f_{21}p + f_{22}$; $F_{25} = f_{23}$; $F_{26} = f_{24}$; $F_{33} = f_{31}p + f_{32}$; $F_{36} = f_{34}$; $F_{44} = f_{41}p + f_{42}$; $F_{45} = f_{43}$; $F_{46} = f_{44}$.

Таким образом, в данном виде система уравнений (44) представляет собой расчетную математическую модель комбинированного пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата.

Результаты и дискуссия

Влияние схемы и параметров пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата на плавность его движений в продольно-вертикальной плоскости можно оценить с помощью амплитудных и фазовых частотных характеристик отработки этой динамической системой внешних возмущений. Такими возмущениями в данном случае будут:

1. Колебания высоты неровностей поверхности почвы под передними колесами трактора – h_1 .
2. Колебания высоты неровностей поверхности почвы под задними колесами трактора – h_2 .
3. Колебания высоты неровностей поверхности почвы под колесами измельчителя – h_3 .
4. Колебания высоты неровностей поверхности почвы под опорным пневматическим колесом плуга – h_4 .

5. Колебания тягового сопротивления задненавесного плуга, выраженные вертикальной ее составляющей – R_{PZ} .

После составления программы для численных расчетов на ПЭВМ системы уравнений (44) в операторной форме были проведены расчеты, которые дали возможность получить графики амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик. В дальнейшем их значения сравнивали с наиболее желаемыми. При этом в качестве желаемых характеристик принимались аналогичные характеристики идеальных следящих динамических систем. Следует подчеркнуть, что при воспроизведении такими идеальными динамическими системами внешних возмущений амплитудные частотные характеристики в рабочем диапазоне частот должны стремиться к нулю, а фазовые характеристики, наоборот, безгранично расти. Исходя из этого, амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики, полученные для исследуемого машинно-тракторного агрегата, которые являются наиболее близкими к желаемым, и будут наиболее приемлемыми для оценки динамического и конструктивного его совершенства.

По данным проведенных нами лабораторно-полевых экспериментальных исследований и их обработки на ПК статистическими методами установлено, что основной спектр дисперсий колебаний профиля неровностей поверхности почвы был сосредоточен в достаточно широком диапазоне частот – $0...15 \text{ м}^{-1}$. Аргументом данной нормированной спектральной плотности является частота ω , в м^{-1} (рисунок 5а). Далее был осуществлен переход к аргументу t (с), в результате была получена нормированная спектральная плотность колебаний неровностей профиля поверхности почвы, график которой представлен на рисунке 5б.

Анализируя данные (рисунок 5а), видим, что рабочий диапазон частот такого входного параметра, как колебания неровностей поверхности почвы, составляет $0...30 \text{ с}^{-1}$ (т. е. $0...4 \text{ Гц}$), его и будем использовать в дальнейших теоретических исследованиях.

В первую очередь рассмотрим динамику вертикальных колебаний переднего моста трактора во время его движения в составе пахотно-измельчающего агрегата. При этом, как подчеркивали ранее, расчетные амплитудные и фазовые частотные характеристики будем анализировать в том частотном диапазоне, в котором сосредоточена практически вся дисперсия колебаний неровностей агрофона, т. е. $0...30 \text{ с}^{-1}$ (рисунок 5).

Результаты расчетов на ПЭВМ дали возможность установить влияние упругих свойств пневматических шин колес агрегирующего трактора, опорно-копирующих колес измельчителя растительных остатков и полевых опорных колес задненавесного плуга на плавность движений данного комбинированного машинно-тракторного агрегата.

Результаты проведенных расчетов показали, что увеличение коэффициентов жесткостей пневматических шин колес составных элементов комбинированного машинно-тракторного агрегата способствует улучшению его реагирования на возмущающее воздействие. Наиболее наглядно это прослеживается по виду амплитудно-частотной характеристики переднего моста трактора (рисунок 6).

Как видно из графиков (рисунок 6), при увеличении величины C_{IT} от $250 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$ до $450 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$ амплитудно-частотные характеристики уменьшаются, что является наиболее желательным,

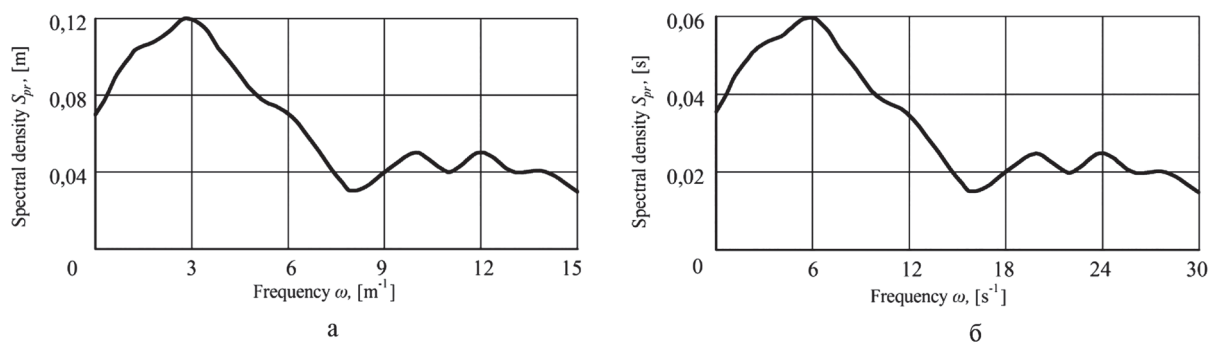
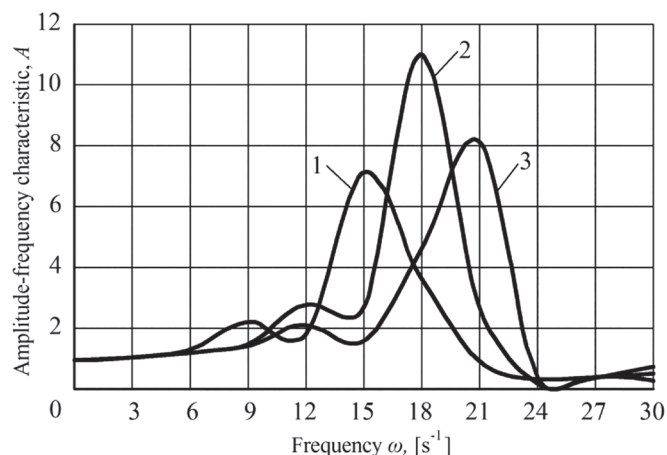


Рисунок 5. – Нормированная спектральная плотность S_{pr} колебаний продольного профиля неровностей поверхности почвы в зависимости от частоты ω (а) и от времени t (б)



1 – 250 кН·м⁻¹; 2 – 350 кН·м⁻¹; 3 – 450 кН·м⁻¹

Рисунок 6. – Амплитудно-частотная характеристика вертикальных колебаний переднего моста трактора при воспроизведении им колебаний профиля поверхности почвы при различных коэффициентах C_{IT} жесткости шин его колес

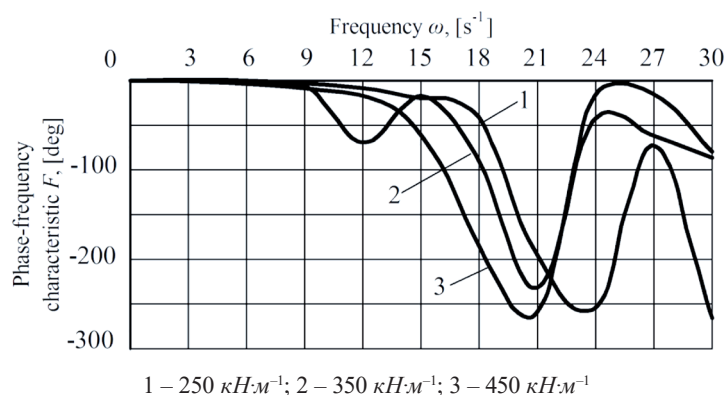
а их резонансные пики смещаются в сторону более высоких частот колебаний неровностей продольного профиля поверхности почвы. Это объясняется тем, что с увеличением коэффициента C_{IT} уменьшаются упругие свойства пневматических шин колес. В результате данное динамическое звено отрабатывает входной сигнал с меньшим коэффициентом усиления. Однако совершенно очевидно, что такой характер хода амплитудно-частотных характеристик имеет место при $\omega > 12 \text{ с}^{-1}$, или почти 2 Гц .

Запаздывание реакции агрегата на возмущающее воздействие мало зависит от величин жесткостей пневматических шин колес трактора. В диапазоне частот колебаний возмущающего воздействия $0 \dots 9 \text{ с}^{-1}$ разница между полученными фазовыми сдвигами на фазово-частотной характеристике практически отсутствует (рисунок 7).

При этом следует подчеркнуть, что результаты проведенного нами исследования также показали, что жесткости C_{IT} пневматических шин задних колес агрегирующего трактора, так же как и его передних колес, аналогично влияют на динамику вертикальных колебаний энергетического средства данного комбинированного машинно-тракторного агрегата.

Однако установлено, что в отличие от жесткостей передних и задних колес агрегирующего трактора коэффициенты сопротивления деформаций K_{IT} пневматических шин его колес мало влияют на плавность движения пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата.

Очень важным моментом исследований является определение степени взаимного влияния колебаний переднего и заднего мостов трактора. Расчетные амплитудно-частотные характери-



1 – 250 кН·м⁻¹; 2 – 350 кН·м⁻¹; 3 – 450 кН·м⁻¹

Рисунок 7. – Фазово-частотная характеристика вертикальных колебаний переднего моста трактора при воспроизведении им колебаний профиля поверхности почвы при различных коэффициентах C_{IT} жесткости шин его колес

стики показывают, что динамика их вертикальных перемещений является независимой. Так, если колебания профиля неровностей поверхности почвы под передними колесами трактора обуславливают соответствующую реакцию его переднего моста, то эти же колебания практически не влияют на динамику вертикальных перемещений колес заднего моста (рисунок 8). Даже в резонансном режиме при $\omega = 12 \text{ с}^{-1}$ (рисунок 8) значение рассматриваемой амплитудно-частотной характеристики является настолько малым, что не превышает значения 0,04.

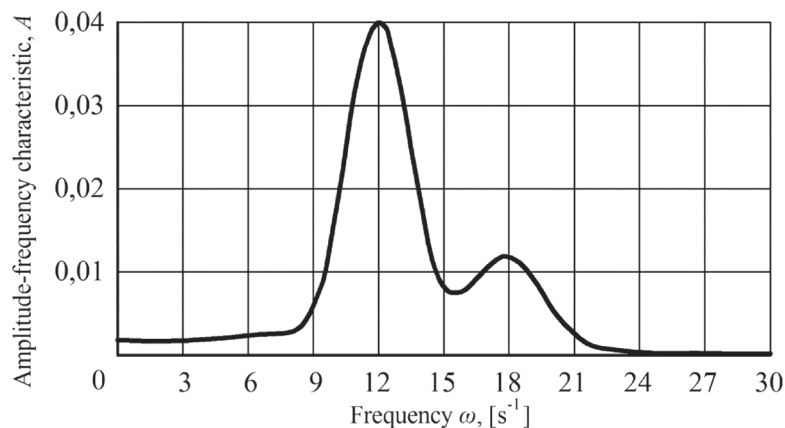
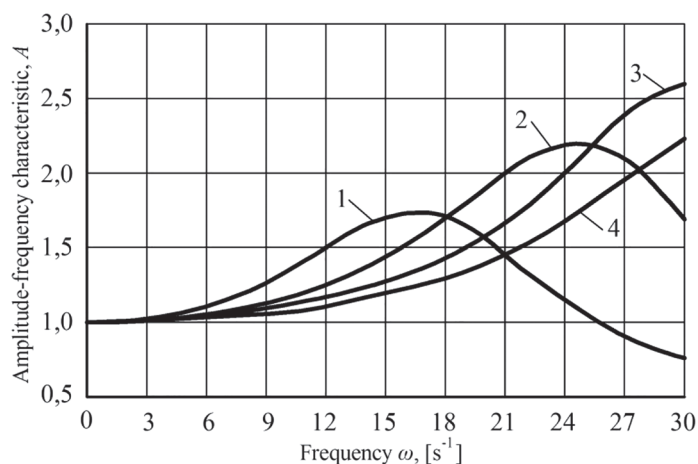


Рисунок 8. – Амплитудно-частотная характеристика колебаний заднего моста трактора при воспроизведении им колебаний профиля поверхности почвы под его передними колесами

Характер вертикальных перемещений фронтального измельчителя растительных остатков, будучи независимым от колебаний трактора, зависит от некоторых собственных конструктивных параметров. В первую очередь к ним относится коэффициент C_{IG} жесткости шин опорных колес. Для каждого рассматриваемого нами значения этого параметра с увеличением частоты колебаний неровностей профиля поверхности почвы амплитудно-частотные характеристики вертикальных колебаний измельчителя вначале растут, а после достижения своего максимума - снижаются, что является весьма желательным (рисунок 9).



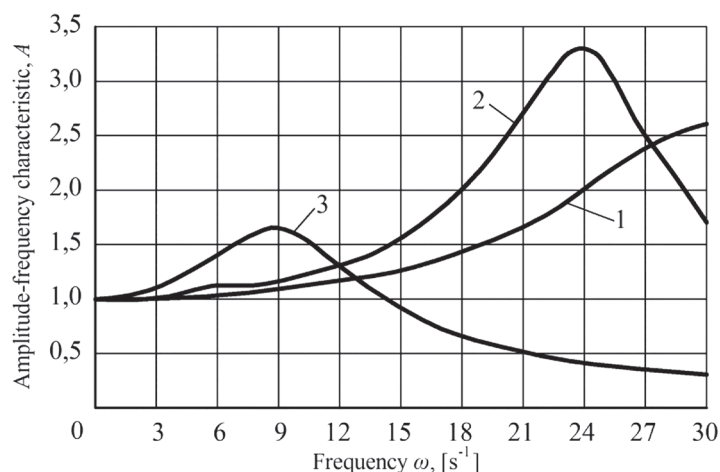
1 – 50 кН·м⁻¹; 2 – 100 кН·м⁻¹; 3 – 150 кН·м⁻¹; 4 – 200 кН·м⁻¹

Рисунок 9. – Амплитудно-частотная характеристика вертикальных колебаний рамы измельчителя при воспроизведении им колебаний профиля поверхности почвы при различных коэффициентах C_{IG} жесткости шин

В интервале частот $\omega = 0...16 \text{ с}^{-1}$ (то есть там, где сосредоточена наибольшая часть дисперсии колебаний профиля поверхности почвы (рисунок 5)) такое снижение обеспечивает увеличение значения коэффициента C_{IG} с 100 кН·м⁻¹ до 150 кН·м⁻¹. На практике принимать значение C_{IG} большим нет необходимости, поскольку амплитудно-частотная характеристика в диапазоне

частот $\omega = 0 \dots 16 \text{ с}^{-1}$ при этом уменьшается незначительно (кривая 4, рисунок 9). Устанавливать же значение коэффициента C_{IG} менее $100 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$ нецелесообразно, так как соответствующая амплитудно-частотная характеристика при этом нежелательно растет (кривая 1, рисунок 9).

Вторым конструктивным параметром, влияющим на динамику вертикальных колебаний измельчителя растительных остатков, является его эксплуатационная масса M_G . Увеличение ее значения с 300 кг до 500 кг приводит к нежелательному подъему амплитудно-частотной характеристики отработки измельчителем колебаний профиля поля (кривая 2, рисунок 10).



1 – $= 300 \text{ кг}; = 150 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$; 2 – $= 500 \text{ кг}; = 150 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$; 3 – $= 300 \text{ кг}; = 25 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$

Рисунок 10. – Амплитудно-частотная характеристика вертикальных колебаний рамы измельчителя при воспроизведении им колебаний профиля поверхности почвы при различной массе и коэффициенте жесткости шин

И этот результат не удастся улучшить даже путем существенного уменьшения коэффициента жесткости C_{IG} пневматических шин данного фронтального орудия – до $25 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$. Амплитудно-частотная характеристика при этом уменьшается, причем на частотах $\omega > 14 \text{ с}^{-1}$ она вообще становится меньше единицы (кривая 3, рисунок 10). Однако на значимых для работы агрегата частотах колебаний профиля поверхности почвы $\omega = 0 \dots 9 \text{ с}^{-1}$ значение этой характеристики значительно превышает то, которое характеризует вертикальные колебания измельчителя массой M_G , равной 300 кг (кривая 1, рисунок 10). Отсюда следует, что увеличение эксплуатационной массы M_G фронтально навешенного измельчителя растительных остатков является нецелесообразным.

Следующим важным моментом аналитического исследования является определение влияния колебаний тягового сопротивления R_{PX} плуга на плавность движения пахотно-измельчительного агрегата. Для этого в первую очередь необходимо знать внутреннюю структуру процесса колебаний силы R_{PX} . Такой информацией, как известно, обладают ее корреляционная функция и спектральная плотность.

Анализ полученных нами ранее экспериментальных данных показывает, что колебания тягового сопротивления плуга имеют аperiодический и относительно высокочастотный характер. Средняя длительность корреляционной связи для процесса изменения этого параметра составляет примерно $1,6 \text{ с}$ (рисунок 11а).

Частотный диапазон дисперсии колебаний тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия равен при этом $0 \dots 25,0 \text{ с}^{-1}$ (рисунок 11б). Но поскольку основная часть данной статистической характеристики приходится на частоты $0 \dots 15 \text{ с}^{-1}$, то в пределах именно этого диапазона и будем проводить последующий анализ.

Сначала оценим, как влияют колебания тягового сопротивления плуга на плавность движения заднего моста трактора при различных значениях коэффициента C_{IG} жесткости его шин. В диапазоне частот $\omega = 0 \dots 6 \text{ с}^{-1}$ колебаний силы амплитуда вертикальных перемещений за-

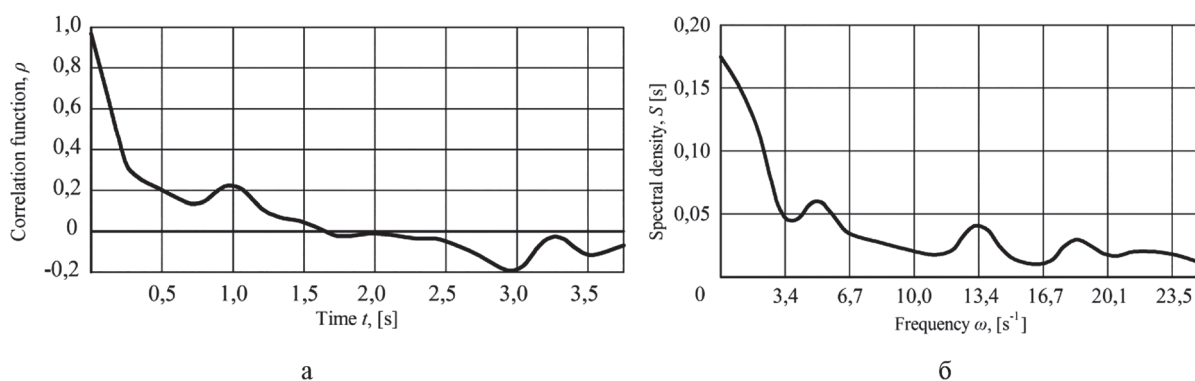
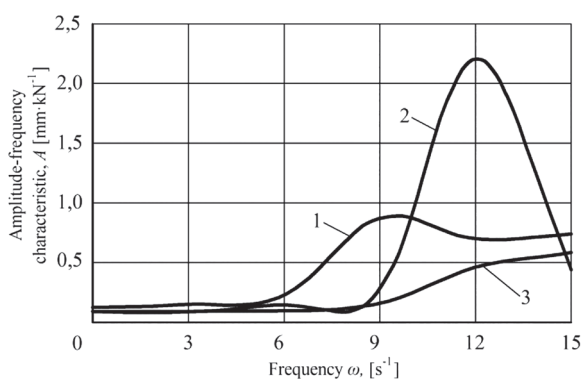
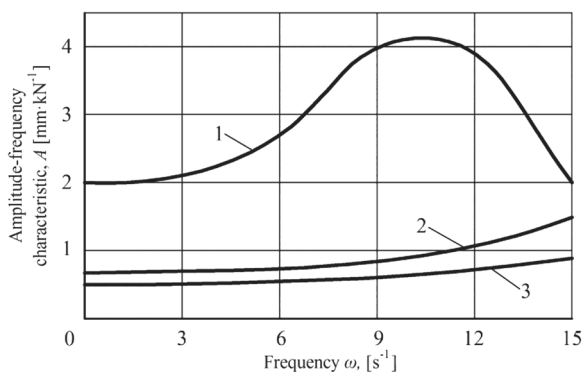


Рисунок 11. – Нормированная корреляционная функция (а) и нормированная спектральная плотность (б) колебаний тягового сопротивления плуга в составе пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата



1 – 250 $\text{кН}\cdot\text{м}^{-1}$; 2 – 350 $\text{кН}\cdot\text{м}^{-1}$; 3 – 450 $\text{кН}\cdot\text{м}^{-1}$

Рисунок 12. – Амплитудно-частотная характеристика вертикальных колебаний заднего моста трактора при воспроизведении им колебаний тягового сопротивления задненавесного плуга при различных коэффициентах



1 – 100 $\text{кН}\cdot\text{м}^{-1}$; 2 – 150 $\text{кН}\cdot\text{м}^{-1}$; 3 – 200 $\text{кН}\cdot\text{м}^{-1}$

Рисунок 13. – Амплитудно-частотная характеристика вертикальных колебаний плуга при воспроизведении им колебаний собственного тягового сопротивления при различных коэффициентах жесткости шин его опорного полевого колеса

днего моста трактора является практически независимой от изменения значения коэффициента C_{IG} (рисунок 12).

Вне этого диапазона частот имеет место следующая тенденция: чем больше значение коэффициента C_{IG} , тем менее задний мост трактора реагирует на колебания тягового сопротивления плуга. То есть чем жестче пневматическая шина, тем меньше ее упругие свойства и, следовательно, меньше амплитуда ее прогиба от воздействия возмущающего фактора – колебаний силы R_{PX} .

И, наконец, нами исследована реакция задненавесного плуга на колебания собственного тягового сопротивления. Как показывает анализ амплитудно-частотных характеристик (рисунок 13), уменьшение жесткости C_{ip} пневматической шины его опорного полевого колеса приводит к ухудшению динамики движения плуга в продольно-вертикальной плоскости. Наиболее явно это наблюдается, когда коэффициент C_{ip} равен $100 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$ (кривая 1, рисунок 13).

Исходя из анализа рисунка 13, коэффициент жесткости шины опорного пневматического колеса плуга должен быть не менее $150 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$. При меньшем его значении (кривая 1, рисунок 13) нежелательно и существенно возрастает амплитудно-частотная характеристика, отражающая процесс плавности хода плуга в зависимости от колебаний его тягового сопротивления.

Выводы

1. Для новой конструкции пахотно-измельчительного машинно-тракторного агрегата разработана эквивалентная схема, включающая три составных элемента рассматриваемой динамической системы, к которым приложены активные силы, возмущающие воздействия в виде заданных неровностей поверхности почвы, пневматические колеса ходовой системы аппроксимированы упругодемпфирующими моделями, заданы линейные и угловые параметры.

2. На основании использования исходных уравнений динамики в форме Лагранжа 2-го рода, определенных обобщенных координат, выражений кинетических и потенциальных энергий и диссипативных функций получена система дифференциальных уравнений, описывающих вертикальные колебания исследуемого комбинированного машинно-тракторного агрегата.

3. Анализ амплитудных и фазовых частотных характеристик этого агрегата, рассчитанных на основе полученных дифференциальных уравнений его вертикальных колебаний, показал, что для повышения плавности (устойчивости) движения трактора тягового класса 3 жесткость шин его ходовых колес следует повышать до значения, равного $450 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$. В этом случае амплитудно-частотные характеристики, отражающие реакцию трактора на возмущающие воздействия, желательно снижаются, а их максимальные значения смещаются в сторону более высоких частот, а значит меньших дисперсий колебаний профиля поверхности почвы. Фазово-частотные характеристики, отражающие запаздывание реакции трактора на внешние возмущающие воздействия, при этом отличаются мало.

4. В интервале расположения основного спектра частот колебаний профиля поля $\omega = 0 \dots 16 \text{ с}^{-1}$ (что характерно для их большинства) жесткость шин опорных колес измельчителя растительных остатков и шины опорного колеса задненавесного плуга должна быть на уровне $150 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$. Как следует из анализа амплитудно-частотных характеристик, выполнение такого требования обеспечит наименьшее влияние этих орудий на динамику вертикальных колебаний трактора при его работе в составе данного комбинированного пахотно-измельчительного агрегата.

5. С целью обеспечения удовлетворительной плавности (устойчивости) движения трактора эксплуатационную массу фронтально навешенного измельчителя растительных остатков увеличивать не следует. В противном случае амплитудно-частотные характеристики вертикальных колебаний агрегирующего трактора нежелательно возрастают настолько, что их не удастся улучшить даже шестикратным (с 150 до $25 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}$) снижением коэффициента жесткости шин опорных колес фронтального измельчителя.

6. Разработанная методика построения расчетной математической модели данного комбинированного машинно-тракторного агрегата может быть использована при исследовании динамики других сельскохозяйственных машин и машинных агрегатов.

Литература

1. Василенко, П. М. Об уравнениях динамики систем с неголономными связями / П. М. Василенко // Земледельческая механика: сб. тр. / П. М. Василенко. – Москва: Машиностроение, 1968. – Т. II. – С. 26–34.
2. Василенко, П. М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / П. М. Василенко // Сборник трудов по земледельческой механике / П. М. Василенко. – Москва: Машиностроение, 1954. – Т. 2. – С. 73–92.

3. Василенко, П. М. О методике механико-математических изысканий при разработке сельскохозяйственной техники / П. М. Василенко // Бюллетень технической информации. – Москва: ГОСНИТИ, 1962. – 230 с.
4. Василенко, П. М. Введение в сельскохозяйственную механику / П. М. Василенко. – Киев: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.
5. Гячев, Л. В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / Л. В. Гячев. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1976. – 192 с.
6. Гячев, Л. В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / Л. В. Гячев. – Москва: Машиностроение, 1981. – 206 с.
7. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – Москва: КолосС, 2004. – 504 с.
8. Гуськов, А. В. Определение рационального коэффициента кинематического несоответствия и схемы привода ведущих мостов колесного трактора / А. В. Гуськов // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2008. – № 6. – С. 64–67.
9. Трепененков, И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов / И. И. Трепененков. – М.: Государственное науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1963. – 272 с.
10. Pădureanu, V. Theoretical research to improve traction performance of wheeled tractors by using supplementary driven axle / V. Pădureanu, M. I. Lupu, C. M. Canja. – Proceedings of 5th International Conference «Computational Mechanics and Virtual Engineering» COMEC 2013, Brasov, Romania, 24-25 October, 2013. – Pp. 410–415.
11. Фаробин, А. Я. Теория поворота транспортных машин / А. Я. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 174 с.
12. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – М.: Колос, 1980. – 671 с.

УДК 677.027.

Поступила в редакцию 04.10.2018

Received 04.10.2018

Э. В. Новиков^{1,2}, А. В. Безбабченко¹

*¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства» (ФГБНУ ВНИИМЛ)
г. Тверь, Российская Федерация*

*²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Костромской государственный университет» (ФГБОУ ВО «КТУ»)
г. Кострома, Российская Федерация
e-mail: edikl@kmtn.ru; vniiml44@mail.ru*

СОСТОЯНИЕ И КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СУШИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР И ВОЛОКНА ИЗ НИХ

Проанализировано существующее состояние сушильных машин на льнозаводах, представлены концептуальные положения их разработки в современных условиях, поставлены задачи, которые должны быть реализованы при разработке и проектировании энергосберегающих сушильных машин для лубяных культур.

Ключевые слова: сушка, сушильное оборудование, лен-долгунец, масличный лен, промышленная конопля, волокно, агент сушки, характеристики.

E. V. Novikov^{1,2}, A. V. Bezbabchenko¹

*¹The Federal State Budgetary Scientific Institution
«All-Russia Research and Development Institute of Flax Growing Mechanization»
Tver, Russian Federation*

*²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State University»
Kostroma, Russian Federation
e-mail: edikl@kmtn.ru; vniiml44@mail.ru*

CONDITION AND CONCEPT OF DEVELOPMENT OF DRYING MACHINES FOR BAST CROPS AND FIBER FROM THEM

The existing condition of drying machines on flax-mills is analyzed, conceptual provisions of their development in modern conditions are presented, tasks which have to be realized at development and design of energy saving drying machines for bast crops are set.

Keywords: drying, drying equipment, flax, oil flax, industrial hemp, fiber, drying agent, characteristics.

Введение

Подсушка лубяных культур (льна-долгунца, льна масличного, технической конопли) до технологической влажности в линиях производства длинного, короткого и однотипного волокна является выжнейшей операцией. Например, их первичная переработка с повышенной влажностью не позволяет получить длинное и короткое волокно с нормируемой и даже с допустимой массовой долей костры, также повышаются простои оборудования, понижается производительность мяльно-трепальных и куделеприготовительных агрегатов. Если не удастся достичь требуемого содержания костры, волокно пропускают через агрегаты второй раз, в результате повышается себестоимость, снижаются прочность и выход волокна. Это подтверждается практикой переработки льнотресты на льнозаводах Ярославской, Смоленской, Тверской, Костромской и Омской областей, Республики Удмуртия, Казахстана и других регионов. Опыт льнозаводов, крестьянских и фермерских хозяйств данных регионов указывает на важность этого процесса, так как без подсушки льнотресты, независимо от того, на какой линии первичной переработки она перерабатывалась (на длинное и короткое волокно или на однотипное волокно), существенно повышается процент недоработки волокна.

Основная часть

Проблема сушки льна поднималась ранее в исследованиях [1, 2 и др.]. В них отмечено, что установленные на льнозаводах России, Беларуси и Украины конвейерные паровые сушильные машины марок СКП-9-7ЛМ, СКП-1-10ЛУ, СКП-1-10ЛУ1 и СКП-8-12П для льнотресты и промышленной конопли не обеспечивают равномерной влажности стеблей по длине и толщине слоя, обладают недопустимо высокой в современных условиях энергоемкостью (электрическая мощность – более 40 кВт, тепловая мощность – 350–450 кВт), энергозатраты на их эксплуатацию достигают 40 % от всех затрат на получение волокна. Главным образом по этой причине данные машины практически не применяются на льнозаводах России и Украины.

Заслуживает внимания модернизированная в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» сушильная машина марки СКП-1-10ЛУ1, названная МСТ-2 [3]. В результате удалось снизить электрическую мощность двигателей на 30–35 % и тепловую мощность за счет сопротивления воздуха и увеличения процесса теплообмена между паром и воздухом в калориферах, однако большие габаритные размеры машины, ее привязка к паровой котельной не были исключены, цена машины осталась высокой.

Реконструкция же сушильных машин СКП-1-10ЛУ(ЛУ1) на льнозаводах России с применением воздушных теплогенераторов различной мощности и длинных раздаточных воздухопроводов не позволила эффективно проводить сушку стеблей льна-долгунца из-за недостаточного расхода агента сушки, подаваемого в льнотресту, низкой его скорости продувки и невозможности перекрыть всю длину и ширину транспортера с льнотрестой [2]. Кроме того, такая малоэффективная реконструкция машин достаточно дорогостоящая.

Анализ вышесказанного позволил в работе [4] впервые сформулировать концептуальные условия процесса сушки лубяных культур, которые должны быть реализованы при разработке современных сушильных машин (таблица 1). Например, рассмотрение схемы сушки из [1] и сушильной машины для льнотресты производства ООО «Новотекс» [5, 6], в которой реализована эта схема, показало, что она не соответствует пяти из восьми концептуальных условий (см. таблицу 1).

Исходя из приведенных данных, эффективность использования сушильной машины [5, 6] является сомнительной. Ее опытный образец с 2017 года эксплуатируется на льнозаводе в Смоленской области, однако предприятие-изготовитель представило лишь некоторые характеристики этой сушильной машины [5]: имеет три модуля общей длиной 15 м, их ширина составляет 2,2 м, высота – 1,5 м, расходует 2500 кДж на 1 кг удаляемой влаги, что примерно почти в 2 раза меньше, чем у применяемых на практике сушильных машин, имеет массу около 2,5 тонн, мощность электропривода транспортера – 4 кВт. К сожалению, в таблице 1 представлены сравнительные значения характеристик машины, полученные в лабораторных условиях, так как в настоящее время

Таблица 1. – Соответствие сушильной машины производства ООО «Новотекс» концептуальным условиям при разработке современных машин для лубяных культур

Концептуальный параметр	Значение / формулировка параметра		Соответствие
	должно(а) быть	фактически	
1. Время сушки при плотности загрузки стеблей горизонтально на конвейер 3,0–3,5 кг/м, от влажности 30 % до 14 %	не более 2,0–3,0 мин	4,0–6,0 мин*	не соответствует
2. Перепад температуры агента сушки и удаляемого (отработанного) из машины воздуха	30–40 °С	до 20 °С*	не соответствует
3. Расход агента сушки и расход тепла на сушку	не более 5000 м ³ /ч и не более 200 кВт	не менее 12000 м ³ /ч* и 100 кВт**	не соответствует и соответствует
4. Скорость входа воздуха в льнотресту	максимальная, обеспечивающая турбулентное движение агента сушки 7–9 м/с, подача тепла точно в заданную область, с примерно одинаковой скоростью продувки комлей, средин и вершин	до 3–4 м/с*	не соответствует
5. Реверсивная продувка слоя льнотресты	использование режимов всасывания воздуха и нагнетания в материал	присутствует	соответствует
6. Оперативное регулирование воздушных потоков в сушильной камере	скорости, расхода и температуры воздуха, степени рециркуляции в зависимости от начальной влажности стеблей	отсутствует	не соответствует
7. Противоточное движение нагретого воздуха и льнотресты в сушильной камере	должно быть	присутствует	соответствует
8. Минимальные расстояния, на которые должен перемещаться воздух внутри и снаружи сушильной камеры	должны быть	присутствует	соответствует
* По результатам собственных сравнительных исследований в лабораторных условиях. ** Получен расчетным путем по данным сайта, фактические данные отсутствуют.			

предприятие-изготовитель не опубликовало такие фактические характеристики машины, как производительность по загружаемой и выгружаемой тресте, температуру и расход агента сушки, фактическую тепловую мощность машины, затраты тепла на нагрев агента сушки, влажность льнотресты на входе и выходе из машины, которые реально могли бы указывать на энергосберегающий эффект машины и на то, что она может сушить не только льнотресту, но и отходы трепания. Сушка последних требует совершенно другого подхода. Если рассчитать расход тепла на нагрев агента сушки для машины производства ООО «Новотекс», то для того чтобы этот расход был не более 5000 м³/ч (в соответствии с таблицей 1, п. 3), машина должна потреблять в 2,4 раза больше тепловой энергии, так как имеет расход примерно 12000 м³/ч. Следует заметить, что такая конструкция машины при меньшем расходе воздуха не будет эффективной.

Конечно, существуют и другие схемы сушки льнотресты, но они в настоящее время находятся в стадии лабораторных исследований. Однако российские организации, занимающиеся разработкой технологического оборудования для первичной и глубокой переработки льна, ФГБНУ ВНИИМЛ (г. Тверь), ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет» (г. Кострома) активно проводят исследования в этом направлении. Их исследования [7–10] на экспериментальной сушильной установке, максимально приближенной к реальной машине, показали, что вновь предлагаемая к изготовлению сушильная машина соответствует концептуальным условиям, представленным в таблице 1, и исключает недостатки машины производства ООО «Новотекс». В 2018 году совместно с Министерством сельского хозяйства Российской Федерации и Смоленской сельскохозяйственной академией запланировано изготовление ее опытного образца.

По нашему мнению, следует сформулировать первоочередные задачи, которые должны быть реализованы при разработке и проектировании энергосберегающих сушильных машин для лубяных культур.

Важность процесса сушки не ограничивается технологией первичной переработки льно-тресты льна-долгунца. Например, значимость отечественного масличного льна как пищевого и натурального волокнистого сырьевого ресурса ежегодно повышается, что указывает на перспективность ассортимента получаемых из него продуктов и изделий [11]. Технология производства волокна из масличного льна, так же как из льна-долгунца, требует подсушки сырья, что делает актуальной разработку специальной сушильной машины для него.

Кроме того, в линиях короткого льноволокна установлены сушильные машины СКП-10КУ и СКП-10КУ1, которые морально и физически устарели, имеют такие же недостатки, как и машины СКП-1-10ЛУ и СКП-1-10ЛУ1. Для подсушки отходов трепания до технологической влажности необходима энергосберегающая машина, а, как отмечалось выше, сушка отходов трепания требует иного подхода.

Сушка не ограничивается только линиями первичной переработки льна. При производстве льнокотонина также требуется технологическая влажность короткого волокна, которая, как показывают исследования последних лет, является завышенной (ненормируемой) из-за отсутствия эффективных сушильных машин для волокна на большинстве льнозаводов России, поэтому для его подсушки необходима инновационная сушильная машина.

Очевидна необходимость разработки сушильной машины для промышленной конопли взамен машины СКП-8-12П, в том числе для конопли, убираемой зерновым комбайном, – в настоящее время этот вид сырья составляет 2/3 урожая всей промышленной конопли.

Заключение

Существующее российское сушильное оборудование для подсушки льно- и пенькосырья, волокна из них морально и физически устарело или вовсе отсутствует на льнопенькозаводах, а новые перспективные конструкции машин находятся в стадии изготовления опытных образцов и подготовки их к испытанию.

Литература

1. Новиков, Э. В. О состоянии сушки на льнозаводах и энергосберегающая сушильная машина / Э. В. Новиков, В. В. Коновалов // Электронный журнал «Научный вестник Костромского гос. технолог. ун-та». [Электронный ресурс] / Костромс. госуд. технолог. ун-т. – 2013. – № 1. – 8 с. – Режим доступа: <http://vestnik.kstu.edu.ru>. – Дата доступа: 12.06.2018.
2. Новиков, Э. В. Анализ реконструкций сушильных машин СКП-1-10ЛУ и СКП-1-10ЛУ1 на льнозаводах / Э. В. Новиков, И. А. Шемякин // Электронный журнал «Научный вестник Костромского гос. технолог. ун-та» [Электронный ресурс] / Костромс. госуд. технолог. ун-т. – 2016. – № 1. – 10 с. – Режим доступа: <http://vestnik.kstu.edu.ru>. – Дата доступа: 12.06.2018.
3. Изоитко, В. М. Направления развития научно-технического обеспечения отечественных льнозаводов / В. М. Изоитко, Н. Г. Винченко, А. Е. Лукомкий // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 19–21 окт. 2016 г. В 2 т. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. – Т. 1. – С. 130–133.
4. Новиков, Э. В. Сушильные машины льнозаводов и эффективные концептуальные условия их разработки для лубяных культур / Э. В. Новиков, А. В. Безбаченко, В. А. Романов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 19–21 окт. 2016 г. В 2 т. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. – Т. 1. – С. 89–93.
5. Сушильная машина для льняной тресты и отходов трепания // Группа компаний «Новотекс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://termoteks.ru/products/sushilnaja-mashina>. – Дата доступа: 12.06.2018.
6. Пашин, Е. Л. Создание новой сушильной машины для тресты льна и отходов трепания / Е. Л. Пашин, М. С. Енин // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: материалы. Междунар. науч.-практ. конф., г. Тверь, 18 мая 2017 г. / ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 309–312.
7. Способ сушки лубяного сырья: пат. 2535277 РФ, МПК F 26 В 17/04 C1 / В. В. Коновалов, Р. В. Коновалов, Э. В. Новиков; заявитель Костромс. госуд. технолог. ун-т. – № 2012152494/12; заявл. 05.12.2012; опубл. 10.12.2014. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2014. – № 34. – 7 с.: ил.

8. Установка для сушки лубяного сырья: пат. 2518797 РФ, МПК F 26 В 17/04 С1 / В. В. Коновалов, Р. В. Коновалов, Э. В. Новиков, М. М. Ковалев, И. И. Круглий, А. В. Безбабченко; заявитель ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии. – № 201249304/06; заявл. 19.11.2012; опубл. 10.06.2014. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2014. – № 16. – 6 с. : ил.

9. Изучение перспективного способа сушки льносырья / Э. В. Новиков [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве: теоретический и научно-практический журнал. По итогам 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», посвященной 115-летию со дня рождения видного ученого в области электрификации и механизации животноводства лауреата Государственной премии СССР и премии Совета Министров СССР, члена-корреспондента ВАСХНИЛ В. С. Краснова. – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. – № 3 (18). – С. 334–340.

10. Новиков, Э. В. Исследование перспективного способа сушки льнотресты с целью разработки сушильной машины для льнозаводов / Э. В. Новиков, И. Н. Алтухова, А. В. Безбабченко // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: материалы. Междунар. науч.-практ. конф., г. Тверь, 18 мая 2017 г. / ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 298–309.

11. Масличный лен как глобальный сырьевой ресурс для производства волокна / Э. В. Новиков [и др.] // Молочнохозяйственный вестник [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3 (27). – С. 187–203. – Режим доступа: <http://molochnoe.ru/journal>. – Дата доступа: 12.06.2018.

УДК 631.3, 519.876.5:631/635

Поступила в редакцию 22.08.2018
Received 22.08.2018

С. А. Антошук

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: santoshuk@rambler.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье дан краткий обзор возможностей метода дискретных элементов – численного метода моделирования поведения сыпучих, твердых, жидких сред. Метод может применяться для обоснования параметров проектируемых сельскохозяйственных машин, взаимодействующих с различными сыпучими сельскохозяйственными материалами.

Ключевые слова: метод дискретного элемента, сыпучие сельскохозяйственные материалы, численное моделирование.

S. A. Antoshuk

*The State Scientific Institution «The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: santoshuk@rambler.ru*

THE DISCRETE ELEMENT METHOD TO MODELLING AGRICULTURAL BULK MATERIAL BEHAVIOR

The article gives a brief review of the possibilities of discrete element method. The method can be used to determine the parameters of the projected agricultural machines interacting with various bulk agricultural materials.

Keywords: discrete element method, bulk agricultural materials, numerical simulation

Введение

Сыпучие материалы в сельском хозяйстве – один из самых распространенных типов рабочего сырья, и описание их поведения является важной задачей при проектировании сельскохозяйственных машин и линий – от конвейеров до зерносушильных комплексов. В настоящее время практически все используемые теории описывают сыпучие материалы методами сплошных

сред, подразумевающих их континуальность, то есть непрерывность и одинаковость распределения всех характеристик в пространстве. При использовании континуального подхода движение слоя рассматривается как движение двух взаимодействующих сплошных деформируемых тел, например движущегося материала и твердой поверхности определенной геометрии. Континуальные модели могут быть довольно точны при описании больших объемов материала, но абсолютно недостоверны в случаях, когда имеют значение отдельные частицы. Так, поведение сыпучего материала в бункере возможно описать методами механики сплошных сред, но практически невыполнимой задачей представляется моделирование множества принципиальных частных случаев, например описание слоя зерна, сравнимого по толщине с размерами частиц, или вытекающего через отверстие потока минеральных удобрений. Так, континуальные методы перестают работать для удобрений, падающих из бункера на диск разбрасывателя, для описания псевдокипящего состояния зерна, для транспортируемых шнековым транспортером материалов, когда коэффициент заполнения 0,5 и менее, и так далее. Для таких случаев применима механика дискретных сред, изучающая движение различных материалов (причем необязательно сыпучих), для которых учитывается дискретность их структуры.

Метод дискретных элементов (МДЭ, или DEM – от англ. Discrete Element Method) является обобщением метода конечных элементов (МКЭ, или FEM), численного метода решения дифференциальных и интегральных уравнений, широко применяемого для решения задач механики твердого тела, гидродинамики, термодинамики и других. Метод дискретных элементов применяют чаще всего для решения разнообразных задач в горнодобывающих отраслях. Однако в последнее время метод используется в других сферах, в том числе для нужд сельскохозяйственной науки. Распространение метода связано в первую очередь с развитием вычислительной техники и появлением соответствующего программного обеспечения. Метод позволяет моделировать поведение большого количества частиц сыпучего вещества в процессе выполнения различных операций. Дискретный подход непосредственным образом связан с реальным движением отдельных частиц, поэтому его можно считать физически более естественным, чем континуальный.

Основные теоретические предпосылки метода дискретного элемента

Задачи о движении сыпучей среды (зерна, удобрений, комбикормов, песка, корнеплодов) под действием собственного веса, за счет движения рабочей поверхности винтового или ленточного конвейера, на вибростоле и в других случаях в настоящее время решаются на основе механики сплошной среды и других теорий, подразумевающих однородность материала и неизменность его основных свойств в пространстве. На практике частицы сыпучей среды вступают во взаимодействие с соседними частицами и поверхностями машин, хаотически меняют свою скорость и направление движения, импульс. Метод дискретного элемента позволяет учитывать положение и направление движения каждой частицы и производить перерасчет ее кинематических и динамических параметров через определенный момент времени, учитывая взаимодействие с другими частицами.

Перед началом моделирования задаются некоторое начальное расположение частиц в пространстве (исходная структура материала) и начальное распределение их скоростей (кинематическое движение системы в исходном состоянии). Далее задача сводится к решению задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Метод дискретных элементов (МДЭ) впервые был предложен в конце 70-х гг. XX в. [1] как некое сообщество взаимодействующих сфер на плоскости. С развитием мощностей вычислительной техники появилась возможность моделировать материалы не только на плоскости, но и в пространстве. Методом дискретных элементов моделируют не только сыпучие материалы, но также твердые тела сложной формы [2], в этом случае каждое тело состоит из множества жестко связанных между собой сфер.

В основе МДЭ лежат общеизвестные выражения баланса механического движения частицы [3, 4]:

$$\begin{cases} m_i \frac{dV_i}{dt} = \sum_{j=1, j \neq i}^k F_{ij} + m_i g; \\ I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1, j \neq i}^k (T_{ij} + M_{ij}), \end{cases} \quad (1)$$

где m_i – масса частицы; V_i – вектор линейной скорости центра масс; I_i – момент инерции; ω_i – вектор угловой скорости; F_{ij} – внешняя сила, действующая на частицу i через контакт с частицей j ; k – число частиц в контакте с частицей i ; T_{ij} – внешний крутящий момент, связанный с контактным взаимодействием частиц i и j ; M_{ij} – момент сопротивления качению.

В МДЭ применяется допущение, что каждая частица представляет собой сферу радиусом R_i . Для описания контактного взаимодействия между частицами в МДЭ наиболее часто используют модель Герца [5], в которой предполагается, что частицы при контакте не деформируются, а перекрывают друг друга на некоторую величину, образуя пятно контакта.

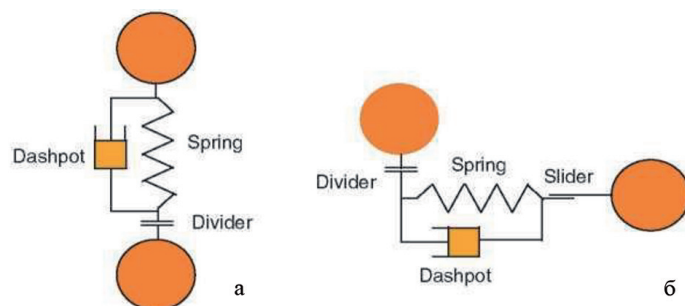
Поверхностные силы F_{ij} состоят из сил отталкивания $F_{n,ij}$ и сил трения $F_{t,ij}$. Сила отталкивания возникает между частицами при условии их перекрытия и направлена по нормали n_{ij} в направлении центра i -й частицы.

Для вязкоупругой модели соударения [4]:

$$F_{n,ij} = F_{ne,ij} + F_{nv,ij}, \quad (2)$$

где $F_{ne,ij}$ – упругая, $F_{nv,ij}$ – вязкая составляющие. Значения указанных составляющих определяются по известным зависимостям, которые могут быть найдены в литературе, например, в [5, 6].

Визуальная модель взаимодействия частиц друг с другом изображена на рисунке 1.



а) взаимодействие по нормали; б) взаимодействие в тангенциальном направлении

Рисунок 1. – Модель взаимодействия частиц друг с другом

Численное решение системы дифференциальных уравнений (1) для каждой i -й частицы за время $t + \Delta t$ (где Δt – шаг интегрирования) может быть проведено при помощи ряда разностных схем, отличающихся различной точностью, устойчивостью и порядком сходимости и реализованных в существующем программном обеспечении либо самостоятельно исследователем посредством собственной программы.

В численной модели точность решения зависит главным образом от выбора временного интервала. Существуют различные методики для его определения. Обычно он находится в пределах 10^{-4} – 10^{-5} с. Очевидно, что чем меньше заданный временной интервал, тем больше времени потребуют вычисления. Отсюда вытекает один из главных недостатков МДЭ – высокая требуемая вычислительная мощность компьютеров и значительное время расчетов (от нескольких часов до нескольких недель – в зависимости от количества частиц, шага интегрирования по времени, мощности компьютера), что тем не менее гораздо дешевле и быстрее изготовления натурного образца, проведения экспериментов и обработки данных.

Для использования МДЭ на практике существует целый ряд программного обеспечения, как коммерческого, так и бесплатного (например, Newton DEM Software, EDEM, Chute Maven – закрытые коммерческие продукты; YADE, LIGGGHTS – свободно доступные и бесплатные).

Применение МДЭ для нужд сельского хозяйства

Метод дискретных элементов преимущественно используется для изучения механики грунтов, движения кусковых материалов в горнодобывающей промышленности, истечения сыпучих материалов из бункеров и кузовов автотранспорта, а также целого ряда других задач. Для решения вопросов аграрной науки применяется сравнительно недавно, преимущественно западными учеными.

В работе [6] изучается движение сыпучего материала при его истечении из бункера. Существующие теории говорят о симметричном характере истечения материала из симметричной емкости. Однако экспериментальные исследования показали, что при определенных условиях режим течения становится неустойчивым – при достаточно больших смещениях образуются линии скольжения, разбивающие материал на дискретные блоки, которые движутся практически как жесткие целые. Отсюда возникают неточности при расчете бункеров, наличие которых заставляют тратить время на изготовление экспериментальных установок и проведение дополнительных испытаний. Моделирование дискретным методом позволяет избежать этих этапов. Моделирование процесса методом МДЭ позволяет подтвердить экспериментальные данные и получить новые, которые будут использованы при проектировании бункерных устройств.

В работах [7, 8] МДЭ применен для описания истечения минеральных удобрений из бункера и разбрасывания их центробежным диском (рисунок 2).

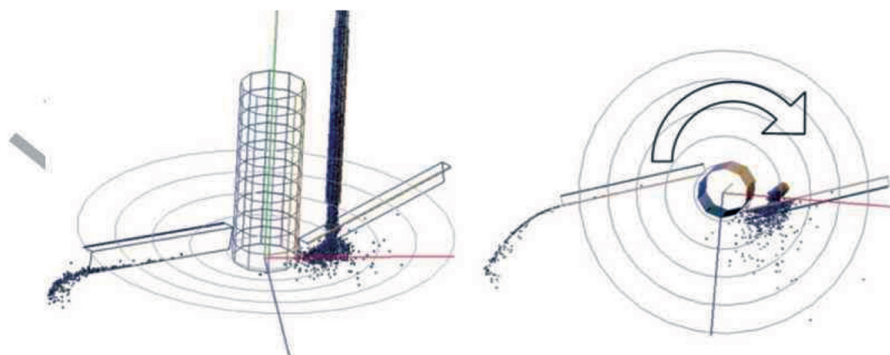
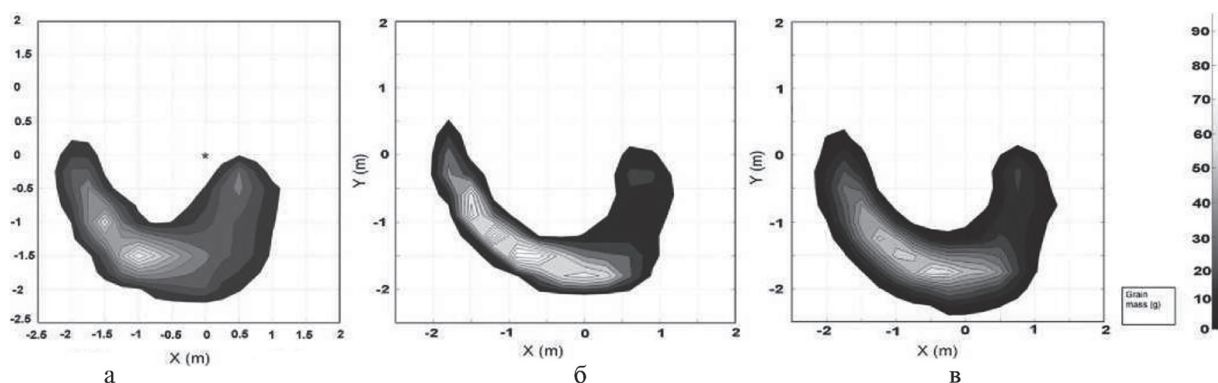


Рисунок 2. – Визуализация модели истечения минеральных удобрений из бункера на диск

Смоделирован весь цикл работы разбрасывателя, начиная от загрузки удобрений в бункер, их истечение из бункера, движение частиц по диску, полет и распределение по полю. Исследовано возможное распределение удобрений в зависимости от координат пятна высыпаемых удобрений на диске, рассчитано распределение удобрений по поверхности поля в зависимости от размера и массы гранул (рисунок 3).



а – экспериментальные значения; б, в – результаты моделирования

Рисунок 3. – Распределение гранул минеральных удобрений в зависимости от их массы и расстояния от разбрасывателя

В работах [9, 10] метод применен для оценки повреждаемости фруктов (яблок) во время их транспортировки (рисунок 4).



Рисунок 4. – Исследование повреждаемости яблок при транспортировке в ящике, слева – фото эксперимента, справа – модель, рассчитанная методом МДЭ

В работах моделировались процессы падения яблок при их уборке и их поведение при дальнейшей перевозке.

Заключение

Метод дискретного элемента при проектировании сельскохозяйственных машин является перспективным инструментом, применимым, прежде всего, для решения задач, связанных с исследованием поведения сыпучих сред, когда невозможно применить имеющиеся теории, разработанные с использованием континуального подхода. К ним относятся: истечение материалов из бункеров и других емкостей, анализ процессов дозирования и смешивания, сепарации, очистки, сушки и целый ряд других задач. Метод применим не только для сыпучих сред, его используют для анализа прочности металлоконструкций и фундаментов, исследования движения жидкостей и газов, а также других сред как в динамике, так и в статике.

Литература

1. Cundall, P. A discrete numerical model for granular assemblies / P. Cundall, O. Stark // *Geotechnique*. – 1979. – Vol. 29.1. – P. 47–65. – DOI: 10.1680/geot.1979.29.1.47.
2. Luding, S. Introduction to discrete element methods: basic of contact force models and how to perform the micro-macro transition to continuum theory / S. Luding // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. – 2008. – Vol. 12. – P. 785–826. – DOI: 10.1080/19648189.2008.9693050.
3. K. Kesava Rao. *An Introduction to Granular Flow* / K. Kesava Rao., Prabhu R. Nott. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 512 p.
4. Каменецкий, Е. С. Тестирование модели виброкипящего слоя, использующей метод дискретного элемента / Е. С. Каменецкий, Н. С. Орлова, М. В. Волик, Д. Г. Минасян // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. – 2017. – № 4–1. – С. 18–23.
5. Makse, H. A. Granular packings: Nonlinear elasticity, sound propagation, and collective relaxation dynamics / H. A. Makse, N. Gland, D. L. Johnson, L. Schwartz // *Phys. Rev. E*. – 2004. – Vol. 70.
6. Клишин, С. В. Применение метода дискретных элементов при анализе гравитационного движения гранулированного материала в сходящемся канале / С. В. Клишин // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2009. – № 12. – С. 273–277.
7. Van Liedekerke, P. Discrete element simulations of the influence of fertiliser physical properties on the spread pattern from spinning disc spreaders / P. Van Liedekerke, E. Tijskens, H. Ramon // *Biosystems engineering*. – 2009. – P. 1–14.
8. Van Liedekerke, P. DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader / P. Van Liedekerke, E. Tijskens, E. Dintwa, F. Rioual, J. Vangeyte, H. Ramon // *Powder Technology*. – 2008. – V. 190 (3). – P. 348–360.
9. Van Zeebroeck, M. Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using a pendulum device / M. Van Zeebroeck, E. Tijskens, P. Van Liedekerke, V. Deli, J. De Baerdemaeker, H. Ramon // *Journal of sound and vibration*. – 2003. – V. 266. – P. 465–480.
10. Van Zeebroeck, M. The Discrete Element Method (DEM) to simulate fruit mechanical damage during transport: effect of vibrations during transport on bruise damage / M. Van Zeebroeck, E. Tijskens, E. Dintwa, J. Loodts, J. De Baerdemaeker, H. Ramon // *Acta horticulturae Proceedings of Model-it, May 29- June 03, 2005*. – Leuven, Belgium, 2005.

Х. Г. Абдулхаев

*Научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства
г. Янгиюль, Республика Узбекистан
e-mail: ax_stajyor@mail.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАВНОМЕРНОСТИ ГЛУБИНЫ ХОДА ЗУБОВОГО РЫХЛИТЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГРЕБНЕЙ

В статье приведены результаты исследований по обоснованию угла наклона к горизонту продольных звеньев механизма навески рыхлителя устройства для предпосевной обработки гребней с целью обеспечения равномерного рыхления их вершин.

Ключевые слова: устройство для предпосевной обработки гребней, рама, навеска, рыхлительная лапа, планчатый конический каток, рыхлитель, механизм навески, продольное звено механизма навески, расположение его относительно горизонтали.

H. G. Abdulkhaev

*Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture
Yangiyul, Republic of Uzbekistan
e-mail: ax_stajyor@mail.ru*

THEORETICAL ASPECTS OF THE UNIFORMITY OF THE DEPTH OF THE STROKE TINED CULTIVATOR AND THE HANDLING OF THE RIDGES

The article presents the results of studies on the justification of the angle of inclination to the horizon of the longitudinal links of the mechanism of linkage of the Ripper device for pre-treatment of ridges in order to ensure uniform loosening of their tops.

Keywords: device for pre-sowing treatment of ridges, frame, hitch, loosening paw, planar conical roller, Ripper, hitch mechanism, longitudinal link of the hitch mechanism, its location relative to the horizontal.

Введение

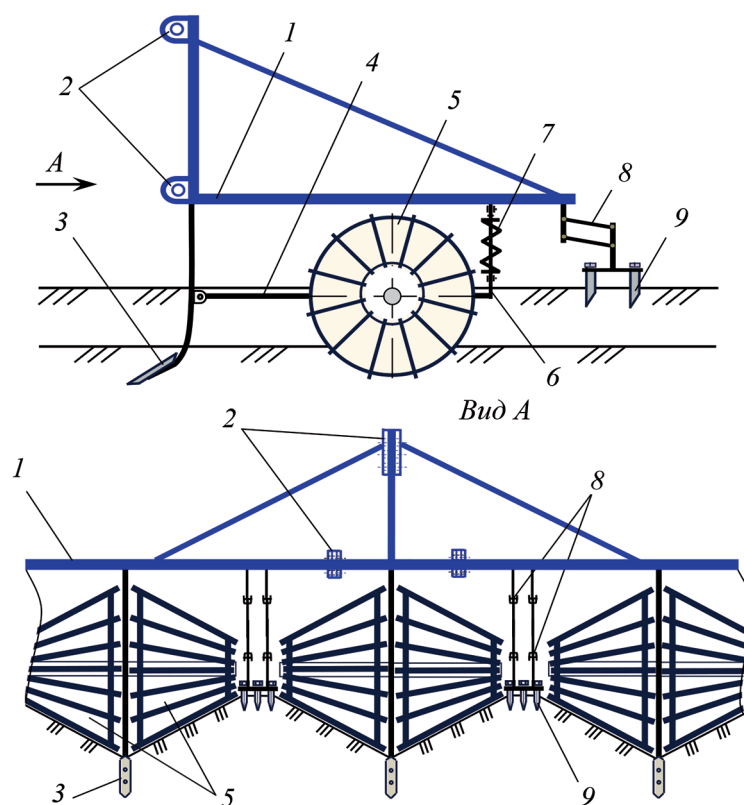
В Республике Узбекистан с каждым годом все большее признание получает технология возделывания хлопчатника на гребнях.

Повышенная температура почвы на гребнях, лучшая аэрация, а также оптимальная плотность почвы создают благоприятные условия для получения ранних и дружных всходов, а также роста и развития растений.

Как правило, гребни для возделывания хлопчатника формируют осенью, а весной сначала производится предпосевная обработка, а затем осуществляется сев семян хлопчатника на их вершину [1].

Методы исследования

Проведенные испытания показали, что существующие машины и орудия для предпосевной обработки гребней не обеспечивают обработку их по всему профилю. В результате не достигается полного уничтожения сорняков и почвенной корки. Учитывая это, нами разработано новое устройство для обработки гребней перед севом [2]. Оно состоит (рисунок 1) из рамы 1 с навеской 2, рыхлительных лап 3, установленных за ними планчатых конических катков 5, направителей 6 с нажимными пружинами 7 и размещенных между планчатыми коническими катками рыхлителей 9, снабженных зубьями. Рыхлительные лапы 3 к раме присоединены жестко, а конические планчатые катки 5 и рыхлители 9 – шарнирно соответственно посредством тяг 4 и параллелограммных механизмов 8.



1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 – рыхлительная лапа; 4 – тяга; 5 – ротационный рыхлитель; 6 – направляющий; 7 – нажимная пружина; 8 – параллелограммный механизм; 9 – зубовой рыхлитель
Рисунок 1. – Конструктивная схема орудия для предпосевной обработки гребней

В процессе работы рыхлительные лапы разрыхляют дно борозд между гребнями, планчатые конические катки и рыхлители обрабатывают соответственно откосы и вершины гребней, копируя их неровности. Благодаря этому, обеспечивается обработка гребней по всему профилю без огрехов.

В данной статье приведены результаты исследований по изучению равномерности глубины хода рыхлителей разработанного устройства.

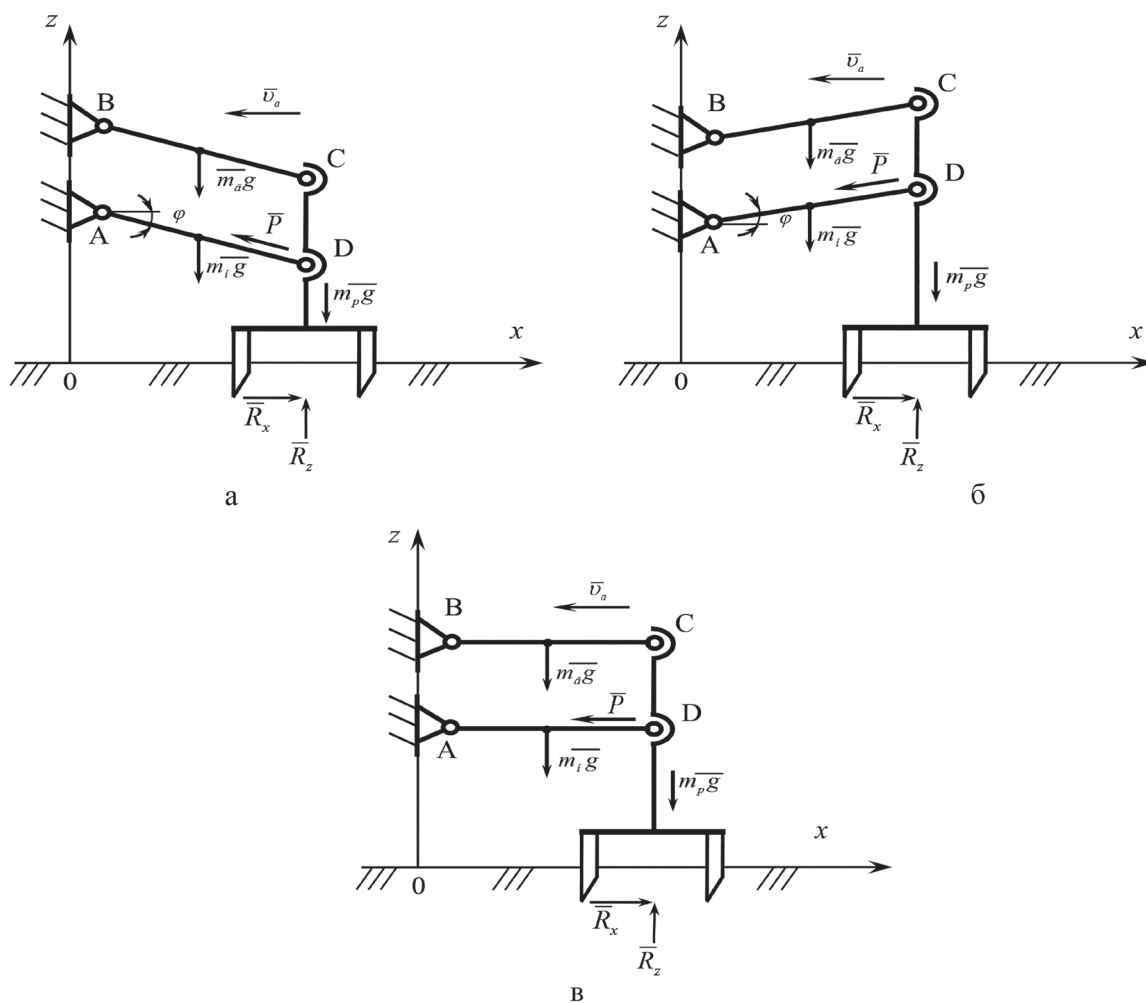
Пользуясь схемой, приведенной на рисунке 2, определим силу Q , под действием которой происходит заглубление рыхлителя в почву:

$$Q = R_z = \left[0,5(m_n + m_v) + m_p \right] g \mp R_x \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где R_x – сила сопротивления почвы перемещению зубьев рыхлителя; R_z – вертикальная реакция почвы на рыхлитель; m_n , m_v – масса соответственно нижнего и верхнего продольных звеньев механизма навески рыхлителя; m_p – масса рыхлителя; φ – угол наклона к горизонту продольных звеньев механизма навески рыхлителя.

В выражении (1) верхний знак перед $R_x \operatorname{tg} \varphi$ соответствует наклону продольных звеньев механизма навески рыхлителя вниз (рисунок 2а), а нижний – наклону их вверх (рисунок 2б).

Из анализа выражения (1) следует, что при расположении (в процессе работы) продольных звеньев механизма навески рыхлителя к горизонту с наклоном как вниз, так и вверх заглубляющая сила Q становится функцией силы R_x сопротивления почвы. При расположении продольных звеньев механизма навески с наклоном вниз сила R_x способствует выглублению рабочих органов, а с наклоном вверх – заглублению. Чем больше угол φ , тем больше влияние силы R_x на Q , и наоборот. Из-за изменчивости физико-механических свойств почвы и имеющихся неровностей на вершине гребня значение силы R_x постоянно изменяется [3], в результате изменяется и сила Q ,



а) наклон продольных звеньев механизма навески рыхлителя вниз; б) наклон продольных звеньев механизма навески рыхлителя вверх; в) продольные звенья рыхлителя параллелограммного механизма расположены горизонтально

Рисунок 2. – Силы, действующие на рыхлитель орудия для предпосевной обработки гребней

что приводит к изменению глубины хода зубьев рыхлителя, а следовательно, к ухудшению равномерности глубины рыхления вершины гребня.

Результаты исследования

Как известно, в процессе работы сила R_x изменяется также в зависимости от скорости движения агрегата [4]. Следовательно, при расположении продольных звеньев параллелограммного механизма с наклоном вниз или вверх изменение скорости движения также приводит к изменению глубины рыхления вершины гребня. Следует предполагать, что при установке продольных звеньев с наклоном вниз с увеличением скорости движения глубина рыхления вершины гребня будет уменьшаться, а при установке с наклоном вверх – увеличиваться.

При $\varphi = 0$, то есть если в процессе работы продольные звенья рыхлителя параллелограммного механизма расположены горизонтально (рисунок 2в),

$$Q = [0,5(m_n + m_e) + m_p] g \quad (2)$$

и сила R_x на глубину хода зубьев влияния не оказывает. Поэтому в данном случае, то есть при $\varphi = 0$, влияние изменчивости физико-механических свойств почвы, неровностей, скорости движения и других факторов на равномерность глубины хода рыхлителя будет минимальным.

Заключение

Таким образом, если в процессе работы продольные тяги параллелограммного механизма рыхлителя работают, принимая горизонтальное положение, то есть $\alpha_t = 0$, то сила $\Delta R_x(t)$ не влияет на его вертикальные колебания и в результате создаются оптимальные условия для равномерной обработки верхней части гребня по глубине.

Литература

1. Типовые технологические карты по возделыванию основных сельскохозяйственных культур на 2011–2015 годы. – Ташкент: Nilol Media, 2011. – 80 с.
2. Устройство для обработки гребней и борозд между ними: пат. FAP 00753 РУз., МПК 8 A01B 21/00 / А. Тухтакузиев, Х. Г. Абдулхаев. – № 20120051; заявл. 03.05.2012; опубл. 28.09.2012. – Бюл. № 9. – 48 с.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
4. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

УДК 631.31(476)

Поступила в редакцию 15.10.2018
Received 15.10.2018

**А. А. Аутко¹, Э. В. Заяц¹, А. И. Филиппов¹,
Н. Д. Лепешкин², В. П. Чеботарев³**

*¹УО «Гродненский государственный аграрный университет»
г. Гродно, Республика Беларусь
e-mail: kafmehan@mail.ru*

*²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromechmo@tut.by*

*³УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: v.p.chebotarev@tut.by*

ПРУЖИННЫЙ РЫХЛИТЕЛЬ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Предложенным нами пружинным рыхлителем одновременно с различными рабочими органами можно провести обработку поверхности гряд, воздействуя только на их поверхностный слой за один проход. В результате этот слой максимально освобождается от сорных растений, что позволяет исключить применение гербицидов при возделывании картофеля и овощных культур в системе экологического земледелия.

Ключевые слова: культиватор, картофель, гряды, пружинный рыхлитель, борошитель, пружинные зубья, механическое уничтожение сорняков, рабочие органы, агрегат, экологическое земледелие.

A. A. Autko¹, E. V. Zayats¹, A. I. Filippov¹, N. D. Lepeshkin², V. P. Chebotarev³

*¹Education Establishment «Grodno State Agrarian University»
Grodno, Republic of Belarus
e-mail: kafmehan@mail.ru*

*²RUE «SPC NAS of Belarus of Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromechmo@tut.by*

*³Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: v.p.chebotarev@tut.by*

SPRING RIPEER FOR DESTRUCTION OF WEED PERFORMANCE BY MECHANICAL METHOD

The spring-ripper proposed by us can be used to treat the surface of the ridges simultaneously with different working bodies, affecting only the surface layer of the ridges in one pass. As a result, this layer is maximally freed from weeds, which eliminates the use of herbicides in the cultivation of potatoes, as well as vegetable crops in the system of ecological farming.

Keywords: cultivator, potatoes, ridges, spring ripper, agitator, spring teeth, mechanical destruction of weeds, working bodies, unit, ecological agriculture.

Введение

В настоящее время производство картофеля в республике осуществляется в режиме интенсивного применения пестицидов.

В государственном реестре средств защиты растений и удобрений разрешены к применению на территории республики 160 видов пестицидов, из них 51 вид инсектицидов, 48 – гербицидов, 41 – фунгицидов, 21 – протравителей. Их применение, безусловно, сказывается на качестве картофеля, овощных культур и пищевой безопасности этой продукции, а впоследствии и на здоровье людей.

Решение проблемы снижения пестицидной нагрузки при возделывании картофеля, а также овощных культур должно быть сосредоточено в направлении максимального механического удаления сорных растений при возделывании культуры и применения экологически безопасных средств защиты растений.

В связи с чем основополагающими в производстве этих культур являются разработка и создание рабочих органов для уничтожения сорной растительности механическим способом в технологии производства картофеля и овощей с минимальной пестицидной нагрузкой [1, 2].

Цель исследований – усовершенствовать технологию производства картофеля и разработать рабочие органы для механического уничтожения сорняков в режиме экологического земледелия, обеспечивающие максимальное снижение пестицидной нагрузки за счет механического уничтожения сорной растительности.

Основная часть

В настоящее время уже создан экспериментальный образец принципиально нового рабочего органа, работающего в вибрационном режиме, что позволяет осуществить максимальное уничтожение сорных растений в довсходовый и предвсходовый периоды, когда обрабатывается только поверхностный слой почвы гряд.

Пружинный рыхлитель (рисунок 1) для механического уничтожения сорняков содержит продольный брус 1, к которому сверху жестко прикреплена вертикальная стойка 2, к нижней части бруса 1 прикреплен ряд втулок 3 с фиксаторами 4, а во втулке размещена поперечная труба 5, к которой прикреплены пружинные зубья 6 прижимными болтами 7 с возможностью поворота поперечной трубы 5 во втулке 3 на угол $\alpha = 15\text{--}45^\circ$ к вертикали в противоположную сторону относительно направления движения, нижняя часть пружинных зубьев 6 согнута под углом по ходу движения, и на этом участке пружинных зубьев установлены конусные рыхлители 8 с ворошителями 9. Пружинные зубья имеют одинаковую или разную длину, причем возрастание их идет от боковых зубьев к центральным. В рыхлителях сделаны осевые отверстия для пружинных зубьев и радиальные отверстия для фиксации, а также для присоединения ворошителей.

Пружинный рыхлитель для механического уничтожения сорняков готовится к работе следующим образом. При сборке устройства для механического уничтожения сорняков внутрь втулок 3 устанавливаются поперечные трубы 5, которые крепятся фиксаторами 4. Затем на поперечную трубу 5 надеваются пружинные зубья 6 и жестко прижимаются болтами 7. Затем в нижней

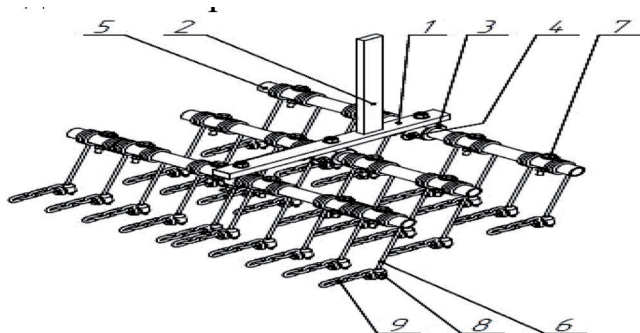
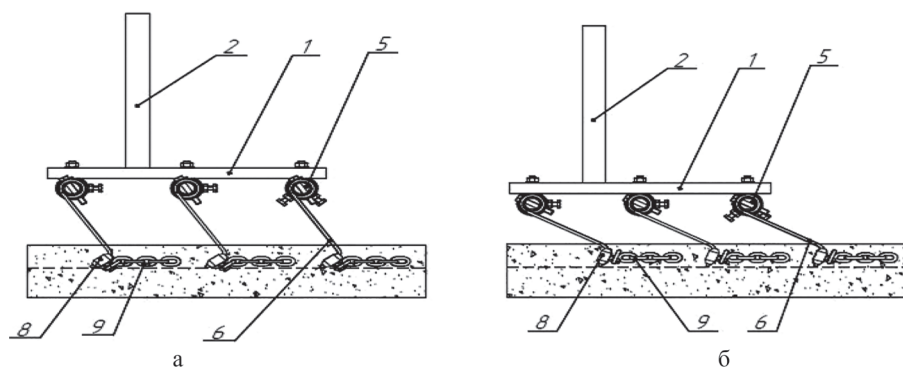


Рисунок 1. – Пружинный рыхлитель для механического уничтожения сорняков

части пружинных зубьев 6 устанавливают конусные рыхлители 8, к которым прикрепляют ворошители 9. Пружинные зубья 6 устанавливают под наклоном в противоположную сторону относительно направления движения. В таком положении изогнутая часть пружинного зуба лучше входит в почву и в процессе движения работает в плавающем положении, между зубьями сохраняется заданный интервал, в результате происходит равномерное рыхление почвы (рисунок 2).

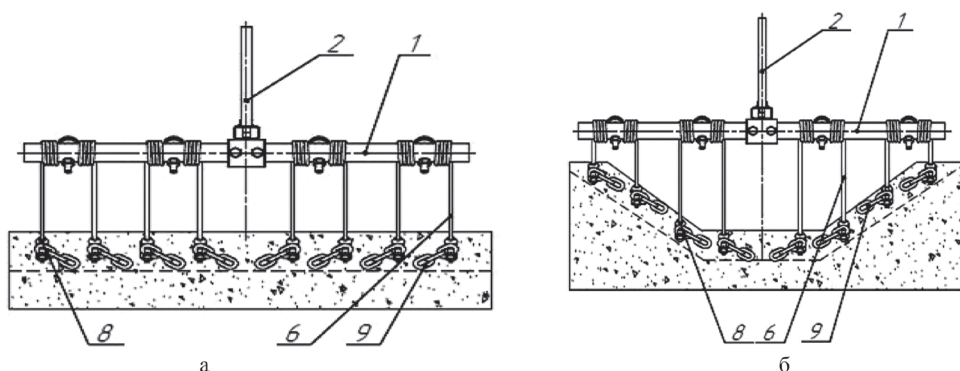


а) пружинные зубья находятся в наклонном рабочем положении; б) измененный угол пружинных зубьев
Рисунок 2. – Пружинный рыхлитель для механического уничтожения сорняков (вид сбоку)

При обработке междурядий растений, имеющих прямостоячую форму, пружинные зубья имеют меньший угол наклона в рабочем положении, а при широкой кроне возделываемых растений угол наклона пружинных зубьев увеличивается. Для обработки борозд узкопрофильных гряд на поперечную трубу 5 устанавливают пружинные зубья 6 с убывающей длиной от середины борозды к верхней части ее боковой поверхности. Затем пружинный рыхлитель устанавливают на культиватор [3, 4].

Технологический процесс работы пружинного рыхлителя происходит следующим образом. При движении культиватора нижняя часть пружинных зубьев 6 с конусным рыхлителем 8 и ворошителем 9 входит в верхний слой почвы и осуществляет сплошное активное ее рыхление. Находящиеся в почве проростки или всходы сорняков на поверхности почвы механически уничтожаются.

Такой тип обработки почвы проводится в предпосевной и предпосадочный периоды при возделывании овощных, пряно-ароматических и лекарственных культур, а также в довсходовый период при возделывании картофеля. При обработке междурядий овощных культур, имеющих широкую крону, возделываемых при большом уклоне гряд, осуществляется рыхление почвы под листьями выращиваемых культур и полностью механически уничтожаются проростки и всходы сорных растений. При обработке борозд узкопрофильных гряд пружинные зубья 6 вместе с рыхлителем 8 и ворошителем 9 обрабатывают нижнюю и боковую части борозды за счет установки пружинных зубьев с убывающей длиной от середины длины к верхней ее боковой поверхности (рисунок 3) [5, 6].

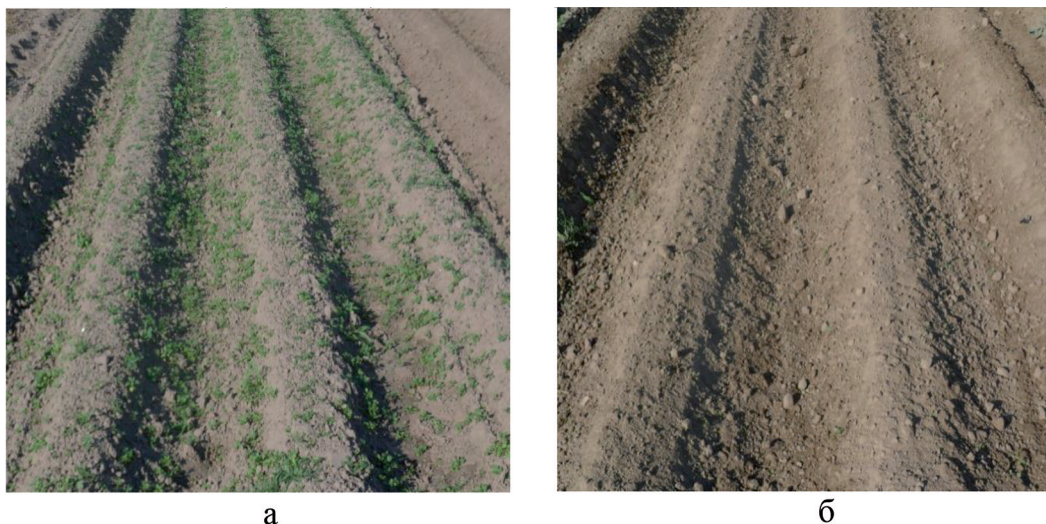


а) пружинные зубья имеют одинаковую длину; б) пружинные зубья имеют разную длину, причем она возрастает от боковых зубьев к центральным

Рисунок 3. – Пружинный рыхлитель для механического уничтожения сорняков (вид сзади)

Результаты исследований

При проведении экспериментальных исследований пружинного рыхлителя в полевых условиях в процессе работы в колебательном режиме данный рабочий орган практически полностью уничтожает проростки и всходы сорных растений механическим способом, что позволяет в несколько раз снизить расход пестицидов на уничтожение сорной растительности (рисунок 4).



а) до обработки; б) после обработки

Рисунок 4. – Гряды посадок картофеля при обработке пружинным рыхлителем в составе агрегата АУ-М2

Полевые испытания показали, что данный пружинный рыхлитель обеспечивает практически полное уничтожение сорной растительности на гребневой поверхности гряд, а также качественное рыхление междурядий и обработку поверхности гряд с сохранением их формы после прохода агрегата (рисунок 4). Ведутся дальнейшие наблюдения и исследования.

Заключение

Использование пружинного рыхлителя для обработки поверхностей гряд позволяет выполнять только поверхностное рыхление гряд, не вынося почву из нижних слоев на поверхность. Это, в свою очередь, снизит энергоемкость процессов рыхления, гребневания и окучивания с одновременным уничтожением проростков и всходов сорных растений без применения пестицидов, что очень важно при экологическом земледелии.

Применение разработанного и предлагаемого рабочего органа создает возможность свести к минимуму наличие сорных растений в поверхностном слое почвы, что обеспечивает получение качественной сельскохозяйственной продукции, возделываемой на грядах без применения пестицидов.

Литература

1. Заяц, Э. В. Сельскохозяйственные машины: учебник / Э. В. Заяц. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 432 с.
2. Анализ технологических операций и изыскание рабочих органов культиватора для ухода за картофелем при экологическом земледелии / Э. В. Заяц [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. ст. / ГГАУ. – Гродно, 2017. – С. 83–89.
3. Разработка рабочих органов машин для возделывания картофеля и овощей при экологическом земледелии / Э. В. Заяц [и др.] // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. науч. ст. по материалам XX МНПК. – Гродно: ГГАУ, 2017. – С. 182–184.
4. Обзор зарубежных комбинированных агрегатов / Н. Д. Лепешкин [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 141–147.

5. Разработка и испытания рабочих органов и машин для обработки с минимальной пестицидной нагрузкой картофеля и овощных культур / Н. Д. Лепешкин [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвященной 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2017. – С. 109–113.

6. Агрегат для обработки профилированной поверхности почвы / А. А. Аутко [и др.] // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. науч. ст. по материалам XXI МНПК. – Гродно: ГГАУ, 2018. – С. 182–185.

УДК 631.31/356(633.49:635–153)

Поступила в редакцию 30.06.2018
Received 30.06.2018

В. В. Голдыбан, И. А. Барановский

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

К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СЕЯЛКИ ТОЧНОГО ВЫСЕВА СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

В статье проанализирована ситуация с оснащенностью свекловичной отрасли техническими средствами посева сахарной свеклы, указываются перспективы их дальнейшего развития.

Ключевые слова: сеялка, сахарная свекла, технология, средства механизации, посев.

V. V. Goldyban, I. A. Baranovsky

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labpotato@mail.ru*

TO JUSTIFY THE TYPE OF SEEDING SYSTEM PROMISING A SEEDER OF EXACT SEEDING OF SUGAR BEET

The article describes the situation of technical equipment beet industry the sugar beet from the clamps indicates the prospects of its further development.

Keywords: loader, sugar beet, technology, means of mechanization, cleaning, the performance of the mechanized works.

Введение

Возделыванием сахарной свеклы в Беларуси занимается 378 сельскохозяйственных организаций на площади 101,5 тыс. га. Средняя площадь посева на одно хозяйство составляет 260 га. Валовой сбор превышает 4,9 млн тонн. По оценке специалистов концерна «Белгоспищепром», это позволило не только в полном объеме обеспечить внутренние потребности страны в сахаре, но и существенно увеличить экспорт. Емкость внутреннего рынка республики составляет примерно 350 тыс. тонн сахара в год, и уже на протяжении многих лет предприятия отрасли обеспечивают его полностью.

Экспортная поставка свекловичного сахара – 200 тыс. тонн. Средняя урожайность сахарной свеклы в 2017 г. составила 493 ц/га.

К концу 2020 года, согласно Государственной программе развития аграрного бизнеса Республики Беларусь на 2016–2020 годы, запланировано увеличение объемов производства сахарной свеклы за счет роста ее урожайности на 51 % относительно уровня 2015 года.

Индикатором развития свеклосахарного подкомплекса к 2020 году должно быть достижение объемов производства сахарной свеклы средней сахаристости до 17 % в хозяйствах всех категорий на уровне не менее 4,9 млн тонн на площади 98,1 тыс. гектаров.

Только качественный посев, ведущий к достаточно высокой полевой всхожести с оптимальным размещением растений по площади питания, создает предпосылки для использования генетического потенциала и получения наивысшего сбора сахара с одного гектара. Ошибки при посеве, ведущие к изреженности, а значит к неравномерному распределению недостаточного числа растений на поле, позднее исправить уже невозможно. Оптимальной густотой насаждения растений свеклы считается 85–110 тыс. растений на 1 га [1]. Но густота не является единственным определяющим фактором в формировании урожая свеклы. Важна также равномерность распределения растений в рядке. Равномерное распределение растений сахарной свеклы по полю обеспечивает наилучшую площадь питания, положительно влияет на качество срезки ботвы, препятствует засоренности, которая усложняет уборку и может снизить урожайность. Согласно агротехническим требованиям, неравномерность от заданной нормы высева семян должна составлять $\pm 2\%$.

Основная часть

Для обеспечения заданных интервалов между семенами в высевающих аппаратах сеялок используют различные виды (механические, пневматические и др.) дозирующих устройств, предназначенных для отбора семян из бункера и доставки их к зоне высева в бороздку. В механических высевающих аппаратах в качестве дозирующих устройств используются вертикально установленные диски с семенными ячейками цилиндрической формы неизменного размера. Пневматические дозаторы конструктивно более сложные по сравнению с механическими, так как требуются дополнительные устройства для создания разрежения или повышенного давления.

Посев сахарной свеклы в Республике Беларусь осуществляется в основном сеялками зарубежного производства Amazone, Kverneland, Gaspardo. В данных сеялках высев семян производится из высевающего аппарата в почву через семяпровод под действием силы тяжести. Этот принцип называется «свободное падение». На высокой скорости, когда нарастают вибрации, семена отскакивают от семяпровода и точность высевающего аппарата снижается, как следствие, на поле появляются огрехи в виде неодинакового расстояния между семенами сахарной свеклы, что в последующем влияет на густоту растений в рядке. Сеялки точного высева отечественного производства ССТ-12Б, СМН-12 неэффективны из-за травмирования механическими вращающимися элементами калиброванных семян в отверстиях диска, что отрицательно сказывается на их всхожести. Кроме того, парк этих низкопроизводительных машин существенно изношен. Пневматическая сеялка точного высева СУПН-12А обладает значительной неравномерностью подачи семян в сошники и, как следствие, отклонением от заданной нормы высева между сошниками. Сеялка точного высева СКП-12, выпускаемая ОАО «Брестский электромеханический завод», оснащена высевающими секциями фирмы Kverneland. Для создания оптимальной густоты насаждения растений сахарной свеклы посев должен осуществляться с нормой высева семян 1,2–1,3 п.е. (посевная единица, включающая 100 тыс. дражированных семян) на 1 га (5,4–6 шт. на 1 пог. м) [2].

Получившие наибольшее распространение в Республике Беларусь французские сеялки точного высева Monosem и итальянские Agricola работают чрезвычайно точно по вакуумному принципу: благодаря вакууму семена сахарной свеклы надежно закрепляются в дозирующих отверстиях высевных дисков. Высевные диски сеялок Monosem и Agricola могут быть с одним рядом отверстий разного диаметра или с двумя, в зависимости от выбранной схемы посадки. Как показывает практика, разделение семян на два потока диском с двумя рядами отверстий для посадки сахарной свеклы по двухстрочной схеме не всегда эффективно, в результате на поле появляются огрехи в виде пропусков.

Если при расстоянии между растениями в ряду от 18...22 см появляется один пропуск, то из-за усиленного роста соседних растений не снижается урожайность сахарной свеклы, но содержание сахара значительно падает. При пропуске трех или более растений в ряду повышенная масса соседних растений уже не может компенсировать потерю урожайности. Кроме повышения средней массы корнеплодов и ухудшения их качества, возрастает доля свеклы с возвышенными

головками, что усложняет уборку и увеличивает потери. Чем больше густота стояния, тем меньше и равномернее возвышение головок свеклы, что позволяет легче приспособлять срезающий механизм уборочных комбайнов.

Но при чрезмерно высокой густоте стояния доля маленьких корнеплодов очень высока. Они не всегда захватываются уборочными комбайнами и повышают загрязнение убранных корнеплодов.

Густые посевы при равномерном распределении растений препятствуют поздней засоренности, которая может значительно усложнять уборку и снижать урожайность. Кроме того, уменьшается заселение посевов тлями, что сильно снижает их роль как переносчиков вирусов.

В связи с возрастающей интенсивностью проведения защитных мероприятий и подкормок сахарной свеклы микроэлементами и стимуляторами роста встал вопрос о целесообразности оставления при севе технологической колеи. Во многих сеялках для этого необходимо произвести ряд сложных настроек.

Анализ мировых тенденций показывает, что ведущие фирмы-производители сеялок сахарной свеклы, такие как Gaspardo, Amazone, Monosem, Agricola и др., уже работают над решением данной проблемы.

На сегодняшний день использование индивидуального электрического привода на каждом высевальном аппарате позволяет произвести калибровку, отключение нужной секции для закладки технологической колеи (рисунок 1), не покидая кабины трактора. Так, согласно исследованиям Н. Н. Лепетило, Н. А. Лукьянюк, О. Н. Нилова [3], экономия посевного материала при применении технологической колеи составила 8,3 %, что в денежном выражении равно 7,1 EUR/га. Наличие технологической колеи позволяет использовать тракторы с обычными покрышками задних колес, что существенно экономит время при настройке трактора. Кроме того, электрический привод не вызывает проскальзывания колес или цепей, которое может стать причиной неравномерности высева.

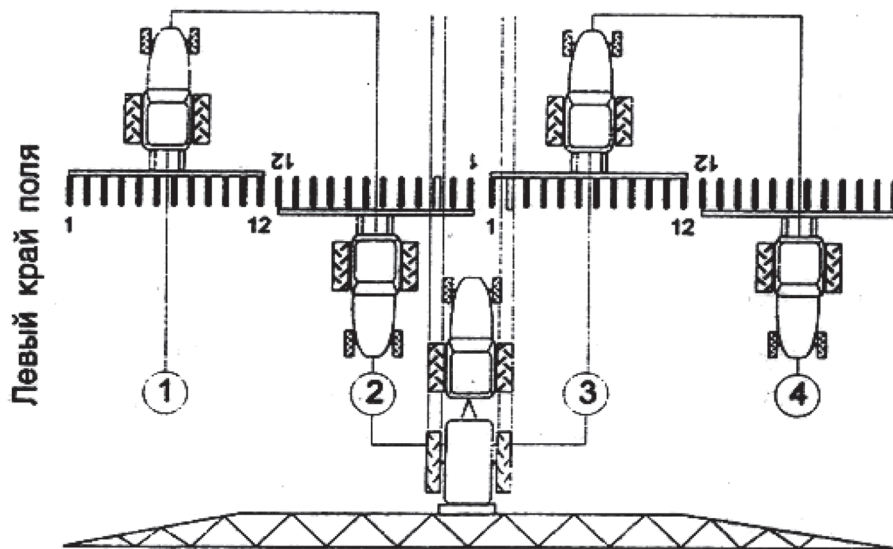


Рисунок 1. – Закладка технологической колеи на стыке между вторым и третьим проходами сеялки при посеве с края поля, во втором проходе выключается 3-й высевальный аппарат, в третьем проходе – 2-й высевальный аппарат

На сегодняшний день важнейшим фактором, снижающим доступность данной техники для свеклосеющих хозяйств страны, является ее высокая стоимость – от 40 тыс. евро, в зависимости от комплектации.

В связи с этим актуальна разработка отечественной высевальной секции для сеялок точного высева, простой в конструкции, производительной и доступной в денежном выражении для любого свеклосеющего хозяйства.

Исходя из заданных критериев, высеваящая секция должна иметь индивидуальный электрический привод пневматического дозатора, который позволяет механизатору с помощью пульта управления настроить каждую секцию отдельно и сеялку в целом на заданную норму высева, не покидая кабины трактора. Также на пульте управления в режиме реального времени должен отображаться контроль высева семян, то есть их подсчет и равномерность распределения с момента выхода из высевашего аппарата до попадания в почву. Для поддержания высокой точности при больших скоростях и исключения отскоков гранулированных семян в семяпроводе необходимо использовать избыточное давление высевашего аппарата для перемещения семени на небольшом отрезке с высокой скоростью. Быстрая подача снижает чувствительность к вибрациям и уклонам в семяпроводе, за счет этого выдерживается точность.

Эти критерии позволят заложить основу для оптимального использования потенциальной урожайности сахарной свеклы в конкретных почвенно-климатических условиях путем заданного и равномерного распределения числа растений на единицу площади для создания одинаковых условий развития.

Заключение

Таким образом, разработка новых электромеханических высеваших систем поможет заложить основы для создания отечественных сеялок точного высева семян сахарной свеклы, что, в свою очередь, позволит исключить ввоз подобных сеялок из-за рубежа.

Литература

1. Сахарная свекла (Выращивание, уборка, хранение) / Д. Шпаар [и др.] // Под общей редакцией Д. Шпаара. – Минск: ЧУП «Орех», 2004. – 326 с.
2. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сахарной свеклы: метод. реком. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 56 с.
3. Лепетило, Н. Н. Возделывание сахарной свеклы с использованием технологической колеи / Н. Н. Лепетило, Н. А. Лукьянюк, О. Н. Нилова // Сахарная свекла: Двухмес. производств. журнал. – 2006. – № 2. – С. 23–25.

УДК 631.31

Поступила в редакцию 04.10.2018
Received 04.10.2018

В. И. Ветохин¹, А. И. Беловод¹, Д. А. Голованов², А. Н. Алтыбаев³

*¹Полтавская государственная аграрная академия
г. Полтава, Украина*

*²ФГУП «Омский экспериментальный завод» Россельхозакадемии
г. Омск, Российская Федерация*

*³Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства
г. Алматы, Республика Казахстан
e-mail: veto.vladim@gmail.com; oleksandra.bilovod@pdaa.edu.ua; dir@oezomsk.ru; narikovich@yandex.ru*

РЕГУЛИРОВАНИЕ И САМОРЕГУЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Адаптация параметров, формы и структуры почвообрабатывающего орудия к переменным условиям работы – актуальное направление повышения эффективности процесса почвообработки.

Показано, что в системе «источник энергии – рабочий орган – почва» происходит самоадаптация посредством изменения структуры системы, когда часть обрабатываемого пласта почвы переходит в пластическое состояние, а другая часть испытывает крошение вследствие хрупкообразных деформаций и сдвигов с образованием промежуточных рабочих поверхностей. Адаптивные системы рассмотрены с привлечением элементов теории систем автоматического регулирования.

Возможно использование самоорганизующейся системы лишь в экспериментальный период. Затем она может быть заменена системой с формой рабочей поверхности, выполненной по форме уплотненного тела из почвы, либо по форме одной из поверхностей сдвигов в почве (поверхности скольжения элементов пласта), либо может повторять форму экспериментальной поверхности из гибкого материала.

Ключевые слова: система энергия – орудие – почва, форма рабочего органа, адаптация параметров, самоорганизующаяся система, свойства почвы.

V. I. Vetokhin¹, A. I. Belovod¹, D. F. Golovanov,² A. N. Altibaev³

¹*Poltava State Agrarian Academy
Poltava, Ukraine*

²*FSUE «Omsk Experimental Plant» of the Russian Academy of Agricultural Sciences
Omsk, Russian Federation*

³*Kazakh Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture
Almaty, Republic of Kazakhstan*

e-mail: veto.vladim@gmail.com; oleksandra.bilovod@pdaa.edu.ua; dir@oezomsk.ru; narikovich@yandex.ru

REGULATION AND SELF-REGULATION OF THE SHAPE OF THE WORKING TOOL FOR TILLAGE

Adaptation of the parameters, form and structure of the tillage implements to varying conditions of work is the current direction of improving the efficiency of the tillage process.

It is shown that in the system «energy source – working tool – soil» self-adaptation occurs by changing the structure of the system. A part of the treated stratum of the soil goes into a plastic state, and the other part experiences crumbling due to brittle deformations and shifts with the formation of intermediate working surfaces. Adaptive systems are considered using the elements of the theory of automatic control systems.

It is possible to use a self-organizing system only in the experimental period. Then it can be replaced by a system with the execution of the shape of the working surface in the shape of a compacted body from the soil, or in the shape of one of the surfaces of the shifts in the soil (sliding surface of the elements of the reservoir), or repeat the shape of the experimental surface of flexible material.

Keywords: energy-implement-soil system, form of the working tool, parameter adaptation, self-organizing system, soil properties.

Введение

Снижение затрат энергетических и других ресурсов – актуальная задача в аграрном производстве. Один из путей ресурсосбережения – проектирование технологического процесса, почвообрабатывающих орудий и машинно-тракторных агрегатов на основе свойств почвы с учетом общих закономерностей функционирования систем.

Современным направлением ресурсосбережения является адаптивное управление технологическими процессами и орудиями в зависимости от состояния обрабатываемой среды с целью выполнения агротехнических требований и получения урожая. Также необходим всесторонний учет реальных явлений в процессе взаимодействия пласта почвы и рабочих органов орудия.

Существенное противоречие заключено в том, что параметры и форма орудия выбираются для определенного режима работы и состояния почвы, в то время как в реальных условиях эти характеристики меняются в широких пределах. Другими словами, форма орудия остается постоянной при изменении в широких пределах характеристик обрабатываемой почвы и режимов работы.

На рисунке 1 представлен вид типичного и широко распространенного орудия класса чизельный плуг. Изображение на рисунке 1б иллюстрирует явление залипания рабочих органов почвой в результате недостаточного соответствия параметров орудия и данного состояния почвы. Залипание почвой в традиционном понимании относится к отрицательным явлениям, так как приводит к повышению тягового сопротивления вследствие повышения трения и к нарушению технологического процесса в виде сгуживания почвы перед рабочим органом. Сгуживание почвы еще больше повышает тяговое сопротивление и в некоторых случаях приводит к остановке работы, особенно агрегатов с отвальными орудиями.



а

б

а – проектный вид формы рабочих органов орудия; б – реальный вид формы рабочих органов (в результате взаимодействия с пластом почвы)

Рисунок 1. – Чизельный плуг для безотвальной обработки почвы

Однако описанное явление возможно рассматривать как корректировку формы и параметров рабочего органа, а также как самоадаптацию системы соответственно условиям функционирования. Такой подход показывает, что построение рабочих органов орудий возможно не только на физико-механических основах, а также на базе закономерностей функционирования систем и на принципах автоматического регулирования.

Основная часть

Большая советская энциклопедия определяет саморегуляцию как «свойство биологических систем автоматически устанавливать и поддерживать на определенном, относительно постоянном уровне те или иные физиологические или другие биологические показатели. При саморегуляции управляющие факторы не воздействуют на регулируемую систему извне, а возникают в ней самой. Процесс саморегуляции может носить циклический характер. Отклонение какого-либо жизненного фактора от константного уровня служит толчком к мобилизации аппаратов, восстанавливающих его» [1].

Современное понимание саморегуляции выходит за пределы биологических систем и включает техногенные адаптивные системы. Так, в теории систем автоматического регулирования рассматриваются адаптивные системы, в частности [2, с. 39–48]:

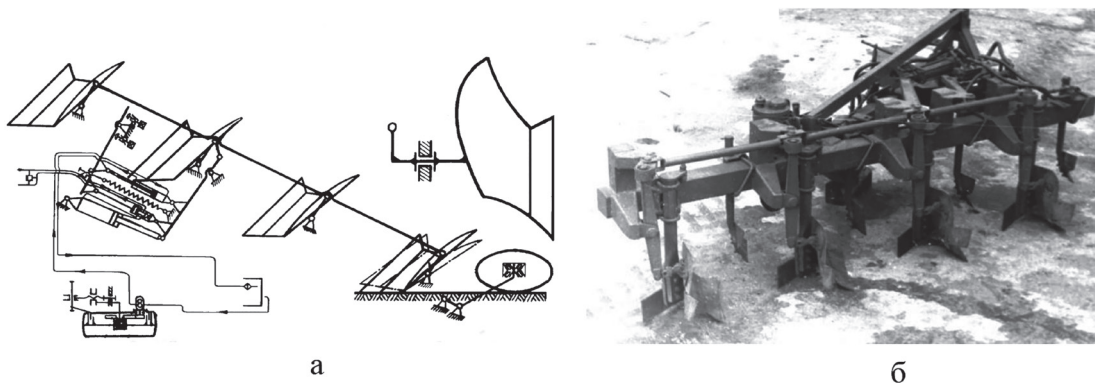
- системы с самонастройкой программы (экстремальные системы);
- системы с самонастройкой параметров (собственно самонастраивающиеся системы);
- системы с самонастройкой структуры (самоорганизующиеся системы).

В качестве примера экстремальных систем регулирования приводят автоматическое поддержание максимальной скорости проходки скважины турбобуром при меняющихся свойствах грунта. В перспективе подобный механизм может быть реализован в работе почвообрабатывающего агрегата.

Явление изменения формы рабочего органа, показанное на рисунке 1, возможно отнести к системам с самонастройкой параметров, использующим естественные свойства почвы. Физико-механические свойства почвы, которые обеспечивают этот эффект, – адгезивные свойства, способность изменять плотность и структуру в напряженно-деформированном состоянии. Имеют место явления, описываемые гидродинамическими законами, а именно возникновение пониженного давления в зонах повышенной скорости потока, что приводит к залипанию также тыльных поверхностей.

К системе с самонастройкой параметров возможно отнести отвальный плуг конструкции БИМСХ и ГСКБ «Одессапочвотмаш» с возможностью изменения формы отвалов в зависимости от скорости движения (рисунок 2).

Датчиком скорости движения служит опорное колесо плуга, связанное с гидромеханическим приводом отклонения крыльев отвалов. Энергия в систему управления поступает от гидросистемы трактора. Форма отвала изменяется в зависимости от скорости движения агрегата, что позволяет управлять степенью крошения почвы и дальностью отбрасывания обернутого пласта.



а – схема плуга; б – фото конструкции

Рисунок 2. – Отвалный плуг конструкции БИМСХ и ГСКБ «Одессапчвомаш» с возможностью изменения формы отвалов в зависимости от скорости движения [3]

Система с самонастройкой параметров предполагает наличие блока для измерения параметров процесса, исполнительного устройства и переменной части рабочего органа, что в общем виде представлено на рисунке 3.

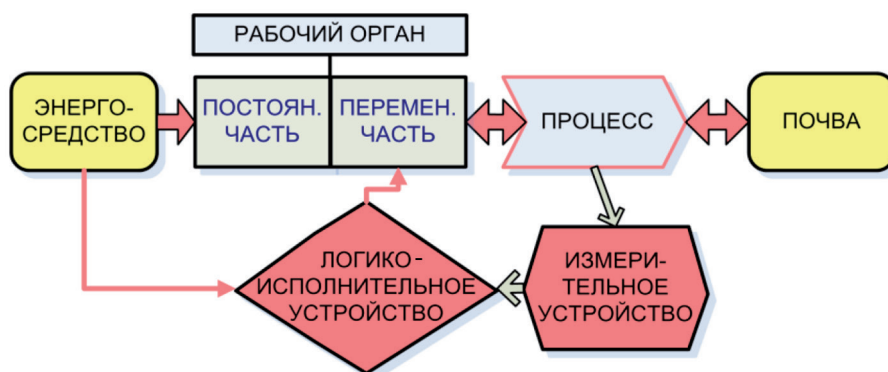


Рисунок 3. – Блок-схема системы регулирования формы поверхности рабочих органов почвообрабатывающих орудий [4]

Одно из базовых свойств почвы – способность деформироваться и разрушаться хрупкообразно или пластично при различных типах нагруженного состояния [5]. Энергоемкость процесса при этом существенно различается. Как известно, энергоемкость деформации почвы сдвигом с растяжением на порядок меньше, чем сдвигом со сжатием. Проявление таких свойств почвы приводит к явлению образования перед деформатором зон почвы в различном напряженно-деформированном состоянии и к образованию тела (ядра) из переуплотненной почвы (рисунки 4, 5).

В теории автоматического управления рассматриваются также системы с самонастройкой структуры (самоорганизующиеся системы), в которых новые задачи решаются не путем изменения параметров регулятора, имеющего определенную структуру, а путем изменения самой структуры регулятора не заданным заранее образом (рисунок 6).

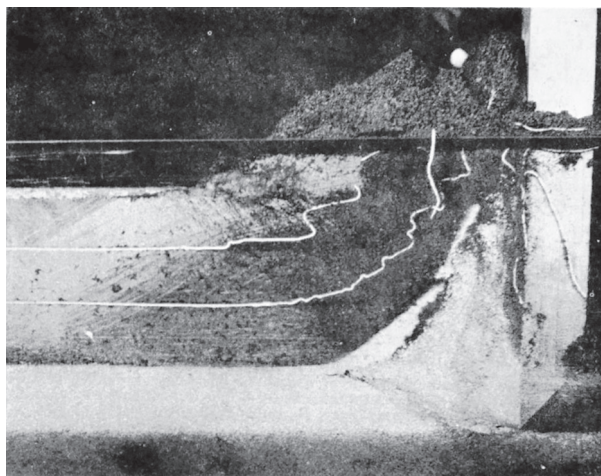
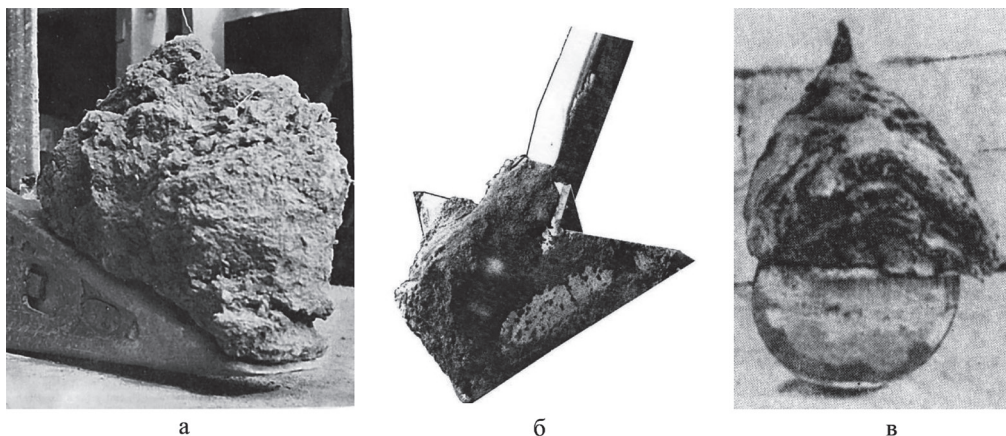


Рисунок 4. – Образование различных зон в пласте почвы перед деформатором [6, с. 29]



а – на поверхности долота глубокорыхлителя, по данным М. L. Nichols, С. А. Reaves [7];
б – на поверхности лапы чизельного плуга, по данным автора [8]; в – на поверхности дрена, по данным М. Е. Мацепуро и К. А. Пилкаускаса [9]

Рисунок 5. – Вид тел из переуплотненной почвы

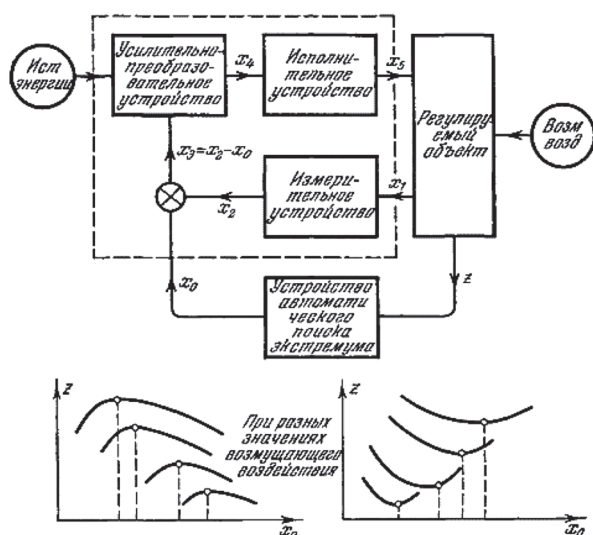


Рисунок 6. – Блок-схема самонастраивающейся системы регулирования с устройством автоматического поиска экстремума [2]

Внешняя граница Φ_2 тела из уплотненной почвы, как посредник, передает нагрузку от клина формы Φ_1 к другой части слоя почвы и таким образом становится реальной рабочей поверхностью для остального объема пласта почвы (рисунок 8а).

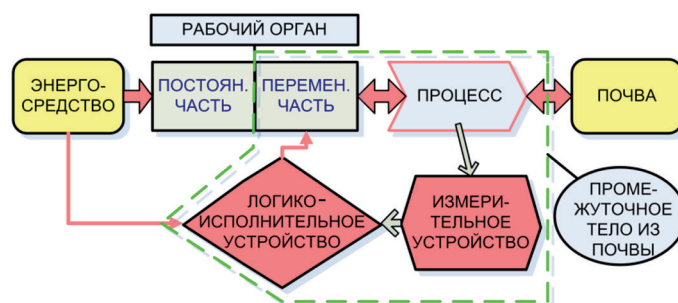
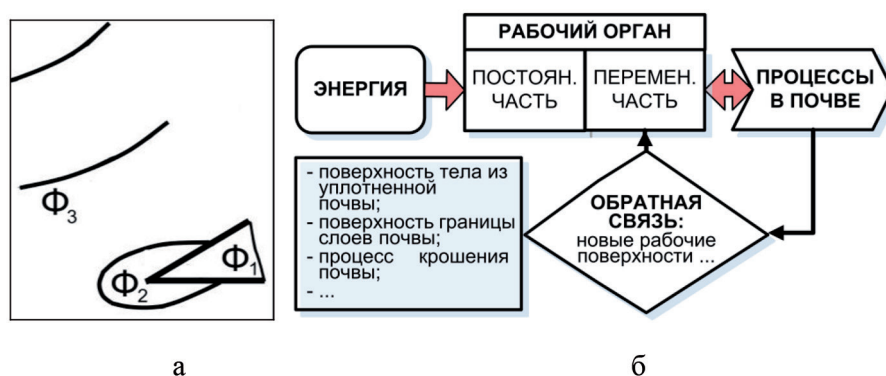


Рисунок 7. – Блок-схема саморегулирования формы поверхности рабочих органов почвообрабатывающих орудий с учетом образования промежуточного тела из почвы [10]



а – схема образования новых рабочих поверхностей Φ_2 и Φ_3 в пласте почвы; б – блок-схема самоадаптации системы «источник энергии – рабочий орган – почва»
Рисунок 8. – Модели самоадаптации системы «источник энергии – рабочий орган – почва»
в процессе крошения почвы

Таким образом, телопосредник существенно корректирует исходную форму Φ_1 рабочего органа. При разделении пласта почвы на слои в процессе его крошения поверхности раздела слоев Φ_3 также выполняют функцию рабочей поверхности для вышележащих объемов почвы.

Итак, источник энергии, клинообразный рабочий орган и пласт (слой) почвы образуют адаптивную систему, причем часть объема обрабатываемой почвы становится динамически изменяющейся частью рабочего органа и выполняет измерительную и логико-исполнительную функции (рисунки 7, 8). КПД системы при этом повышается [11].

Возможно использование самоорганизующейся системы регулирования лишь в экспериментальный период эксплуатации системы. Затем самоорганизующаяся система может быть заменена более простой системой со структурой, которая была сформирована в процессе работы самоорганизующейся системы. Применительно к почвообрабатывающим орудиям это предусматривает выполнение формы рабочей поверхности по форме уплотненного тела из почвы, либо по форме одной из поверхностей сдвигов в почве (поверхности скольжения элементов пласта), либо она должна повторять форму экспериментальной поверхности из гибкого материала [12].

Заключение

Проблема снижения затрат при обработке почвы может решаться путем адаптации параметров и формы орудия к изменяющимся почвенным условиям и режимам работы. Кроме известного в технике искусственного управления формой и параметрами почвообрабатывающего орудия, существуют естественные процессы адаптации и саморегулирования в системе «источник энергии – рабочий орган – почва», которые происходят, благодаря свойствам почвы и физическим явлениям в пласте, а именно: крошению почвы, послойным сдвигам, образованию зон с разным характером деформаций.

Эти явления корректируют форму рабочего органа и выполняют функцию обратной связи, носят динамический, циклический характер, реализуя при этом закон минимума энергии в системе. При проектировании и совершенствовании орудий необходимо учитывать, что энергоёмкость реального процесса деформации почвы определяется наличием и формой промежуточных тел из почвы.

Литература

1. Большая советская энциклопедия. В 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1969–1978. – Т. 22: Ремень – Сафи. – 628 стр.
2. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1972. – 768 с.
3. Изыскание и исследование схем и конструкций плугов с регулируемой шириной захвата: отчет о НИР / А. А. Лептеев, А. Н. Мигаль, Ю. В. Радоман, Л. Е. Топленкин, А. И. Хомяков // Белорус. ин-т мех. с.-х., ГСКБ «Одессапочвомаш». – Минск – Одесса: 1980. – 117 с.

4. Ветохин, В. И. О динамике формы поверхности рабочих органов почвoryхлителей / В. И. Ветохин // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 6. – С. 30–35.
5. Горячкин, В. П. Теория разрушения материалов / В. П. Горячкин // Собр. соч.: в 3 т. – М.: Колос, 1965. – Т. 1. – С. 525–546.
6. Gill, W. R. Soil dynamics in tillage and traction / W. R. Gill, Glen E. Van den Berg. – Washington: Agricultural Research Service US department of Agriculture. Agricultural handbook 316. – 1967. – 511 p.
7. Nichols, M. L. Soil reaction to subsoiling equipment / M. L. Nichols, C. A. Reaves. // Agr. Engin. – 1958. – № 39. – P. 340–343.
8. Ветохин, В. И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: дис. ... канд. техн. наук / В. И. Ветохин. – М.: ВИСХОМ, 1991. – 309 с.
9. Мацепуро, М. Е. Изменение сил, действующих на дрeнер, в зависимости от его параметров / М. Е. Мацепуро, К. А. Пилкаускас // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Госиздат БССР, 1960. – Т. 3, разд. 2, гл. 3. – С. 211–274.
10. Ветохин, В. И. К вопросу разработки системной модели крошения пласта почвы / В. И. Ветохин // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, т. 7. – С. 245–252.
11. Ветохин, В. И. Системные и физико-механические аспекты проектирования рыхлителей почвы / В. И. Ветохин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Т. 1. – С. 65–75.
12. Способ определения формы профиля рабочей поверхности рыхлителей почвы: пат. 2013900 РФ, МКИ А 01 В 13/00, 15/00 / В. И. Ветохин. – № 93001983/15; заявл. 12.01.93; опубл. 15.06.94 // Открытия. Изобрет. – 1994. – № 11.

УДК 631.331.85

Поступила в редакцию 01.10.2018
Received 01.10.2018

В. В. Голдыбан¹, В. П. Чеботарев², М. И. Курилович¹, К. Н. Мисников¹, Т. В. Бойко²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labpotato@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: v.p.chebotarev@tut.by

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

В статье освещены методы и результаты определения физико-механических свойств дражированных семян сахарной свеклы, которые необходимы при проектировании высевочных систем: размерно-весовые характеристики, объемная масса семян, коэффициент внутреннего трения, коэффициент парусности и скорость витания.

Ключевые слова: семена, свойства, свекла, методика, трение, парусность.

V. V. Goldyban¹, V. P. Chebotarev², M. I. Kurylovich¹, K. N. Misnikov¹, T. V. Boiko²

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labpotato@mail.ru

²Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: v.p.chebotarev@tut.by

THE RESULTS OF RESEARCH OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SUGAR BEET SEEDS

The article describes the methods and results of determination of physico-mechanical properties of pelleted sugar beet seeds, which are necessary for the design of seeding systems: the size-weight characteristics, body weight of seeds, the coefficient of internal friction, coefficient of sail and soaring speed.

Keywords: seeds, properties, beet, technique, friction, windage.

Введение

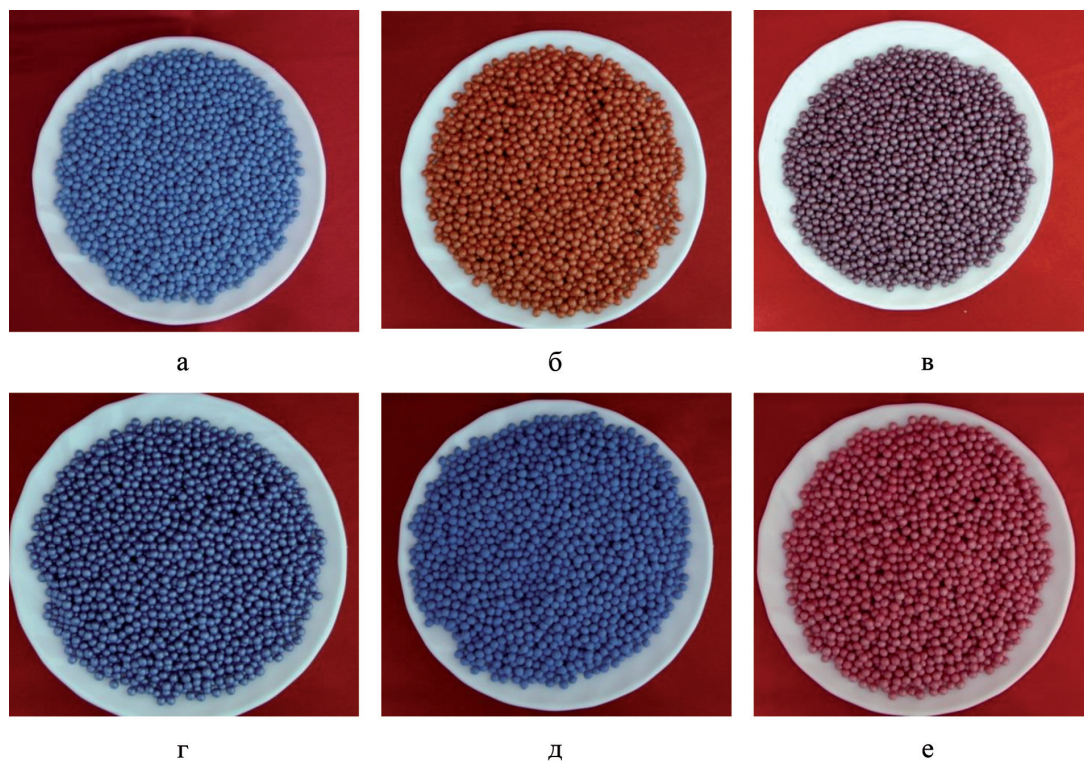
В рамках отдельного проекта фундаментальных исследований Национальной академии наук Беларуси и Академии научных исследований и технологий Египта на 2018–2019 годы «Исследование способа точного высева семян сахарной свеклы и кукурузы с помощью электромеханических высевающих систем» (договор № 1819 от 14 августа 2018 г.) запланировано теоретическое обоснование основных конструктивных и кинематических параметров электромеханической высевающей системы для высева семян сахарной свеклы.

Исходными данными для выполнения расчетов являются физико-механические и аэродинамические свойства семян сахарной свеклы, возделываемой в Беларуси.

Объекты исследований

В работе исследованы характеристики семян сахарной свеклы следующих сортов (рисунок 1): Ардамакс (Франция); Белполь (РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», Беларусь); Modus (Германия); Verdi (Бельгия); Casimira KWS (Германия); Яносик P₃ (Польша).

Для данных сортов определяли размерно-весовые характеристики, объемную массу семян, коэффициент внутреннего трения, коэффициент парусности и скорость витания.



а) Ардамакс; б) Casimira KWS; в) Белполь; г) Modus; д) Verdi; е) Яносик P₃

Рисунок 1. – Исследуемые сорта семян сахарной свеклы

Исследования проводили в период с 13 по 24 августа на лабораторном оборудовании кафедры «Сельскохозяйственные машины» УО «БГАТУ». Результаты исследований представлены ниже.

Результаты исследований

Определение размерно-весовых характеристик семян

Размерно-весовые характеристики семян сахарной свеклы определяли по следующей методике. Образец чистых семян насыпали на стол ровным слоем в форме квадрата; делили его по диагонали на четыре треугольника и из двух противоположных треугольников отсчитали две

пробы по 1000 семян. При этом семена брали подряд, без выбора и пропуска. Отобранные пробы семян взвешивали на технических весах с точностью до 0,01 г.

Размеры семян определяли при помощи решета. Семена, просеянные через решета, разделялись на классы по размеру. Сход с каждого решета взвешивали. Для проведения исследования брали семена в количестве 1000 штук.

Результаты измерений занесены в таблицу 1.

Таблица 1. – Размерно-весовые характеристики семян сахарной свеклы

№	Сорт семян	Кол-во, шт.	Вес 1000 семян, г	Вес одного семени, г	Размер и вес фракции, г		
					2–3 мм	3–4 мм	4–4,5 мм
1	Casimira KWR	1000	29,14	0,02914	7,06	20,99	1,09
2	Modus	1000	28,25	0,02825	21,37	6,79	0,09
3	Белполь	1000	26,66	0,02666	15,10	11,56	0,00
4	Verdi	1000	27,63	0,02763	10,84	16,55	0,24
5	Яносик Р ₃	1000	23,34	0,02334	5,75	16,56	1,03
6	Ардамакс	1000	28,17	0,02817	11,31	16,10	0,76

Как показали результаты исследований, для сортов Ардамакс, Casimira KWS, Verdi, Белполь и Modus средняя масса одного семени варьируется в пределах 0,026–0,029 г, для сорта Яносик Р₃ – 0,023 г.

Семена шести сортов имеют округлую форму диаметром 3–4,5 мм.

Определение объемной массы семян

Определение объемной массы семян производили при помощи литровой пурки (рисунок 2).

Объемную массу семян определяли в такой последовательности [1]:



1 – насыпной цилиндр; 2 – наполнитель;
3 – падающий груз; 4 – нож; 5 – мерник;
6 – футляр; 7 – опора

Рисунок 2. – Определение насыпной плотности семян

– в щель мерника 5 вставили нож 4, на который установили падающий груз 3, затем на мерник надели наполнитель 2;

– семена засыпали в цилиндр 1, установленный на наполнителе 2, и, нажимая на рычажок замка, открыли заслонку воронки; быстро, но без сотрясений, вынули нож 4 из мерника 5 – груз 3 и семена при этом упали в мерник;

– в щель снова вставили нож, отделяя избыточный слой насыпных семян;

– мерник с наполнителем сняли с подставки, наполнитель отделили, задержавшиеся на ноже семена выбросили и вынули нож из щели;

– мерник с семенами взвесили с точностью до 0,5 г.

Опыт проводили с пятикратной повторностью. Результаты взвешивания представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Объемная масса семян

№ опыта	Сорт семян	Средняя масса семян с мерником, г	Масса мерника, г	Средняя масса семян, г	Средняя объемная масса семян, г/см ³
1	Casimira KWR	1830,6	1375	455,6	0,456
2	Modus	1891,4	1375	516,4	0,516
3	Белполь	1835,4	1375	460,4	0,460
4	Verdi	1891,4	1375	516,4	0,516
5	Яносик Р ₃	1739,4	1375	364,4	0,364
6	Ардамакс	1847,4	1375	472,4	0,472

Объемную массу семян определяли делением массы семян в мернике на его объем (1000 см^3). Как показали результаты исследований, объемная масса гранулированных семян сахарной свеклы колеблется в интервале от 0,364 до 0,516 г/см^3 .

Определение коэффициента внутреннего трения

Определение коэффициента внутреннего трения выполняли с помощью прибора, состоящего из основания 1, воронки 5 с заслонкой 6, винтового механизма 3 и мерительной линейки 4 (рисунок 3).

Результаты измерений определяли в такой последовательности [2]:

- установили основание 1 в горизонтальной плоскости;
- опустили воронку 5 в нижнее положение и закрыли заслонку 6;
- заполнили воронку исследуемым сыпучим материалом;
- открыли заслонку и подняли воронку до образования конуса из исследуемого материала;
- закрыли заслонку и замеры:
 - высоту конуса H из сыпучего материала;
 - радиус основания конуса R_j в четырех радиальных направлениях.

Замеры провели с пятикратной повторностью.

Обработали результаты измерений и рассчитали:

- среднюю высоту конуса с учетом повторности измерений для каждого исследуемого материала:

$$\overline{H}_i = \frac{\sum_1^i H_i}{i},$$

где i – число повторности опыта для исследуемого материала;

- средний радиус основания конуса для каждой повторности:

$$\overline{R}_j = \frac{\sum_1^j R_j}{j};$$

- средний радиус основания конуса с учетом повторности замеров для каждого материала:

$$\overline{R}_i = \frac{\sum_1^i \overline{R}_j}{i};$$

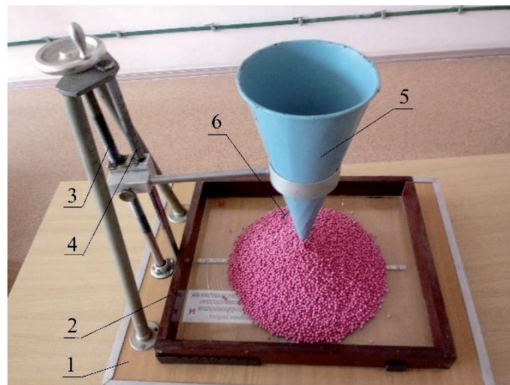
- коэффициент внутреннего трения:

$$f = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\overline{H}}{\overline{R}_i};$$

- угол внутреннего трения

$$\varphi = \operatorname{arctg} f.$$

Результаты обработки значений опытов представлены в таблице 3.



1 – основание; 2 – подставка;
3 – винтовой механизм; 4 – шкала отсчета;
5 – воронка; 6 – заслонка

Рисунок 3. – Схема прибора для определения углов естественного откоса

Таблица 3. – Коэффициент и угол внутреннего трения семян сахарной свеклы

Сорт свеклы	Средняя высота конуса $H_{ср.г}, мм$	Радиус основания конуса $R_{ср.г}, мм$	Коэфф. внутреннего трения, f_n	Угол внутреннего трения, φ_n
Casimira KWR	62,6	124,90	0,50	27
Modus	63,6	129,65	0,49	26
Белполь	62,8	127,30	0,49	26
Verdi	63,6	129,50	0,49	26
Яносик Р ₃	64,2	126,90	0,51	27
Ардамакс	63,4	125,90	0,50	27

Как видно из результатов исследований, коэффициент внутреннего трения для гранулированных семян сахарной свеклы находится в пределах 0,49–0,51.

Определение аэродинамических свойств семян

Критическую скорость семян определяли на парусном классификаторе, состоящем из вентилятора 1, всасывающей насадки 9, обечайки с сеткой 8, рабочей вертикальной трубы 7, конического отстойника 5 с затвором 6, трубопроводов 3, фильтра 4, электродвигателя 10 (рисунок 4, 5) [3].

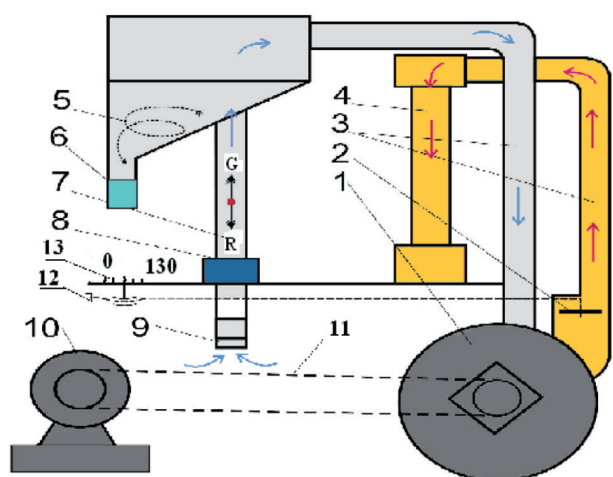
Для измерения давления воздушного потока использовали трубки Пито с дифференциальным манометром Testo 512. Трубки Пито с помощью резиновых шлангов соединены с манометром. Через центральное отверстие передается полное давление $H_{п.}$, а сквозь отверстия в боковых стенках трубки – статическое $H_{ст.}$. Манометр одновременно отображал давление и скорость потока.

Так как дражированные семена сахарной свеклы имеют круглую форму, то миделево сечение определяли, используя данные таблицы 1, по зависимости

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

где d – диаметр зерна, мм.

Приготовив навеску дражированных семян сахарной свеклы (2...3 г), высыпали ее на сетку обечайки классификатора. Установили минимальное число оборотов вентилятора при закрытой дроссельной заслонке. Включали классификатор и постепенно увеличивали скорость воздуш-



1 – вентилятор; 2 – заслонка; 3 – трубопровод; 4 – фильтр;
5 – конический отстойник; 6 – затвор; 7 – вертикальная
труба; 8 – обечайка с сеткой; 9 – всасывающая насадка;
10 – электродвигатель; 11 – клиноременный вариатор;
12 – маховик управления заслонкой; 13 – указатель
положения заслонки

Рисунок 4. – Схема парусного классификатора



Рисунок 5. – Определение коэффициента парусности и скорости витания

ного потока, открывая дроссельную заслонку до начала выделения легкой фракции семян сахарной свеклы. Показания микроманометра (P_{\min}) заносили в таблицу. Повышали скорость воздушного потока до тех пор, пока вся навеска не поднялась в стакан отстойника, одновременно занесли показания шкалы манометра в таблицу 4.

По результатам экспериментальных данных и расчетов определяли показатели, характеризующие аэродинамические свойства семян сахарной свеклы.

Критическая скорость

$$v_{kp} = v_g = \sqrt{\frac{2 \cdot p_0}{\gamma_g \cdot g}},$$

где v_g – скорость воздушного потока, м/с; p_0 – динамический напор, Па; γ_g – плотность воздуха, кг/м³ ($\gamma_g = 1,2$ кг/м³).

Коэффициент парусности

$$k_n = \frac{g}{V_{kp}^2},$$

где k_n – коэффициент парусности, м⁻¹; g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент сопротивления

$$k = \frac{k_n \cdot m_3}{\gamma_g \cdot S},$$

где m_3 – масса зерна, г; S – миделево сечение, мм²; γ_g – плотность воздуха, г/мм³ ($\gamma_g = 1,2 \cdot 10^{-3}$ г/мм³).

Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Аэродинамические свойства семян

Сорт семян	Среднее значение одного семени, г	Среднее динамическое давление $P_{\text{срmin}}$, кПа	Среднее динамическое давление $P_{\text{срmax}}$, кПа	Критическая скорость $V_{\text{крmin}}$, м/с	Критическая скорость $V_{\text{крmax}}$, м/с	Коэффициент парусности $k_{\text{нmin}}$, м ⁻¹	Коэффициент парусности $k_{\text{нmax}}$, м ⁻¹	Коэффициент сопротивления, k_{min}	Коэффициент сопротивления, k_{max}
Casimira KWR	0,0292	0,076	0,116	3,60	4,44	0,76	0,50	1,49	0,96
Modus	0,0280	0,078	0,124	3,64	4,59	0,74	0,46	1,36	0,86
Белполь	0,0272	0,074	0,122	3,55	4,56	0,78	0,47	1,39	0,85
Verdi	0,0278	0,080	0,124	3,69	4,59	0,72	0,46	1,33	0,86
Яносик Р ₃	0,0230	0,066	0,108	3,35	4,29	0,87	0,53	1,34	0,81
Ардамакс	0,0285	0,078	0,122	3,64	4,56	0,74	0,47	1,37	0,89

Как показали результаты исследований, для сортов Ардамакс, Casimira KWS, Verdi, Белполь и Modus, для которых средняя масса одного семени варьируется в пределах 0,026–0,029 г, коэффициент парусности (максимальное его значение) находится в пределах 0,46–0,50, а скорость витания (максимальная) – 4,44–4,56, для сорта Яносик Р₃ с массой одного семени 0,023 г коэффициент парусности – 0,53 и скорость витания – 4,29.

Закключение

Как показали результаты исследований, коэффициент внутреннего трения семян сахарной свеклы находится в пределах 0,49–0,51, а объемная масса колеблется в интервале от 0,364 до 0,516 г/см³. Для сортов Ардамакс, Casimira KWS, Verdi, Белполь и Modus, для которых средняя масса одного семени варьируется в пределах 0,026–0,029 г, коэффициент парусности (максимальное его значение) находится в пределах 0,46–0,50, а скорость витания (максимальная) – 4,44–4,56, для сорта Яносик Р₃ с массой одного семени 0,023 г коэффициент парусности – 0,53 и скорость витания – 4,29.

Литература

1. Определение зависимости нормы высева семян от параметров катушечного высевального аппарата: практикум по выполнению лабораторных работ / сост.: Г. А. Радишевский и [др.]. – Минск: БГАТУ, 2015. – 14 с.
2. Определение углов естественного откоса и коэффициентов внутреннего трения сыпучих сельскохозяйственных материалов и почв: практикум по выполнению лабораторных работ / сост.: Г. А. Радишевский [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2015. – 11 с.
3. Определение аэродинамических свойств семян сельскохозяйственных культур: практикум по выполнению лабораторных работ / сост.: Г. А. Радишевский [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2015. – 13 с.

УДК 631.312:631.51

Поступила в редакцию 01.10.2018

Received 01.10.2018

А. Н. Худоёров, Д. А. Абдуллаев, И. Абдимоминов, М. А. Юлдашева

*Андижанский филиал Ташкентского Государственного аграрного университета
г. Андижан, Республика Узбекистан*

*e-mail: AnvarjonXudoyorov@umail.uz.; Abdullaev@umail.uz; Ikromjon03@mail.ru;
YuldashevaMatluba@umail.uz*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЫХЛИТЕЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА

В статье приведены результаты исследований с целью обоснования геометрической формы рабочей поверхности рыхлителя комбинированного агрегата.

Ключевые слова: комбинированный агрегат, рыхлитель, рыхление, перпендикуляр, параметр, результаты, теоретические, экспериментальные, форма.

A. N. Hudoyorov, D. A. Abdullaev, I. Abdumominov, M. A. Yuldasheva

*Andijon branch of Tashkent state agrarian university
s. Andijon, the Republic of Uzbekistan*

e-mail: AnvarjonXudoyorov@umail.uz.; Abdullaev@umail.uz; Ikromjon03@mail.ru; YuldashevaMatluba@umail.uz

RESULT EXPERIMENTAL RESEARCH DEFINITION FORMS OF A WORKING SURFACE THE COMBINED UNIT

In the clause the results of the given researches on a substantiation the geometrical form friablings working surface of the combined unit are given.

Keywords: combined unit, iubrication, cultivation, perpendicular, parameters, result, theoretical, expetimental, forms.

Введение

Подготовка почвы под посев в настоящее время проводится в основном с применением традиционных технологий и технических средств, то есть сначала производится вспашка, боронование и малование, а затем нарезают гребни. Такая многоступенчатая обработка вызывает большие затраты труда, энергии и расход топлива, затягиваются сроки посева, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

В странах с развитым сельским хозяйством при подготовке почвы под посев хлопчатника и зерновых широко применяют безотвальный способ ее обработки, то есть обработку без применения плуга.

При безотвальной обработке по сравнению со вспашкой требуется в 1,5...2,0 раза меньше энергии и расхода топлива, улучшается качество обработки (за счет исключения образования неровностей, крупных комьев и глыб). Кроме того, машины и орудия для безотвальной обра-

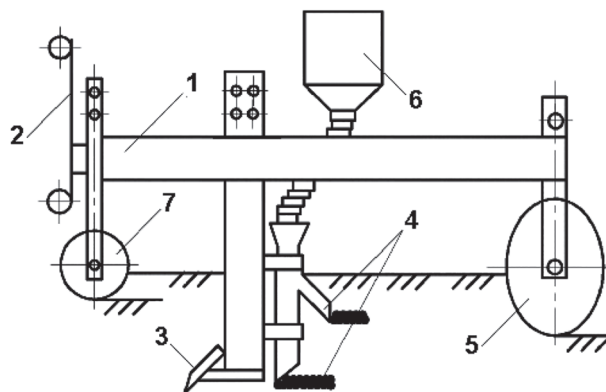
ботки почвы по сравнению с плугами имеют меньшую металлоемкость, удельное тяговое сопротивление, большую производительность, удобны в эксплуатации, на их базе можно создать широкозахватные и комбинированные агрегаты.

Основная часть

Нами разработан новый способ обработки почвы и техническое устройство для его реализации. Агрегат для подготовки почвы под посев хлопчатника выполняет за один проход полосное рыхление почвы, локальное внесение минеральных удобрений в два яруса и одновременное формирование гребней. Таким образом, поле готово к посеву уже осенью и нет необходимости в операциях внесения удобрений, отвальной вспашки, боронования, малования и нарезания гребней. Вместо всех этих операций весной проводится лишь одна – подправка гребней.

Агрегат за один проход разрыхляет дно прошлогодней поливной борозды на глубину 30–40 см, отваливает гряду в борозду, формирует новую гряду с внесением в нее в виде ленты минеральных удобрений в два яруса.

Предлагаемый агрегат [1, 2] состоит (рисунок 1) из рамы 1 с навеской 2, рыхлителя 3, тукового сошника 4; гребнеформирующего рабочего органа 5; бункера для минеральных удобрений 6 и опорных колес 7.



Как известно [3, 4], при перемещении рабочих органов с плоскими клиновидными формами почва сначала в перпендикулярном направлении в плоскости клина сжимается (сминается), а затем, когда возникающие в ней напряжения достигают критических пределов, происходит сдвиг или отрыв пласта по плоскости, наклоненной к направлению движения под углом. В результате от почвенного монолита отделяется призматическая глыба.

Если рабочая поверхность рабочего органа находится в продольно-вертикальной плоскости и имеет плоский вид (рисунок 2а), то пласт почвы при этом разрушается, сжимается и находится под влиянием других деформаций.

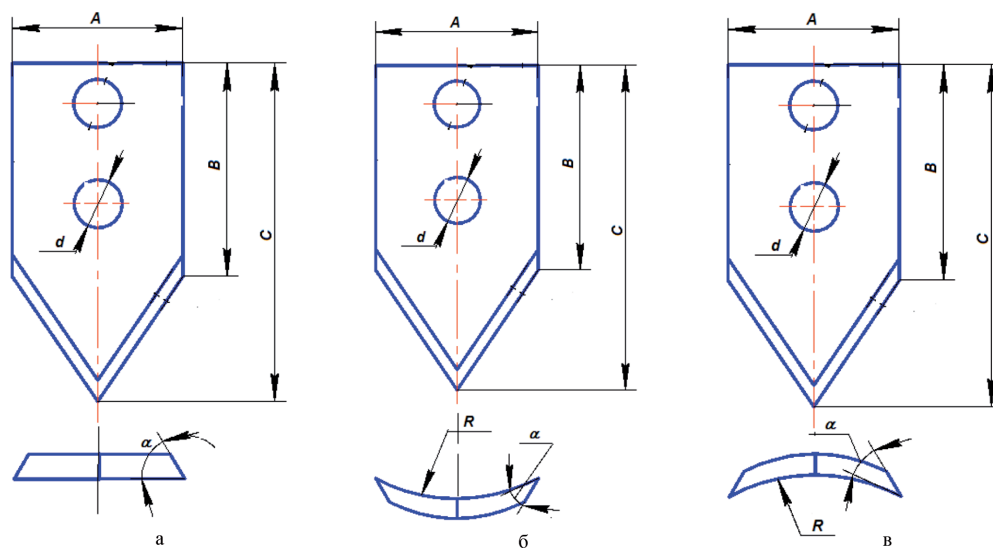
Если форма рабочей поверхности рыхлительной лапы выполнена вогнутой (рисунок 2б), то пласт сжимается в перпендикулярном и вертикальном направлениях. Это объясняется увеличением затрат энергии при обработке почвы.

При выпуклой форме рабочей поверхности рыхлительной лапы (рисунок 2в) пласт при сжатии в продольном направлении растягивается, это приводит к улучшению крошения почвы и уменьшению ее тягового сопротивления.

Исходя из приведенного выше, для качественной обработки почвы при минимальных затратах энергии форма рабочей поверхности рыхлительной лапы должна быть выпуклой.

На основании теоретических исследований были изготовлены и испытаны рыхлительные лапы плоской, вогнутой и выпуклой форм [3].

В исследованиях в зависимости от формы рабочих поверхностей рыхлительных лап изучали изменение качества крошения почвы, равномерность глубины ее обработки, а также глубину



$A = 140 \text{ мм}; B = 100 \text{ мм}; C = 180 \text{ мм}; d = 20 \text{ мм}; R = 240^\circ; \alpha = 30^\circ$

Рисунок 2. – Рыхлительная лапа с различными рабочими поверхностями: (а) плоской; (б) вогнутой; (в) выпуклой

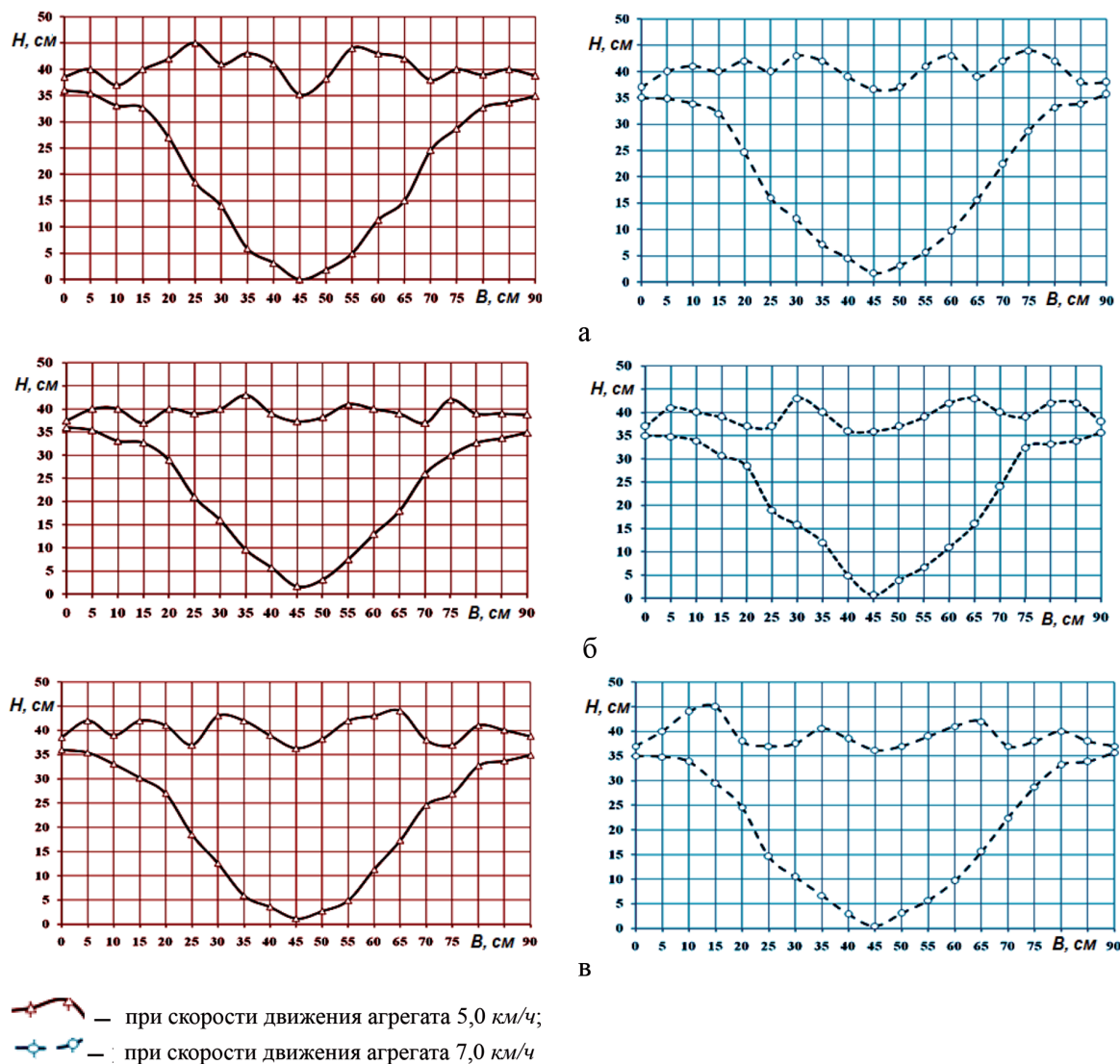


Рисунок 3. – Профили поперечного разреза разрыхленных зон почвы при обработке рыхлителями с рабочими поверхностями рабочих органов: (а) плоской; (б) вогнутой; (в) выпуклой

борозды с уплотненными стенками, ширину разрыхленной зоны и тяговое сопротивление рабочих органов. При этом изменяли форму рабочих поверхностей рыхлительной лапы. Остальные параметры рыхлительной лапы были постоянными: ширина рабочей поверхности – 180 мм, угол вхождения рыхлителя в почву – 25°, длина рыхлительной лапы – 150 мм. Исследования проводились при скоростях движения агрегата 5,0...7,0 км/ч при установленной глубине хода рабочих органов 35 см. Результаты исследований представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

Таким образом, результаты экспериментального исследования (таблица 1) подтвердили правильность теоретических выводов. Для обеспечения качественного рыхления почвы при минимальной глубине борозды с уплотненными стенками и наименьшими затратами энергии на рыхление почвы форма рабочей поверхности рыхлительной лапы должна быть выпуклой.

Как показали результаты теоретических исследований, при применении выпуклых рабочих поверхностей рыхлительной лапы пласт при сжатии в продольном направлении растягивается. Это приводит к улучшению крошения почвы и уменьшению тягового сопротивления агрегата.

Таблица 1. – Результаты сравнительных испытаний рыхлительной лапы с различными рабочими поверхностями

Форма рабочей поверхности рыхлительной лапы	Рабочая скорость агрегата, км/ч	Глубина обработки почвы, см		Качество крошения почвы, %. Фракции размерами, мм			Ширина разрыхленных зон, см		Тяговое сопротивление рыхлителя, кН	
		М _{ср.}	±σ	> 100	100–50	> 50	М _{ср.}	±σ	М _{ср.}	±σ
Плоская	5,0	36,2	1,08	17,47	7,40	75,13	68,4	1,35	11,46	2,46
	7,0	34,9	1,62	7,64	10,67	81,69	72,1	1,82	12,56	2,24
Вогнутая	5,0	37,7	1,21	13,50	10,10	76,40	64,5	1,28	11,63	1,98
	7,0	35,4	1,71	9,20	11,97	78,83	70,5	1,92	12,62	2,07
Выпуклая	5,0	35,7	1,19	10,20	9,85	79,84	70,9	1,53	10,41	2,23
	7,0	35,1	1,42	7,48	7,85	84,67	73,5	1,92	11,27	2,37

Результаты проведенных исследований показали, что повышение скорости движения агрегата приводит к увеличению тягового сопротивления рыхлителя и улучшает качество крошения почвы, то есть количество фракций размером более 100 мм уменьшается, а размером меньше 50 мм – увеличивается. Главным образом это связано с тем, что при повышении скорости движения агрегата увеличиваются влияние силы инерции почвы на рабочие органы машин и удар со стороны рабочих органов на почву. При повышении скорости движения агрегата с 5,0 км/ч до 7,0 км/ч тяговое сопротивление рыхлительной лапы с выпуклой поверхностью изменилось незначительно по сравнению с плоскими и вогнутыми рабочими органами.

Заключение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований подтверждают, что для качественной обработки почвы с минимальными затратами энергии необходимы рабочие органы с выпуклыми рабочими поверхностями.

Литература

1. Худоёров, А. Н. Комбинированный агрегат для минимальной обработки / А. Н. Худоёров // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – № 6. – С. 56–57.
2. Xudoyorov, A. N. Power-efficient method of tillage and its technology model / A. N. Xudoyorov, M. X. Mamadaliyev, M. A. Yuldasheva, R. X. Muradov // European science review. – Austria, 2017. – № 1–2. – P. 212–214.
3. Тухтакузиев, А. Пути экономии энергии при обработке почвы / А. Тухтакузиев, Б. Хушвактов, М. Мамадалиев // AGRO ILM – Ж. Сельское хозяйство Узбекистана – 2007. – № 3. – С. 44.

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 КАТУШЕЧНОГО ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В статье обоснованы конструктивно-технологические параметры и режимы работы катушечного дозирующего устройства для дифференцированного внесения минеральных удобрений.

Ключевые слова: высевальная катушка, диаграмма, дозирующее устройство, минеральные удобрения, рабочий орган, регулирование дозы, установка.

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 PARAMETERS OF COIL METERING DEVICE FOR VARIABLE RATE APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS

The article substantiates the design and technological parameters and operating modes of the coil dosing device for differentiated application of mineral fertilizers.

Keywords: seed coil, diagram, metering device, fertilizer, the working body, the regulation dose setting.

Введение

Освоение новых технологий в растениеводстве, предусматривающих дифференцированное внесение минеральных удобрений и известковых материалов с учетом ранее накопленных в почве питательных веществ, невозможно без разработки отечественных базовых машин с регулирующими дозаторами, приспособленными к их автоматическому управлению.

Выпускаемые в настоящее время промышленными предприятиями республики машины для внесения удобрений с центробежными дисковыми распределяющими рабочими органами (РУ-1000, РДУ-1,5, РУ-7000, РУ-3000, РДУ-8,5, МВУ-5), штанговые машины РШУ-12, МШВУ-18, РШУ-18, разработанные РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», нуждаются в постоянной оперативной настройке в зависимости от типа удобрений, требуемой дозы внесения. В них отсутствует возможность изменять дозу вносимых удобрений в процессе работы.

Оснащение этих машин дозирующими устройствами, управляемыми микропроцессорными электронными системами, позволит полностью автоматизировать процесс дифференцированного внесения удобрений.

При дифференцированном внесении удобрений учитывается внутрипольная вариабельность параметров плодородия и для обеспечения растений необходимым количеством питательных элементов приходится в широких пределах, от 10 до 140 кг действующего вещества на гектар, изменять дозы внесения, в связи с чем существенно возрастают требования к дозирующим системам машин.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись дозирующие устройства катушечного типа. Теоретические исследования проводились с использованием механико-математического моделирования и методов дифференциального и интегрального исчисления.

Результаты исследований

Для обоснования параметров дозирующего устройства необходимо знать диапазон изменения норм внесения доз удобрений по физической массе $D_{ф.м.мин}$, $D_{ф.м.мах}$ [1–2]. Исходя из заданного диапазона определяются секундная подача удобрений и основные технологические параметры высевающих устройств, такие как рабочий объем и частота вращения катушки.

Значения $D_{ф.м.мин}$, $D_{ф.м.мах}$ с учетом планируемой урожайности, предопределяются содержанием элементов питания в пахотном слое конкретного поля, их вариабельностью, и в большинстве случаев основные дозы находятся в пределах от 100 до 1000 кг/га, а подкормочные – от 20 до 150 кг/га [3–4]. Следовательно, $D_{ф.м.мах}$ в физическом весе достигает 1000 кг/га.

Исследование процесса высева катушечным аппаратом показало, что в его работе можно схематически различать три вида движения потока минеральных удобрений: самопроизвольное (свободное), принудительное и активное. Активное движение минеральных удобрений обуславливается перемещением их под действием импульса катушки [5]. Активный поток удобрений не предназначен непосредственно для внесения, но участвует в нем, присоединяется к принудительному высеву и играет весьма значительную роль в общем процессе. Так, например, при увеличении частоты вращения вала катушки до 50 мин⁻¹ объем активного слоя увеличивается [6]. Если частота вращения превысит 60 мин⁻¹, будет наблюдаться недостаток удобрений в зоне отбора удобрений катушкой и равномерность высева снизится.

Изучив опыт эксплуатации штанговых машин для внесения минеральных удобрений МШВУ-18 и РШУ-18, на которых установлены гидромоторы с червячным редуктором, обеспечивающие диапазон вращения от 10 до 35 мин⁻¹, а также литературные источники по катушечным высевающим устройствам, можно принять нижнюю частоту вращения на уровне 10 мин⁻¹, так как дальнейшее снижение частоты повлечет за собой ухудшение равномерности внесения минеральных удобрений.

Для оценки диапазона удельной производительности катушечного дозирующего устройства в зависимости от его частоты вращения при различных нормах внесения минеральных удобрений построим диаграмму (рисунок 1).

Принимаем следующие исходные данные: рабочая скорость движения соответствует максимально допустимой по агротехническим требованиям и равна 3,3 м/с, рабочая ширина захвата одной катушки составляет 25 см, максимальная доза вносимых минеральных удобрений – 1000

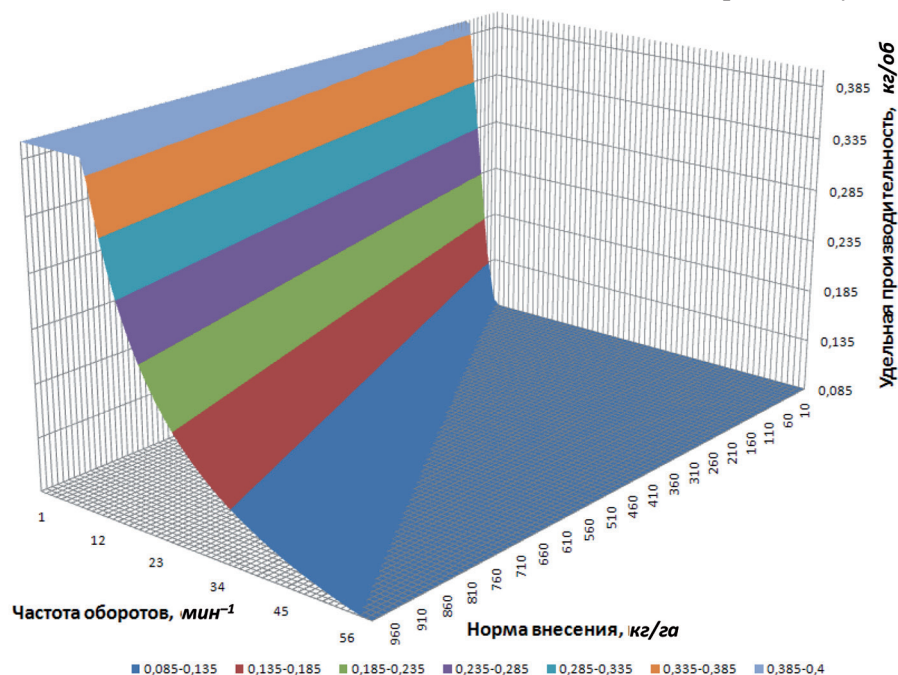
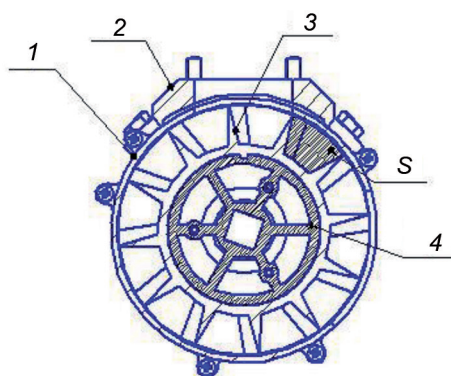


Рисунок 1. – Диаграмма зависимости удельной производительности катушечного высевающего аппарата от частоты вращения катушки при различных нормах внесения минеральных удобрений



1 – корпус блока подачи удобрений;
2 – кронштейн; 3 – гребень крыльчатки;
4 – основание крыльчатки с отверстием
под приводной вал; S – площадь
поперечного сечения желобка катушки
Рисунок 2. – Высевающая катушка

кг/га по физической массе.

На основе данных диаграммы (рисунок 1) определяем, что для обеспечения всего диапазона норм внесения минеральных удобрений наиболее подходящими являются катушки, обеспечивающие за один оборот высев материала массой от 0,06 до 0,1 кг. При внесении такими катушками малых доз минеральных удобрений – в пределах от 20 до 200 кг/га по физической массе, которые необходимо обеспечивать при применении технологии точного земледелия, частота вращения снижается ниже допустимой до 0,2...9 мин⁻¹.

Компенсировать снижение оборотов катушки можно путем применения катушечных высевальных устройств с изменяемой удельной производительностью. Такого изменения производительности можно достичь перекрытием части катушки заслонкой, что позволит уменьшить удельную производительность катушки, но повысить обороты

катушечного высевального аппарата до минимального уровня, обеспечивающего заданную равномерность.

Конструктивно катушка дозирующего устройства состоит из четырех секций и имеет 12 желобков. Ширина катушки составляет 6,5 см (рисунок 2).

Так как площадь поперечного сечения одного желобка прямо пропорционально зависит от удельной массы высеваемого материала за оборот катушки и обратно пропорционально – от ширины катушки и количества желобков, получим выражение:

$$S = \frac{M \cdot k}{l \cdot n \cdot p},$$

где l – ширина катушки, м; M – удельная масса высеваемого материала за оборот катушки, кг/об; k – коэффициент наполняемости желобков; p – плотность минеральных удобрений, кг/м³ (для аммиачной селитры равна 1,73 г/см³ = 1730 кг/м³); n – количество желобков катушки, шт.

Площадь поперечного сечения одного желобка будет равна:

$$S = \frac{0,1 \cdot 0,7}{0,065 \cdot 12 \cdot 1730} = 0,000052 \text{ м}^2 = 52 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, при максимальной норме внесения удобрений масса высеваемого материала за оборот катушки равна 0,1 кг и площадь поперечного сечения одного желобка будет составлять 52 мм².

Для данной катушки на рисунке 3 представлена графическая зависимость частоты вращения катушки от нормы внесения минеральных удобрений.

В результате проведенных расчетов установлено, что катушечный высевальный аппарат с удельной производительностью 0,1 кг за один оборот и площадью поперечного сечения желобка 58 мм² удовлетворяет требованиям по частоте вращения от 10 до 50 мин⁻¹ в диапазоне внесения минеральных удобрений от 200 до 1000 кг/га.

Для проведения экспериментальных исследований и подтверждения расчетов разработан и изготовлен макетный образец установки дифференцированного внесения минеральных удобрений (рисунок 4).

Макетный образец системы дифференцированного внесения минеральных удобрений смонтирован на раме 1, состоящей из труб прямоугольного сечения, на которой смонтированы все детали и узлы макетного образца. Образец состоит из бункера для удобрений 2 объемом 50 л, двух высевальных катушек 3 (ЖРВИ 304119.002), позволяющих дозировать количество высе-

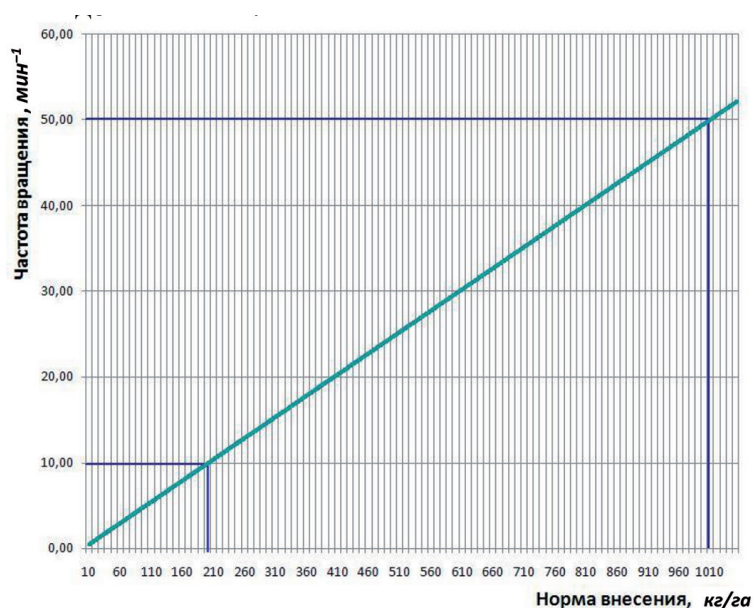
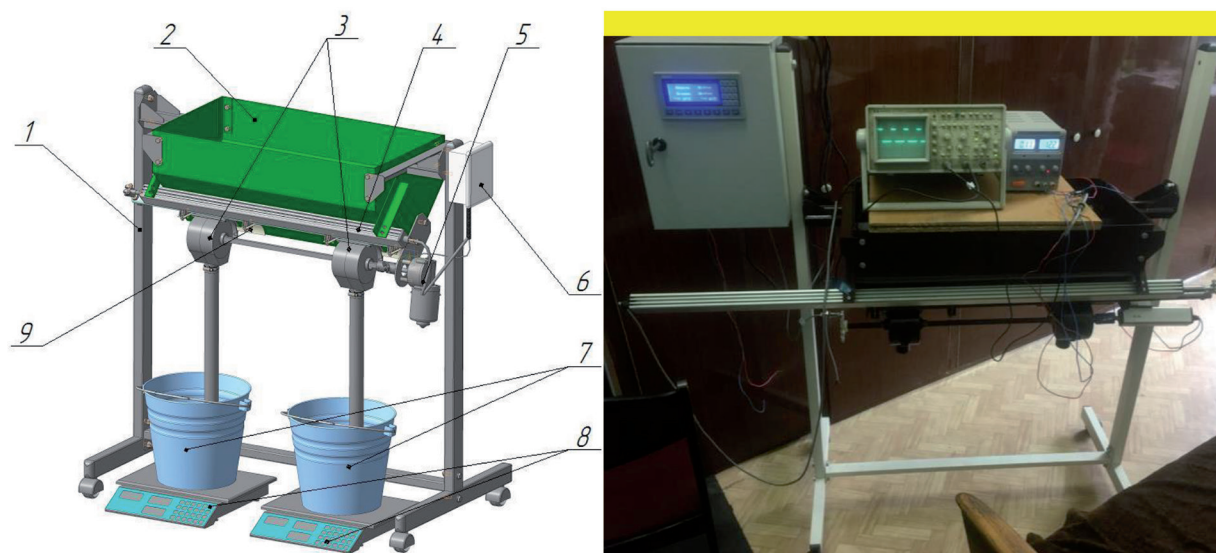


Рисунок 3. – Графическая зависимость частоты вращения катушки от нормы внесения минеральных удобрений



1 – рама; 2 – бункер для удобрений; 3 – высевающие катушки; 4 – электропривод заслонок;
5 – электропривод высевающих катушек; 6 – щиток распределительный; 7 – емкости для сбора удобрений;
8 – электронные весы; 9 – заслонка

Рисунок 4. – Общий вид макетного образца системы дифференцированного внесения минеральных удобрений

ваемых минеральных удобрений, электропривода высевающих катушек 5 на базе аккумуляторного винтовёрта SC60, позволяющего по сигналам, формируемым в блоке управления в зависимости от заданной нормы внесения минеральных удобрений, создавать необходимый крутящий момент и частоту вращения для обеспечения требуемой нормы высева, заслонок 9 для обеспечения изменения удельной производительности катушечного высевающего устройства путем перекрытия части катушки, электропривода заслонок 4, емкости для сбора удобрений 7, электронных весов 8 для взвешивания высеянной массы удобрений через катушечное дозирующее устройство и щитка распределительного 6, смонтированного в корпусе ЩМП-2 и состоящего из блока управления частотой вращения электродвигателем, панели оператора графической ИП320, программируемого логического контроллера ПЛК100-24.К-МП и двух индуктивных датчиков LA12M-50.4N4.U1.K, позволяющего формировать управляющие сигналы на электроприводы,

имитирующие реальные условия работы машин для внесения минеральных удобрений по карт-заданию.

Установка работает следующим образом: в бункер 2, установленный на раме 1, засыпаются минеральные удобрения. С распределительного щитка 6 подаются управляющие сигналы на электроприводы заслонки 4 и электродвигатель высевающих катушек 5. Сигналы, сформированные по расчетным алгоритмам в зависимости от необходимой нормы внесения минеральных удобрений, имитируют реальные условия работы машины для внесения минеральных удобрений по карт-заданию посредством изменения величины открытия заслонки 9 и частоты вращения катушечного высевающего устройства 3. Далее минеральные удобрения поступают в емкость для сбора минеральных удобрений 7, установленную на весах 8, и на электронном табло регистрируются данные об изменении массы собранных минеральных удобрений.

Разработана программа-методика экспериментальных исследований макетного образца, позволяющая оценить следующие показатели качества работы дозирующего рабочего органа при дифференцированном внесении минеральных удобрений: нестабильность дозы внесения минеральных удобрений на элементарном участке и время установления заданной дозы, имитируя реальные условия работы машины для внесения минеральных удобрений по карт-заданию при различных скоростях движения.

Параметром оптимизации качества технологического процесса принята производительность дозирующего устройства ($г/с$). В качестве изменяемых факторов, влияющих на показатель параметра оптимизации, выбраны: частота вращения катушечного аппарата ($мин^{-1}$), рабочий объем высевающей катушки ($см^3$) и величина открытия заслонки в процентах.

Заключение

В результате теоретических исследований предложен катушечный высевающий аппарат для высокоточного дозирования минеральных удобрений в технологии точного земледелия, обеспечивающий норму внесения от 200 до 1000 $кг/га$ по физической массе в диапазоне вращения катушки от 10 до 50 $мин^{-1}$ и обладающий следующими конструктивными параметрами: удельная производительность составляет от 0,09 до 0,25 $кг/об$, количество желобков – 12, площадь поперечного сечения одного желобка $S = 104 мм^2$.

Для внесения малых доз минеральных удобрений, в пределах от 20 до 200 $кг/га$, которые необходимо обеспечивать при применении технологии точного земледелия, следует применять катушечные высевающие устройства с изменяемой удельной производительностью. Изменить производительность можно путем перекрытия части катушки заслонкой, что позволит уменьшить рабочую длину и, соответственно, удельную производительность катушки, не уменьшая обороты катушечного высевающего аппарата ниже минимального уровня, обеспечивающего заданную равномерность.

Проведение экспериментов на разработанном макетном образце установки дифференцированного внесения минеральных удобрений по программе-методике экспериментальных исследований позволят оценить следующие показатели качества работы дозирующего рабочего органа: нестабильность дозы внесения минеральных удобрений на элементарном участке и время установления заданной дозы, имитируя реальные условия работы машины для внесения минеральных удобрений по карт-заданию при различных скоростях движения.

Литература

1. Батурин, В. А. Обоснование параметров высевающей системы для припосевного дифференцированного внесения минеральных удобрений: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. А. Батурин. – М., 2012. – 193 с.
2. Степук, Л. Я. Технические, экономические и организационные аспекты дифференцированного внесения удобрений в системе точного земледелия / Л. Я. Степук, В. Р. Петровец, Т. Ф. Персикова // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 67–78.
3. Белинский, А. В. Разработка теории и технических средств для поверхностного внесения удобрений и мелиорантов: дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Белинский. – Казань, 2005. – 398 с.

4. Забродин, В. П. Контроль и управление процессами внесения минеральных удобрений / В. П. Забродин. – Ростов н/Д: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2003. – 124 с.
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 изд. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
6. Нукешев, С. О. Катушечно-штифтовый туковывсевающий аппарат / С. О. Нукешев, С. К. Тойгамбаев, Н. Н. Романюк, А. М. Сугирбай // Теоретические и практические вопросы современной науки: сб. науч. работ 7 науч. конф. ЕНО / Евразийское научное объединение. – № 7. – М., 2015. – С. 24–27.

УДК 631.363

Поступила в редакцию 16.07.2018
Received 16.07.2018

Л. Я. Степук¹, В. Р. Петровец², Н. Д. Лепешкин¹

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by

²УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Республика Беларусь
email: petrovec_vr@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ БУНКЕРОВ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ДОЗИРОВАНИЯ

Приведены методики расчета вместимости бункеров-накопителей исходных компонентов, наддозаторных бункеров, бункеров-накопителей готовой продукции, а также специализированных бункеров, выполняющих не только роль накопителя компонента, но и роль емкости, в которой происходят процессы, изменяющие свойства того же компонента.

Ключевые слова: кормоцех, поточная линия дозирования, вместимость бункеров, расчет.

L. J. Stepuk¹, V. R. Petrovec², N. D. Lepeschkin³

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by

²Educational Institution «Belarusian State Agricultural Academy»

Gorki, Republic of Belarus
email: petrovec_vr@mail.ru

JUSTIFICATION OF CAPACITY BUNKERS OF STREAMING DOSE LINES

The methods for calculating the capacity of storage bunkers of initial components, over-hopper bins, storage hoppers of finished products, as well as specialized bins that fulfill not only the role of the component storage ring, but also the role of the capacity in which processes that change the properties of the same component occur.

Keywords: feeder, flow dosing line, hopper capacity, calculation.

Введение

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» на протяжении многих лет выполняло и продолжает выполнять различные комплексные задания государственных научно-технических программ республиканского уровня и программ Союзного государства, конечной целью которых является разработка технологий и комплектов оборудования получения полидисперсных сельскохозяйственных материалов. Достаточно назвать семейство комплектов оборудования кормоцехов КОРК для производства рассыпных кормосмесей для различных половозрастных групп крупного рогатого скота и овец, приготовления полнорационных комбикормов для животных, ценных пород рыб и пушных зверей в условиях сельскохозяйственных предприятий, комплексных минеральных и концентрированных протеиновых добавок с использованием местного сырья.

Составляют поточные технологические линии цехов по производству многокомпонентных смесей, максимально используя серийно выпускаемое оборудование. Проектирование новых технологических линий предполагает включение отдельных оригинальных, вновь созданных изделий, предназначенных для выполнения конкретной операции.

В любом случае проектирование технологических линий по приготовлению полидисперсных сельскохозяйственных материалов должно базироваться на знаниях конструктивных особенностей и принципа работы прежде всего дозирующих устройств, питателей, конвейеров, и с учетом этого в обязательном порядке должно обосновываться их взаимное расположение друг относительно друга как по вертикали, так и по горизонтали (в плане). Этот вопрос нами был рассмотрен и опубликован в [1].

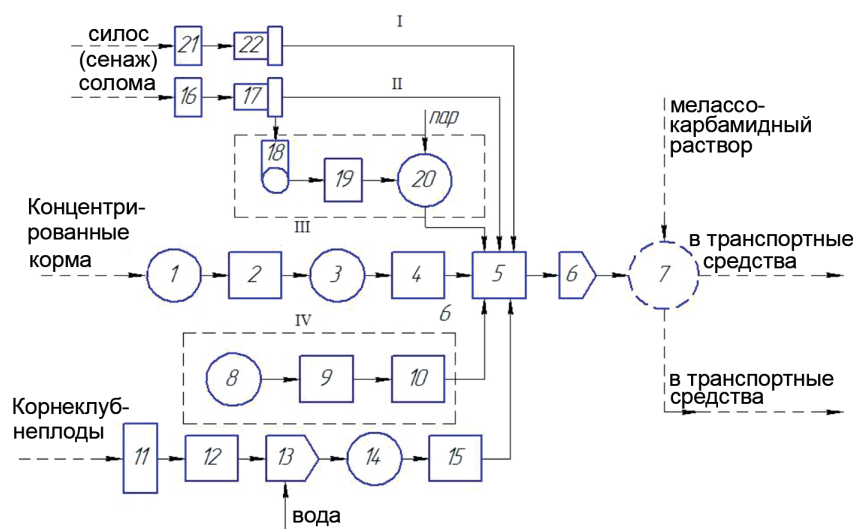
Не менее актуальным является вопрос обоснования рациональной вместимости бункеров поточных линий дозирования. К настоящему времени обобщенного материала по научному обоснованию вместимости всех типов бункеров, применяемых в поточных линиях дозирования (бункеры-накопители исходных компонентов, оперативные бункеры дозаторов, бункеры-накопители готовой продукции и др.) в специальной литературе не обнаружено. Цель данной публикации – устранить имеющийся пробел.

Важнейшее условие обеспечения непрерывной стабильной работы различных поточных технологических линий и графика выдачи качественной готовой продукции – правильный расчет и выбор параметров всех технологических бункеров и в первую очередь их объема.

Рассмотрим данный вопрос на примере комплекта оборудования рассыпных кормосмесей кормоцеха КОРК-15-5, представляющего собой многопоточную технологическую линию со сходящимися потоками подачи концентрированных кормов, соломы, силоса или сенажа, корнеклубнеплодов, воды, пара и мелассо-карбамидного раствора (рисунок 1). Линии имеют гибкую связь между элементами и работают без резервирования.

Вместимость бункеров исходного сырья

Разнообразие видов, физико-механических свойств и химического состава сырья, хранящегося на производственном предприятии, обуславливает большое количество типов складских сооружений. Наиболее совершенными для хранения насыпных материалов являются склады



I – линия силоса (сенажа); II – линия соломы; III – линия концентрированных кормов; IV – линия корнеклубнеплодов

1, 8 – бункеры-накопители концентрированных кормов; 2, 10, 12 – транспортеры; 3, 14 – регулирующие бункеры дозаторов; 4, 9, 15 – дозаторы; 5 – сборный транспортер; 6 – смеситель; 7 – бункер-накопитель готовой продукции; 11 – накопитель-питатель корнеклубнеплодов; 13 – измельчитель корнеклубнеплодов; 16, 21 – накопители-питатели соломы и сенажа; 17, 22 – транспортеры-дозаторы; 18 – измельчитель соломы; 19 – реактор; 20 – бункер для термообработки соломы

Рисунок 1. – Структурная схема поточной линии приготовления кормовых смесей на базе комплекта КОРК-15-5

бункерного типа. Они позволяют полностью механизировать процесс загрузки и выгрузки сырья, занимают меньше места, обеспечивают возможность хранения продукта высокой насыпью, предупреждают смешивание материала; кроме того, они дешевле складов амбарного типа. При строительстве таких хранилищ используются индивидуальные методы, широко применяются детали и элементы заводского изготовления.

Исходными данными для расчета вместимости складов бункерного типа служат проектная производительность предприятия, установленный ассортимент кормов и принятая схема технологического процесса.

Объем хранилища бункерного типа V_X (m^3):

$$V_X = \frac{kQn}{\gamma\varphi_3},$$

где k – коэффициент, учитывающий долю того или иного компонента в смеси; Q – суточная производительность предприятия, m ; n – период, на который рассчитан запас сырья, сут.; γ – плотность сырья, m/m^3 ; φ_3 – расчетный коэффициент заполнения бункера.

Средние расчетные значения коэффициента k для некоторых видов сырья следующие: зерно – 0,8; отруби – 0,08; травяная мука – 0,04; жмыхи (шрот) – 0,05; соль – 0,01 [2].

Общий объем хранилища определяют как сумму объемов для отдельных компонентов.

Из условий быстрой окупаемости капитальных вложений и сохранности продукта целесообразно строить сблокированные хранилища и накопители с запасом: корнеплодов – на полторы нормы месячного расхода, концентратов – на три-пять норм суточного потребления и грубых кормов – в пределах двух норм суточного расхода. Силос и жом желательно подавать в накопители-питатели непосредственно из хранилищ стационарными средствами.

Суточная потребность в кормах определяется по формулам.

Потребная вместимость (m^3) бункеров исходного сырья, устанавливаемых в технологических линиях дозирования [3]

$$V = \frac{Qt}{n'\gamma\varphi_3 \cdot 60}, \quad (1)$$

где Q – максимальная производительность машины или группы машин, установленных после бункера-накопителя, $m/ч$; t – среднее время простоя машины или группы машин, установленных до бункера-накопителя, $ч$; n' – число параллельно работающих машин.

Расчет объема регулирующих наддозаторных бункеров

Регулирующие бункеры дозирующих устройств предназначены для накопления и хранения минимального объема корма, необходимого для обеспечения непрерывной работы технологической линии и сглаживания неравномерности потока материала, подаваемого загрузочными устройствами. Неправильно выбранный объем бункера в случае несогласованности графиков поступления и выдачи материала может привести к нарушению ритма поточной технологической линии и к снижению качества конечного продукта. Заниженный объем не обеспечивает непрерывную подачу материала на следующие участки, а завышенный приведет к удорожанию дозирующей установки, вызовет увеличение размеров строительной части цеха. Поэтому вопрос выбора объема наддозаторного бункера является не только технической, но и экономической задачей.

Выбор объема бункера зависит от места расположения дозирующей установки по отношению к остальному технологическому оборудованию линии. В сельскохозяйственном производстве в настоящее время действуют технологические линии дозирования с расположением дозирующей установки по двум схемам: 1) в стороне от линии сбора и смешивания исходных компонентов; 2) над сборным конвейером.

В первом случае бункер выполняет одновременно и роль накопителя исходного сырья. Необходимый объем определяется по формуле (1).

Оптимальный объем бункера должен обеспечить минимум приведенных затрат при функционировании данного звена технологической линии. Приведенные затраты в этом случае определяют по общепринятой методике.

Объем бункера зависит от производительности и типа поточной линии, формы организации труда, допустимой продолжительности периода хранения корма.

Объем регулирующего бункера в поточной технологической линии дозирования материала может быть различным. Это различие обусловлено интенсивностью подачи корма в бункер и выдачи из него.

В общем случае известны три варианта [4, 5]: 1) интенсивность загрузки бункера больше интенсивности расхода ($g_n > g_p$); 2) интенсивность загрузки бункера и расхода примерно равны ($g_n \approx g_p$); 3) интенсивность загрузки бункера меньше интенсивности расхода ($g_n < g_p$).

Основным требованием при составлении поточных технологических линий является увязка всего оборудования по производительности. Это значит, что производительность предыдущей машины должна быть равна производительности последующей. Однако такое условие не всегда может быть выполнено при составлении поточных линий дозирования материалов, так как производительность дозатора изменяется в широких пределах в зависимости от рациона, а также из-за отсутствия машин необходимой производительности. Например, при составлении линии дозирования корнеклубнеплодов в кормоцехе на базе оборудования КОРК-15, производительность которого 15 т/ч, используют измельчитель ИКМ-5, производительность которого достигает 7 т/ч, а максимальное количество корнеклубнеплодов, вводимых в кормосмесь, согласно данным зоотехнической науки, составляет 30 %, то есть максимальная производительность дозатора корнеклубнеплодов будет равна 4,5 т/ч. Следовательно, имеем вариант $g_n > g_p$. В этом случае объем продукта на одно кормление пройдет через участок подачи (измельчающую машину) за меньшее время, чем через участок выдачи (дозатор). При таком условии необходимая минимальная вместимость регулирующего бункера

$$V_{b_{\min}} = V_k - V_{\phi}, \quad (2)$$

где $V_k = M_n / Z_k \gamma$ – объем компонента, необходимого на одно кормление, м³; $V_{\phi} = g_n t_n$ – объем компонента, проходящий через дозатор за время рабочего цикла приготовления смеси, на одно кормление, м³; M_n – суточный расход корма (компонента), определяемый по формулам, т; Z_k – кратность кормления; $g_n = Q_g / \gamma$ – интенсивность расхода, м³/ч; $t_n = M_n / Q_n Z_k$ – продолжительность приготовления кормовой смеси на одно кормление, ч; Q_g , Q_n – производительность дозатора и подающей машины, т/ч.

Подставив значения V_k и V_{ϕ} в равенство (2), получим:

$$V_{\phi} = \frac{M_n}{Z_k \gamma} \left(1 - \frac{Q_g}{Q_n} \right). \quad (3)$$

Производительность дозатора зависит от фактической производительности цеха Q_{ϕ} , общего количества кормосмеси на одно кормление $G_{k.c.}$ и количества компонента G_k , вводимого в кормосмесь:

$$Q_g = \frac{G_k}{G_{k.c.}} Q_{\phi}. \quad (4)$$

Фактическая сменная производительность цеха Q_{ϕ} зависит от расчетной, количества приготовляемых рационов, числа операторов и определяется по следующей схеме:

$$Q_{\phi} = \frac{Q_p}{\eta_N}, \quad (5)$$

где Q_p – расчетная суточная производительность цеха, т; η_N – коэффициент снижения производительности на переналадке дозаторов, связанный с изменением кормосмеси.

В свою очередь,

$$Q_p = T \cdot \eta_p Q, \quad (6)$$

где T – продолжительность работы цеха в сутки, ч; η_p – коэффициент использования рабочего времени смены; Q – номинальная производительность цеха, установленная исходя из паспортных показателей оборудования, при постоянном рационе (без переналадки дозаторов) за час чистого времени.

Коэффициент

$$\eta_N = \frac{T}{T - t_{\Sigma} P_n},$$

где t_{Σ} – суммарное время переналадки дозаторов, ч; P_n – количество переналадок в смену.

Так как

$$t_{\Sigma} = \frac{t_g \cdot n_g}{m}, \text{ а } P_n = Z_k \cdot n_p,$$

где t_g – время переналадки одного дозатора, ч; n_g – количество дозаторов; Z_k – количество кормлений в сутки n_p ; – количество рационов; m – количество операторов,

то

$$\eta_N = \frac{T}{T - Z_k n_p \frac{t_g \cdot n_g}{m}}. \quad (7)$$

Подставляя значения Q_p и η_N по формулам соответственно (6) и (7) в равенство (5), получаем:

$$Q_{\phi} = Q \cdot \eta_p \left(T - Z_k n_p \frac{t_g n_g}{m} \right). \quad (8)$$

Второй вариант ($g_n \approx g_p$) иногда имеет место в технологических линиях, работающих в постоянном режиме и состоящих из оборудования со средней производительностью на загрузке бункера, примерно равной средней производительности дозатора. Этот вариант может быть также при последовательной работе двух дозаторов, один из которых выполняет функции питателя и грубо дозирует материал, а второй – дозирует более точно. Здесь бункер дозатора служит как бы демпфером, сглаживающим неравномерность подачи материала.

Отклонения производительности питателя по массе или объему от среднего значения, как известно, носят случайный характер и распределяются по нормальному закону. Поэтому объем бункера может быть определен исходя из анализа отклонений, получаемых путем отбора проб.

На практике для подачи материала в бункеры применяют чаще всего скребковые или прутковые транспортеры. Работа этих устройств характеризуется дискретной (порциями) подачей материала по времени. Интервал подачи отдельных порций зависит от количества скребков (прутков), их линейной скорости и коэффициента заполнения межскребкового объема.

Дисперсия подачи материала такими транспортерами в бункер дозатора

$$D_{\Sigma n} = \frac{T_y}{\tau} D_n, \quad (9)$$

где T_y – время рабочего цикла линии (машины), ч; τ – время подачи порции материала одним скребком, ч; D_n – дисперсия подачи.

$$D_n = \frac{v^2}{10^4} m_n^2, \quad (10)$$

где m_n – средняя масса порции материала, подаваемого одним скребком, кг;

$$m_n = \frac{G_k}{T_y} \tau, \quad (11)$$

где G_k – количество компонента, перерабатываемого за рабочий цикл линии (машины), т; v – коэффициент вариации отдельных порций.

Подставляя выражение (11) в равенство (10), а затем в (9), получим

$$D_{\Sigma n} = \frac{v^2 \tau}{10^4 |T_u|} G_k^2.$$

Среднее квадратическое отклонение всей суммы массы порций

$$\sigma_{\Sigma n} = \sqrt{D_{\Sigma n}} = \frac{v}{100} G_k \sqrt{\frac{\tau}{T_u}}.$$

Амплитуда колебаний в интервале $\pm 3\sigma_{\Sigma n}$

$$A_{\Sigma n} = 6\sigma_{\Sigma n} = 0,06v G_k \sqrt{\frac{\tau}{T_u}},$$

а объем бункера определится из следующего выражения:

$$V_{\delta} = 0,06v \frac{G_k}{\gamma} \sqrt{\frac{\tau}{T_u}}. \quad (12)$$

Если подача материала в бункер дозатора задана непрерывной функцией времени (например, подача осуществляется ленточным транспортером-питателем), дисперсия отдельных порций

$$D_n = 2 \int_0^{\tau} (\tau - t_k) k_x(t) dt,$$

где t_k – интервал корреляции; $k_x(t)$ – корреляционная функция подачи.

Дальнейшая последовательность определения объема регулирующего бункера аналогична приведенной.

Однако определение вместимости наддозаторного бункера по формуле (12) будет достаточно точным при условии равенства средней интенсивности подачи и расхода, что осуществить практически для длительного процесса совместной работы питателя и дозатора не представляется возможным. В этом случае согласование работы питателя и дозатора должно осуществляться с помощью дополнительных механических устройств с элементами автоматики.

Для третьего варианта ($g_n < g_p$), следуя аналогичным первому варианту рассуждениям, получим формулу минимального геометрического объема бункера:

$$V_{\delta} = \frac{M_n}{Z_k \gamma} \left(1 - \frac{Q_n}{Q_g} \right).$$

Методика расчета объема накопительных бункеров готовой продукции

В сельскохозяйственном производстве используются поточные технологические линии, преимущество которых по сравнению с дискретными: более высокая производительность, ниже удельная металло- и энергоемкость оборудования, меньше габариты, более компактная строительная часть.

Нормальное функционирование поточных технологических линий зависит от согласования потоков кормов как на входе, так и на выходе. Их объемы обусловлены массой корма, обрабатываемого за цикл непрерывной работы линии, соотношением производительности потоков, статическими характеристиками и другими факторами.

Наличие накопительных бункеров готовой продукции – необходимое условие работы технологической линии по непрерывному циклу. Однако в ряде технологических линий бункеры-накопители готовой продукции не предусматриваются. Например, они отсутствуют в кормоцехах КОРК-15, КУ-2, КЦК-5 по приготовлению рассыпных кормосмесей для КРС и овец. Проектировщики предполагают, что непрерывность работы линии будет обеспечена путем ритмичной подачи транспортных или кормораздаточных мобильных средств. Допустим, что такое условие будет соблюдаться, хотя на практике это маловероятно. Вместе с тем на отъезд загружаемого

транспортного средства и на подъезд порожнего требуется какое-то время. В данный промежуток поточная технологическая линия, работающая с большой производительностью, выдает готовый продукт на землю, поэтому оператор, как правило, выключает оборудование. При этом нарушается не только непрерывность, но и установившийся режим, что отрицательно сказывается на самом оборудовании и на качестве продукции.

Объем накопительного бункера готовой продукции обосновывают исходя из экспертных оценок. Критерием величины объема является принцип «незаполнения» бункера. В результате закладывают в проект такой полезный объем, который в любых условиях гарантирует выполнение этого принципа и, более того, обеспечивает некоторый резерв.

Увеличенный объем накопительного бункера требует более энергоемкого транспортера, его сооружение и ремонт обходятся дороже по сравнению с малым бункером. Заниженный объем приводит к его переполнению, забиванию оборудования и потерям корма.

Предположим, что известны фактическое время загрузки транспортных средств, работающих на отвозке готовой продукции, а также интенсивность подачи транспорта.

Чтобы избежать непроизводительного простоя первого транспортного средства, подошедшего к бункеру, необходимо иметь некоторый минимальный запас корма в бункере. Этот запас должен быть несколько меньше объема кузова машины, так как во время загрузки цех работает с производительностью, равной часовой производительности бункера.

Введем следующие обозначения: V_k – объем кузова транспортного средства, m^3 ; V_{\min} – минимальный начальный запас материала в бункере, m^3 ; $Q_{k,u}$ – средняя интенсивность поступления материала в бункер (производительность цеха), $m^3/ч$; t_3 – время загрузки транспортного средства из бункера, $ч$.

Объем корма в кузове машины после загрузки состоит из двух частей: минимального начального объема $0 < V_{\min} < V_k$ в бункере и того количества, которое добавится за время загрузки в результате работы участка приготовления с интенсивностью

$$V_k = V_{\min} + Q_{k,u} \cdot t_3, \quad (13)$$

откуда минимальный запас корма в бункере

$$V_{\min} = V_k - Q_{k,u} \cdot t_3.$$

При этом подразумевается, что интенсивность выгрузки корма из бункера в машину равна или больше интенсивности поступления корма в бункер.

Определим частоту подъезда λ транспортных средств к бункеру таким образом, чтобы на конечном промежутке времени можно было реализовать стремление к «незаполнению» бункера. Это означает, что корм, поступающий в бункер с интенсивностью $Q_{k,u}$, должен выгружаться из него в среднем с таким же расходом. Поскольку объем кузова машины ограничен, к бункеру надо подавать вполне определенное количество транспортных средств в единицу времени.

Это условие формально запишется следующим образом:

$$Q_{k,u} = \lambda V_k = \lambda (V_{\min} + Q_{k,u} \cdot t_3),$$

откуда

$$\lambda = \frac{Q_{k,u}}{V_{\min} + Q_{k,u} \cdot t_3}. \quad (14)$$

Следует подчеркнуть, что принцип «незаполнения» бункера легко распространяется и на бункер, в котором уже есть некоторый объем корма, то есть когда $V_0 \neq 0$. Этот принцип остается в силе для любого незаполненного объема $V - V_0$ бункера. Здесь V – его полезный объем.

Согласно формуле (14), практически можно влиять только на величину λ , поскольку интенсивность подачи корма в бункер и объем кузова транспортного средства – величины постоянные (в конкретных условиях).

Увеличение численного значения λ по сравнению с рассчитанным по формуле (14) приведет к очереди машин у бункера, а уменьшение численного значения λ – к переполнению бункера. Однако это не означает, что колебание λ в ту или в другую сторону недопустимо. Уменьшение численного значения λ возможно в течение некоторого промежутка времени, причем этот максимальный промежуток, который мы обозначим τ_1 , тем короче, чем больше соотношение $\frac{Q_{k.u.}}{V - V_0}$, то есть справедливо равенство

$$\frac{1}{\tau_1} = \frac{Q_{k.u.}}{V - V_0},$$

откуда

$$V = Q_{k.u.} \tau_1 + V_0. \quad (15)$$

Начальный запас корма в бункере может быть равным нулю. Однако с целью сокращения времени загрузки транспортного средства желательно обеспечить некоторый минимальный запас. Величина запаса может быть определена из уравнения (13). С учетом этого уравнения соотношение (15) будет выглядеть следующим образом:

$$V = Q_{k.u.} (\tau_1 - t_z) + V_k. \quad (16)$$

По формуле (16) и надо рассчитать объем накопительного бункера. Но если входящие в формулу величины $Q_{k.u.}$, t_z , V_k практически легко найти для каждого конкретного случая, то величина τ_1 носит случайный характер. Для ее определения необходимо составить предварительную выборку из множества чисел, характеризующих интервал времени между двумя последовательными подходами транспортных средств к бункеру в течение длительного периода, затем найти по этой выборке среднее арифметическое τ_1 , среднее квадратическое отклонение σ и подставить в уравнение (16) вместо τ_1 выражение $\tau_1 \pm 3\sigma$.

Попадание в интервал $\tau_1 \pm 3\sigma$ гарантировано с надежностью, равной $P = 0,9973$. При этом имеется в виду, что дисперсия случайной величины $Q_{k.u.}$ существенно меньше дисперсии случайной величины τ_1 .

Правило трех сигм приемлемо до тех пор, пока дополнительные затраты, связанные с перестраховкой, сравнительно невелики, что имеет место при проектировании накопительных бункеров сельскохозяйственных поточных технологических линий.

Следует подчеркнуть, что нас интересует не просто выход значений случайной величины из заданного доверительного интервала, а выход только в одну сторону, что должно интерпретироваться как переполнение бункера.

Для определения минимально возможного доверительного интервала строят кривую нормального распределения (рисунок 2):

$$P(\tau_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{(\tau_1 - \tau)^2 / 2\sigma^2}.$$

Незаштрихованная часть графика – это вероятность попадания в трехсигмовый или какой-либо другой заданный интервал. Заштрихованные участки – это вероятность выхода за пределы интересующего нас интервала. Если незаштрихованная часть рисунка – графическое изображение вероятности P , то каждый из незаштрихованных участков – это графическое изображение вероятности $(1 - P)/2$, а сумма $(1 - P)/2 + P + (1 - P)/2$ – площадь под всей кривой. Поскольку нас интересует возможность переполнения бункера, соответствующая вероятность равна $\frac{1 - P}{2}$.

Если оценку среднего квадратического отклонения обозначить S , для доверительного интервала $3S$ надежность при числе элементов в выборке, равном 50, составит 0,996, а не 0,9973. Для доверительного интервала $2S$ при тех же условиях $P = 0,995$, а вероятность риска, который нас интересует,

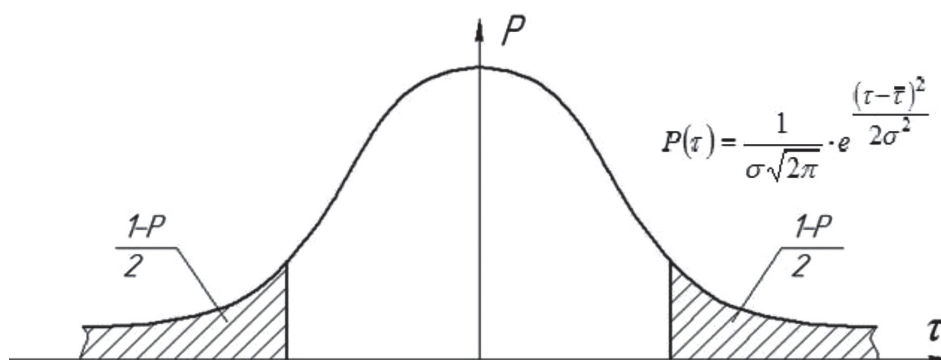


Рисунок 2. – К определению минимально возможного доверительного интервала

$$\frac{1-P}{2} = \frac{1-0,995}{2} = 0,0025.$$

Таким образом, уравнение (16) можно записать в виде

$$V = Q_{k.u}(\tau_1 + 2S - t_3) + V_k. \quad (17)$$

Из формулы (17) следует, что при постоянной производительности линии чем больше время между последующими подходами к бункеру транспортных средств, их вместимость и неравномерность подхода, тем больший требуется объем накопительного бункера. Увеличение времени загрузки транспортных средств снижает необходимую его вместимость.

Обоснование вместимости бункеров, применяемых в поточных линиях по повышению питательной ценности кормов

Вместимость бункера грубых кормов в поточной линии приготовления прессованных кормосмесей. Бункер измельченных грубых кормов в технологической линии ЛОС-1 [4] установлен между энергоемким оборудованием, обеспечивающим прием, измельчение исходного компонента ЛИС-3, сушилкой АВМ-1,5 и оборудованием для прессования кормов ОПК-2. Специфика данного оборудования заключается в относительной длительности достижения установленного режима работы и больших токовых нагрузках при его запуске. Поэтому всякая остановка любой отдельной машины или линии в целом крайне нежелательна.

В связи с этим бункер должен выполнять функции:

- накопления материала в случае отказа пресса, создавая тем самым безостановочную работу сушилки или линии измельчения;
- обеспечения запуска пресса накопленным материалом при одновременном пуске сушилки и пресса, когда поступление материалов от сушилки незначительно;
- аккумулятора, обеспечивающего возможность равномерной подачи материала в пресс, независимо от варьирования секундной подачи материала из сушилки от линии измельчения.

Очевидно, что обоснование объема бункера, исходя из его функционального назначения, является важной задачей.

Резервный объем бункера, обеспечивающий безостановочную работу агрегата, можно выбрать исходя из того, что накопленный в результате одного отказа пресса материал расходуется (в случае одинаковой производительности сушилки или линии измельчения и пресса) в период отказа сушильного агрегата. На основании статистических данных установлено, что суммарное время восстановления после отказов пресса и сушилки приблизительно равно, а наполнение и разгрузка бункера происходит циклично. Тогда резервный объем бункера высчитываем по формуле:

$$V_{рез} = kQ_c t_{np} / \gamma + V_0,$$

где $V_{рез}$ – резервный объем бункера, m^3 ; Q_c – производительность сушильного агрегата, $m^3/ч$; k – коэффициент повторности отказов пресса; t_{np} – среднее время восстановления после отказа

пресса, ч; γ – плотность материала m/m^3 ; V_0 – минимальный объем материала, необходимый для нормальной работы дозатора ($V_0 \approx 1,5 - 2 \text{ м}^3$).

В расчетах принимают t_{np} равным 0,3 ч (протокол № 15-5-82 Государственных испытаний линии для обработки соломы содой ЛОС-1, Литовская МИС, 1982). По расчетам в приведенной формуле резервный объем бункера (для линии производительностью 1,51–2 $m/ч$) равен 12–14 m^3 .

Вместимость наддозаторного бункера линии термохимической обработки соломы. В результате специальных исследований, проведенных совместно с БелНИИЖ, установлены оптимальное соотношение химического реагента и соломы, температура нагрева и время ее выдержки, обеспечивающие максимальное повышение питательности соломы при наименьших энергетических затратах [4, 5]. Данные результаты исследований положены в основу разработки новой технологии термохимической обработки соломы в потоке и комплекта оборудования для ее осуществления [6, 7].

Комплект оборудования позволяет реализовать технологию в виде отдельной (автономной) линии, а также в составе оборудования кормоцехов по приготовлению полнорационных рассыпных кормосмесей крупному рогатому скоту.

Важнейшей машиной комплекта, определяющей качество обработки соломы и энергетические затраты, является вертикальный бункер-дозатор (камера) для нагрева, выдержки и дозированной выдачи соломы, обработанной термохимическим способом. Устройство камеры аналогично наддозаторному бункеру, применяемому в поточной линии получения прессованных кормов. Отличительной особенностью ее является наличие системы парораспределения, обеспечивающей быстрый нагрев всей соломы в камере.

Очевидно, что при заданной производительности линии соблюдение технологического регламента полностью зависит от объема и вместимости камеры. Вместимость камеры должна определяться с учетом применения линии (автономно или в составе кормоцеха), способа загрузки (пневматический или механический), а также с учетом предварительного подогрева соломы или без него.

Для случая применения поточной линии термохимической обработки соломы в работе нами рекомендовано определять объем камеры по выражению:

$$V_{км} = \frac{Q_{изм} \cdot t_0}{k_3 \cdot \gamma},$$

где $Q_{изм}$ – производительность измельчителя соломы, $t/ч$; t_0 – требуемое время выдержки соломы при заданной температуре, ч; k_3 – коэффициент заполнения камеры.

В разработанной нами камере k_3 практически равен единице. Это достигается путем применения цепного выравнивателя массы, закрепленного в верхней части вала побудителя.

Для случая применения линии в составе кормоцехов В. И. Передня [5] предлагает вместимость термокамеры определять с учетом повышения питательной ценности соломы по выражениям:

$$V_{км} = \frac{Q_k \cdot \tau_{км} \cdot \beta_k}{\gamma \cdot k_3 (a_e + 3 \cdot 10^{-3} \tau_e)} \quad (\text{при } \tau_e = 0 - 30 \text{ мин});$$

$$V_{км} = \frac{Q_k \cdot \tau_{км} \cdot \beta_k}{\gamma \cdot k_3 (a_e + 3 \cdot 10^{-3} \tau_e^{-0,5})} \quad (\text{при } \tau_e = 30 - 90 \text{ мин}),$$

где Q_k – производительность кормоцеха $m/ч$; β_k – максимальная доля соломы в составе рациона; a_e – питательность соломы до обработки; τ_e – время выдержки соломы при заданной температуре, ч; $\tau_{км}$ – время обработки соломы, ч.

Литература

1. Степук, Л. Я. Научные основы проектирования поточных технологических линий приготовления полидисперсных сельскохозяйственных материалов / Л. Я. Степук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2011. – Вып. 45. – С. 36–60.
2. Производство комбикормов и кормовых смесей в колхозах и совхозах / Л. И. Кролл [и др.]. – М.: Колос, 1982. – С. 114.
3. Сыроватка, В. И. Программа и методические рекомендации по созданию цехов и поточных линий для приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, И. С. Марычева. – М.: ВИЭСХ, 1973. – С. 9.
4. Степук, Л. Я. Механизация получения и применение многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л. Я. Степук. – Минск: Ураджай, 1990. – 311 с.
5. Передня, В. И. Механизация приготовления полноценных кормосмесей на поточных линиях для эффективного использования кормов на скотоводческих фермах: дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Передня. – Минск, 1984. – 244 л.
6. Передня, В. И. Линия термохимической обработки соломы / В. И. Передня, Л. Я. Степук, В. А. Мартынов // Проблемы разработки технологии и оборудования индустриального кормопроизводства: тез. докл. науч.-техн. конф. – Вильнюс, 1981. – С. 119–121.
7. Установка для термохимической обработки соломы: а.с. 912135 СССР, МПК А23N 17/00 (2000.01) / В. И. Передня, Л. Я. Степук, Р. П. Гашка, Ю. К. Гаспарюнас, В. А. Мартынов, В. А. Жабко, К. К. Сивакова, В. С. Сыманович; ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР, Головной экспериментально-конструкторский институт по машинам для переработки травы и соломы. – № 2993465; заявл. 08.10.1980; опубл. 15.03.1982 // Открытия. Изобрет. – 1982. – № 10. – 7 с.

УДК 631.31/356(633.49:635–153)

Поступила в редакцию 30.06.2018
Received 30.06.2018

В. В. Голдыбан, И. А. Барановский

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

К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА МАШИН ДЛЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье описывается ситуация в свекловичной отрасли с технической оснащенностью уборки сахарной свеклы, указываются перспективы ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: свеклоуборочный комбайн, ботвоудалитель, сахарная свекла, средства механизации, уборка, производительность механизированных работ.

V. V. Goldyban, I. A. Baranovsky

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labpotato@mail.ru*

TO THE JUSTIFICATION OF THE TYPE OF MACHINES FOR HARVESTING SUGAR BEET IN THE REPUBLIC OF BELARUS

The article describes the situation in the beet industry with the technical equipment of sugar beet harvesting, the prospects for its further development.

Keywords: beet harvester, defoliator, sugar beet mechanization cleaning, the performance of the mechanized works.

Введение

Возделыванием сахарной свеклы в Беларуси занимается 378 сельскохозяйственных организаций на площади 101,5 тыс. га. Средняя площадь посева на одно хозяйство составляет 260 га. Валовой сбор превышает 4,9 млн тонн. По оценке специалистов концерна «Белгоспищепром», это позволило не только в полном объеме обеспечить внутренние потребности страны в сахаре,

но и существенно увеличить экспорт. Емкость внутреннего рынка республики составляет примерно 350 тыс. тонн сахара в год, и уже на протяжении многих лет предприятия отрасли обеспечивают его полностью.

Экспортная поставка свекловичного сахара – 200 тыс. тонн. Средняя урожайность сахарной свеклы в 2017 г. составила 493 *ц/га*.

Объемы поставок сахарной свеклы на перерабатывающие предприятия в 2017 году: Городецкий сахарный комбинат должен переработать 1 млн 32 тыс. тонн свеклы, Слуцкий сахарорафинадный – 1 млн 145 тыс. тонн, Жабинковский сахарный завод – 1 млн 2 тыс. тонн, Скидельский сахарный комбинат – 821 тыс. тонн.

Значимость возделывания данной культуры для Беларуси подтверждена в Государственной программе развития сахарной промышленности на 2011–2015 годы.

В условиях Беларуси рост сахарной свеклы продолжается до глубокой осени. Причем в течение сентября ежедневный прирост урожая достигает 2,0–2,5 *ц/га*. В это же время происходит непрерывное увеличение сахаристости корней. Так, за сентябрь сахаристость увеличивается на 1,5–2 %, что обуславливает необходимость уборки свеклы в более поздние сроки. Но в то же время уборку необходимо организовать так, чтобы к наступлению устойчивых заморозков вся свекла была убрана с поля и вывезена на заготовительные пункты. Исходя из погодно-климатических условий республики, уборка должна быть закончена до наступления устойчивой минимальной температуры воздуха ниже –5 °С и промерзания почвы, то есть до 15–20 октября. Начинают уборку при наступлении технической спелости, то есть при накоплении сахара в корнеплодах до 17–18 %. В основных свеклосеющих районах этот период приходится на вторую половину сентября – начало октября. Убирают свеклу поточным или поточно-перевалочным способом. В первом случае убранную свеклоуборочным комбайном свеклу без доочистки отправляют сразу на сахарный завод. При перевалочном способе уборки выкопанные корни складывают в кагаты, а затем перевозят на сахарный завод.

Чтобы своевременно и качественно убрать сахарную свеклу, необходима специализированная уборочная техника.

Основная часть

По информации из хозяйств, на полях республики в основном задействованы самоходные высокопроизводительные свеклоуборочные комбайны зарубежного производства Holmer Terra Dos T3, Franz Kleine SF-10, Ropa «Eurotiger» V 8-3 и Grimme Maxtron 620 (по состоянию на 01.01.2018 г. насчитывается 252 *шт.*, из них исправных – 234), отечественная техника представлена свеклоуборочным комплексом «Полесье» (43 *шт.* по состоянию на 01.01.2018 г.), который включает комбайн свеклоуборочный навесной шестирядный КСН-6 (формирует валок из корнеплодов) (рисунок 1б) и подборщик-погрузчик корнеплодов ППК-6, который подбирает из валка свеклу и грузит в тракторный прицеп. Новейшая разработка ГСКБ «Гомсельмаш» – самоходный свеклоуборочный комбайн СКС-624 «Полесье BS624» – выпущен в единичном экземпляре (рисунок 1а).

Развитие конструкций высокопроизводительных комбайнов, существенное снижение в соответствии с требованиями физической загрязненности поставляемого на сахарные заводы сырья (с 10–16 до 5–6 %), а также укрупнение заводов привели в Беларуси к изменению технологии организации уборки, хранения и транспортировки сырья. Корнеплоды укладываются на временное хранение в полевые кагаты на полях вблизи дорог, доочищаются при погрузке высокопроизводительными мобильными очистителями и вывозятся на приемные пункты специализированными транспортными предприятиями. При хранении свеклы в кагатах потери сахаристости достигают 0,1 % в сутки.

На сегодняшний день в свеклосеющих хозяйствах страны уборку сахарной свеклы осуществляют двумя способами:

- поточным;
- поточно-перевалочным.



а



б



в



г



д

а – «Полесье» BS624; б – КСН-6 «Полесье»; в – Holmer «Terra Dos» ТЗ; г – Kleine СФ-10,2;
д – Rora «Euro-Tiger»

Рисунок 1. – Специализированная свеклоуборочная техника

При первом способе корнеплоды сахарной свеклы от уборочных машин поступают на ходу в тракторные самосвальные прицепы и укладываются во временные кагаты (бурты) в конце или середине поля. Из кагатов корнеплоды грузят в транспортные средства самоходным погрузчиком-очистителем и отвозят на свеклоприемный пункт.

Второй способ аналогичен первому, часть корнеплодов вывозят непосредственно от самоходной уборочной машины на свеклоприемный пункт, а остальные укладывают во временные полевые кагаты на специально подготовленных площадках.

Самоходные свеклоуборочные комбайны закупались в период реализации Государственной программы развития сахарной промышленности на 2011–2015 годы с целью укрепления материально-технической базы свеклосеющих хозяйств за счет средств государственного бюджета. В этот период, по данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, парк импортной свеклоуборочной техники увеличился с 149 до 252 штук.

Это упомянутые выше импортные самоходные свеклоуборочные машины Kleine СФ-10,2, Rora «Euro-Tiger», Holmer «Terra Dos» ТЗ, срок службы которых 9 лет. Еще год-другой, и данная техника окажется за порогом амортизации.

Техническая характеристика этих свеклоуборочных машин представлена в таблице 1. Следует отдать должное их эффективности в условиях сельскохозяйственного производства Республики Беларусь. Высокая производительность, надежность в работе делают их лидерами в уборке свеклы. Данная техника принадлежит в основном сахарным заводам. По заявкам хозяйств сахарные заводы включают их в свой график уборки свеклы.

На сегодняшний день важнейшим фактором, снижающим доступность данной техники для свеклосеющих хозяйств страны, является ее высокая стоимость (см. таблицу 1). Для хозяйств с площадью возделывания сахарной свеклы до 400 га, а таких большинство – 70,68 %, использование самоходных свеклоуборочных машин экономически нецелесообразно, оно эффективно на площадях от 400 га и выше.

Использование ранее выпускаемых свеклоуборочных машин отечественного производства КСН-6 «Полесье» неэффективно из-за несовершенства конструкции, низкой производительности и значительного их износа. В связи с вышеизложенным актуальной является разработка отечественного свеклоуборочного комплекса машин, простого в конструкции, достаточно производительного и доступного в денежном выражении для любого свеклосеющего хозяйства.

С этой точки зрения наиболее перспективными следует признать прицепные свеклоуборочные машины. В ходе выполнения задания планируется разработка и освоение производства двух

Таблица 1. – Техническая характеристика свеклоуборочных машин

Показатель	Марки свеклоуборочных машин и их техническая характеристика						
	СКС-624-01 «Полесье» BS624	КСН-6 «Полесье»	Amity		Kleine СФ-10,2	Ropa «Euro-Tiger»	Holmer «Terra Dos» Т3
			Amity 3300 (ботвоудалитель)	Amity 2300 (комбайн)			
Производительность, <i>га/ч</i>	2,65	1,95	1,2	1,5	2	2	2,5
Мощность двиг., <i>л.с.</i>	490	от 265 (УЭС 2-250А)	от 80 (трактор)	от 150 (трактор)	374	460	до 480
Рядность машины, <i>шт.</i>	6	6	6	6	6	6	6
Емкость бункера, <i>т (м³)*</i>	24*	—	—	3	15*	40*	28*
Масса, <i>кг</i>	26000	3000	2300	9000	16220	54000	28000
Стоимость, тыс. евро	368		44	96	380	510	440

единиц техники: ботво- и свеклоуборочной машин. В качестве аналога конструкции можно использовать машины американской фирмы Amity (рисунок 2 и 3). Комплекс Amity представляет собой комбинацию ботвоудалителя (дефолиатора) и прицепного свеклоуборочного комбайна. Благодаря перенастройке рабочих органов комплекс успешно работает на различных типах почв любого состава, как на сухих, так и на переувлажненных, в любых климатических зонах. Справляется с уборкой корнеплодов сахарной свеклы разнообразной формы и размера: убирает и мелкие, и крупные корнеплоды свеклы одинаково чисто и без повреждений.



Рисунок 2. – Свеклоуборочный комбайн Amity 2300



Рисунок 3. – Ботвоудалитель Amity 3300

Техническая характеристика разрабатываемой свеклоуборочной машины представлена в таблице 2.

Имеет небольшой вес (9 тонн), что обеспечивает низкое давление на почву. Емкость бункера – 4 тонны. Средняя производительность – до 100 тонн свеклы в час. Может агрегатироваться с тракторами импортного и отечественного производства. Для агрегатирования данного свеклоуборочного комплекса в Республике Беларусь имеются тракторы с мощностью двигателя от 90 до 200 л.с. в количестве 28960 штук.

Таблица 2. – Техническая характеристика предлагаемой к разработке техники

Тип	полуприцепной
Мощность трактора, л.с.	от 170
Производительность, га/ч	до 1,5
Вместимость бункера, т	3
Междурядье, см	45–76,2
Вес, т	до 9
Длина × ширина × высота, м	6,2×6,2×4,2
Частота вращения ВОМ, мин ⁻¹	1000
Давление в гидросистеме, кг/см ²	190
Стоимость, руб.	190000

По данным РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» Несвижского района и ПУП «ПИК-Лесное» Копыльского района Минской области, использование прицепной свеклоуборочной техники фирмы Amity позволило сократить потери до 4–5 тонн корнеплодов сахарной свеклы с гектара и, соответственно, повысить урожайность [1].

Техническая характеристика разрабатываемого ботвоудалителя (дефолиатора) представлена в таблице 3.

Таблица 3. – Техническая характеристика разрабатываемого ботвоудалителя (дефолиатора)

Мощность трактора, л.с.	от 80
Количество рядов	6
Междурядье, см	45–76,2
Вес, т	2,3
Длина, м	6,3
Ширина при транспортировке, м	4
Высота, м	1,3
Скорость-1 – Вал стальные бичи, мин ⁻¹	1 000
Скорость-1 – Вал резиновые бичи, 2 и 3 Вал, мин ⁻¹	400
Стоимость, руб.	88 000

Таким образом, данные, полученные в РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» и ПУП «ПИК-Лесное», позволяют сделать выводы:

- прицепные комбайны Amity, а точнее дефолиаторы, не просто срезают ботву, а сметают все остатки зелени резиновыми бичами, что позволяет более тщательно удалять и измельчать ботву при уборке, получить более чистые корнеплоды, а главное, снизить потери корнеплодов сахарной свеклы при хранении до 25 %;
- при уборке самоходными комбайнами загрязненность сахарной свеклы может достигать 7–12 %. При применении прицепных комбайнов, в данном случае компании Amity Technology (комбинация ботвоудалителя (дефолиатора) и прицепного свеклоуборочного комбайна), она не превышает 3 %;
- увеличивается срок хранения сахарной свеклы: чем менее травматично происходит извлечение корнеплодов из земли, тем мягче и тщательнее обрезаются ботва, тем дольше хранится она с минимальными потерями.

Заключение

Определяющим критерием для приобретения, если проводить различия между самоходными и прицепными свеклоуборочными машинами, является то, что последние не имеют сложной гидро- и электросистемы и питаются от систем трактора. Еще одним плюсом прицепной свеклоуборочной техники в хозяйствах с небольшой площадью, занятой под сахарную свеклу, является использование трактора круглый год, тогда как самоходная техника работает максимум два месяца в году, а остальное время простаивает.

Литература

1. Могилевский, Э. Прицепная свеклоуборочная техника: дешево, чисто, выгодно / Э. Могилевский // Белорусское сельское хозяйство: ежемесячный научно-практический журнал. – 2017. – № 11 (187). – С. 78–79.

В. М. Булгаков*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
г. Киев, Украина
e-mail: vbulgakov@meta.ua***РАСЧЕТНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ
БОТВОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ,
ФРОНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННОЙ НА ПРОПАШНОЙ ТРАКТОР**

На основе использования исходных уравнений динамики в форме Лагранжа 2-го рода построена расчетная математическая модель движения ботвоуборочной машины, которая фронтально установлена на колесный трактор. По численному решению уравнений на ПК определены оптимальные конструктивные и кинематические параметры фронтально навешенной на трактор ботвоуборочной машины.

Ключевые слова: ботва, срезающий аппарат, трактор, колебания.

V. M. Bulgakov*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kiev, Ukraine
e-mail: vbulgakov@meta.ua***CALCULATED MATHEMATICAL MODEL OF VIBRATIONS OF THE TOP REMOVAL MACHINE
FRONTALLY MOUNTED ON A WHEELED TRACTOR**

Based on the use of the initial equations of dynamics in the Lagrange form of the second kind, a computational mathematical model of the movement of the top removal machine frontally mounted on a wheeled tractor. On the numerical solution of the equations on the PC, the optimal design and kinematic parameters of the front-mounted machine mounted on the tractor were determined.

Keywords: tops, cutting machine, tractor, oscillations.

Введение

Высокопроизводительная и качественная уборка ботвы сахарной свеклы остается достаточно сложной и актуальной задачей области свекловодства. В последнее время в мире наиболее широкое распространение получил многостадийный способ уборки ботвы, в основе которого вначале осуществляются сплошной основной срез всего массива ботвы (по ширине захвата уборочной машины), ее сбор и транспортировка в рядом идущее транспортное средство, а в дальнейшем, с использованием индивидуального копирования каждой головки корнеплода в рядке, обеспечивается доочистка или дообрезание (или одновременно доочистка и дообрезание разными рабочими органами) головок корнеплодов от остатков ботвы. Использование пневматических колес в качестве копирующих вызывает колебания ботвоуборочной машины в вертикальной плоскости, которые в наибольшей степени будут влиять на качество выполнения технологического процесса – равномерное срезание ботвы с головок корнеплодов по всей ширине захвата, наиболее полный ее сбор и транспортирование без потерь. Общая методика моделирования сельскохозяйственных машин подробно отражена в работах таких известных ученых, как П. М. Василенко [1], И. С. Нагорский и др.

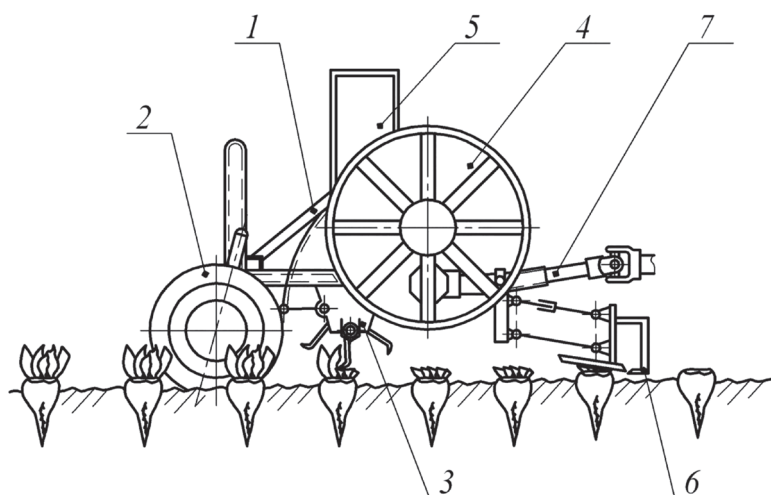
Целью исследования являлось определение влияния кинематических и конструктивных параметров ботвоуборочной машины, фронтально навешенной на колесный трактор, на величину амплитуды колебаний в продольно-вертикальной плоскости ботвосрезающего аппарата.

Результаты исследований

Нами разработана новая универсальная ботвоуборочная машина, выполняющая технологический процесс по принципу косилки-измельчителя, которая фронтально навешивается на колесный трактор. В этой машине применяется ротационный ботворежущий аппарат, в котором

срезающие ножи, шарнирно установленные на приводном барабане, имеют дугообразную форму и, вращаясь в продольно-вертикальной плоскости, обеспечивают бесподпорный, бескопирный срез основного массива ботвы по всей ширине захвата [2]. На рисунке 1 показана конструктивно-технологическая схема машины, которая срезает как пучки и листья ботвы, так и растения, находящиеся на свекловичной плантации, и транспортирует срезанную массу в кузов транспортного средства, которое движется рядом. Технологический процесс уборки ботвы сахарной свеклы происходит следующим образом. При движении колесного трактора (с узкими шинами) по рядкам корнеплодов сахарной свеклы копирующие колеса 2, расположенные в передней части подвижной рамы 1, устанавливают ротор 3 с ножами на нужную высоту среза. Ножи имеют дугообразную форму, причем шарнирно установлены на цилиндрической образующей по длине ротора 3 таким образом, что обеспечивают перекрытие всей ширины захвата. Ножи вращаются с большой частотой, благодаря чему обеспечивается срез всего массива ботвы. Абсолютная скорость концов лезвий дугообразных ножей для среза ботвы достигает 20...25 м/с, а для скашивания других, в частности толстостебельных культур, – 40...50 м/с. Срезанная дугообразными ножами ботва движется в верхнюю часть кожуха, где попадает на шнековый транспортер, который перемещает срезанную массу в торцевую часть машины, после чего швырялка 4 через патрубков 5 выгружает ее в кузов транспортного средства, движущегося рядом. Окончательно технологический процесс уборки ботвы происходит при обрезании непосредственно головок корнеплодов установленным сзади дообрезчиком пассивного типа 6. Привод 7 ботвоуборочной машины осуществляется от переднего вала отбора мощности трактора.

Основным преимуществом ботвоуборочной машины ротационного типа является то, что, имея всего лишь один рабочий орган – ротор с ножами, она обеспечивает качественный срез основной массы ботвы и транспортировку ее в транспортное средство, движущееся рядом, или может разбрасывать измельченную ботву на убранную часть свекловичного поля. Ботвоуборочная машина универсальна, имеет высокую надежность и может быть использована как ротационная косилка (то есть может качественно срезать разный травостой высотой до 1 м) [3]. К недостаткам ботвоуборочной машины ротационного типа следует отнести чрезмерное измельчение ботвы в случае ее сбора в кузов транспортного средства, некоторое загрязнение собранной массы ботвы почвенными примесями, особенно при работе на сухой почве и при установке ботвосрезающего аппарата на пониженную высоту среза, значительные сложности технического обслуживания (в частности, при снятии дугообразных ножей для заточки, замены и тому подобное).



1 – рама; 2 – пневматическое копирующее колесо; 3 – роторный ботвосрезающий аппарат; 4 – швырялка срезанной ботвы; 5 – выгрузной патрубок; 6 – дообрезчик головок корнеплодов; 7 – привод рабочих органов

Рисунок 1. – Конструктивно-технологическая схема ботвоуборочной машины, фронтально навешенной на трактор, с ротационным режущим аппаратом

Для определения влияния конструктивных и кинематических параметров ботвоуборочной машины, фронтально навешенной на колесный трактор, на величину амплитуды колебаний в продольно-вертикальной плоскости ботвосрезающего аппарата построим ее математическую модель.

Аналитически рассмотрим движение ботвоуборочной машины только в продольно-вертикальной плоскости, то есть построим математическую модель колебания ботвоуборочной машины при движении по неровной поверхности почвы только в одной плоскости. На основании [1] составим, прежде всего, эквивалентную схему движения фронтально навешенной на трактор ботвоуборочной машины в продольно-вертикальной плоскости (рисунок 2).

В первом приближении считаем, что точка подвеса ботвоуборочной машины к трактору (точка O) движется прямолинейно и равномерно, то есть влиянием колебаний самого трактора пренебрегаем. Центр масс фронтально навешенной ботвоуборочной машины находится в точке C , примерно расположенной на оси роторного ботвосрезающего аппарата, который имеет радиус R . Массу всей ботвоуборочной машины обозначим через M ; массу копирующих колес – через $m = m_1 + m_2$ (где m_1 – масса первого копирующего колеса, m_2 – масса второго копирующего колеса). Силу тяжести ботвоуборочной машины, которая приложена в ее центре масс (точка C), – через \bar{G} . Масса m обоих копирующих колес сосредоточена в точке B .

Отнесем данную динамическую систему к неподвижным декартовым координатам $XOYZ$. При этом плоскость XOZ совпадает с продольной плоскостью ботвоуборочной машины и является вертикальной плоскостью к поверхности поля. Поскольку начало систем координат размещено в точке O (точка подвеса ботвоуборочной машины к трактору), то поворот машины вокруг оси OY , который определяется углом φ , в конечном итоге и определяет характер вертикальных колебаний ботвоуборочной машины в продольно-вертикальной плоскости. Поворот ботвоуборочной машины в продольно-вертикальной плоскости вокруг оси OX будет определяться углом ψ . Пневматические копирующие колеса представлены в виде упругодемпфирующих моделей, которые имеют суммарный коэффициент жесткости $2c$ и суммарный коэффициент демпфирования $2a$.

Считаем, что копирующие колеса в целом при движении в междурядьях посевов сахарной свеклы сминают верхний (более рыхлый) слой поверхности почвы, однако движутся по неровностям, которые имеют продольный профиль, близкий к синусоидальному типу.

В первом приближении можем считать, что пневматическое копирующее колесо, двигаясь в междурядьях посевов сахарной свеклы и сминая верхний рыхлый слой почвы, контактирует с неровностью поверхности поля в точке A . При этом неровности поверхности почвы (в сглаженном виде) можно представить в виде гармонической функции, то есть аналитическим выражением вида [3]:

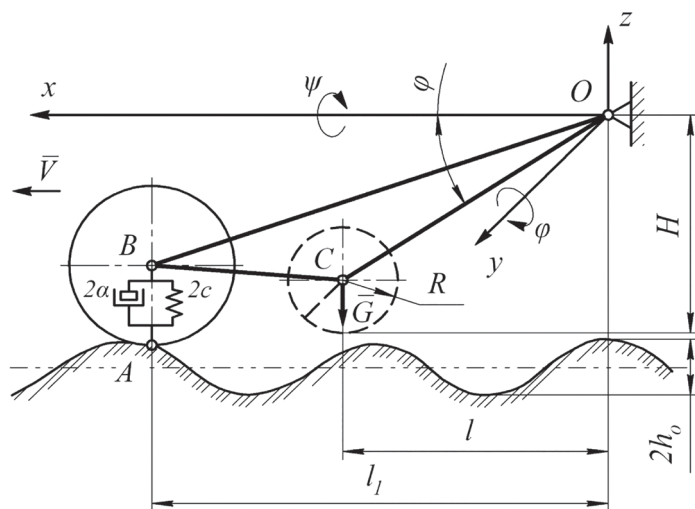


Рисунок 2. – Эквивалентная схема фронтально навешенной на трактор ботвоуборочной машины

$$h = h_o \left(1 - \cos \frac{2\pi \cdot X}{l_2} \right), \quad (1)$$

где h – ордината высоты неровности поверхности почвы, м; h_o – половина высоты неровности поверхности почвы, м; l_2 – шаг неровности поверхности почвы, м; $X = Vt$ – текущая координата, м; V – поступательная скорость движения ботвоуборочной машины, м/с.

Положение центра масс ботвоуборочной машины (точка C) в продольно-вертикальной плоскости полностью определяется независимой координатой φ . Поскольку центр масс пневматических копирующих колес (точка B) осуществляет независимые колебательные движения и ординаты высот неровности поверхности грунта h значительно меньше, чем длина l_1 , будем считать, что эти колебания могут определяться независимой координатой Z . Таким образом, рассмотренная колебательная система может быть приведена к двум обобщенным координатам: φ и Z .

Для составления дифференциальных уравнений движения динамической системы использованы исходные уравнения в форме Лагранжа 2-го рода и проведены соответствующие преобразования (из-за ограниченности объема статьи в данной работе они не приводятся). В конечном результате получена следующая система нелинейных дифференциальных уравнений, представляющая собой расчетную математическую модель движения фронтально навешенной на трактор ботвоуборочной машины:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\varphi} + \frac{2\alpha l_1^2}{I_{oy}} \dot{\varphi} - \frac{2\alpha l_1}{I_{oy}} \dot{Z} - \frac{2cl_1}{I_{oy}} Z + \frac{2cl_1 h}{I_{oy}} &= 0; \\ \ddot{Z} + \frac{2\alpha}{m} \dot{Z} - \frac{2\alpha l_1}{m} \dot{\varphi} + \frac{2c}{m} Z &= \frac{2ch}{m}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m – масса копирующих колес, φ – угол поворота вокруг оси OY , кг, α – коэффициент демпфирования копирующих колес, $H\cdot c/m$, c – коэффициент жесткости шин колес копирующей системы, H/m ; l_1 – расстояние от оси подвеса ботвоуборочной машины до оси ее копирующих колес, м, h – ордината высоты неровности поверхности почвы, м, I_{oy} – момент инерции машины относительно оси OY , $кг\cdot м^2$.

Система дифференциальных уравнений с начальными условиями была решена по составленной для этого программе на ПЭВМ адаптированным методом Рунге-Кутты в системе MathCAD.

При численном моделировании на ПК значения скорости движения трактора, который агрегатирует ботвоуборочную машину, изменялись от $V = 10$ км/ч до $V = 12$ км/ч. Также были использованы различные значения моментов инерции ботвоуборочной машины I_{oy} (с учетом массы ботвы, находящейся внутри машины), которые зависят от M – массы ботвоуборочной машины и l_1 – расстояния от оси копирующих колес до оси установки ботвоуборочной машины на трактор. При расчетах выбиралось несколько значений моментов инерции: от $I_{oy} = 30,0$ $кг\cdot м^2$ до $I_{oy} = 60,0$ $кг\cdot м^2$. По результатам численных расчетов были построены графические зависимости.

На основании полученных результатов численного моделирования на ПЭВМ наиболее рациональными параметрами ботвоуборочной машины, фронтально навешенной на трактор, являются:

- масса копирующего колеса $m = 24$ кг;
- момент инерции машины относительно оси вращения $I_{oy} = 65,00$ $кг\cdot м^2$;
- расстояние от оси подвеса машины к оси копирующих колес $l_1 = 1,5$ м;
- коэффициент жесткости копирующих колес $c = 2000...2500$ H/m ;
- коэффициент демпфирования копирующих колес $\alpha = 73...85$ $H\cdot c/m$;
- скорость поступательного движения ботвоуборочной машины должна быть не больше чем 2,5 м/с.

Выводы

Полученные результаты теоретического исследования, а также результаты численного моделирования на ПЭВМ позволили определить рациональные параметры ботвоуборочной машины. Методика исследований может быть использована при проведении конструкторских разработок других сельскохозяйственных машин, фронтально навешиваемых на трактор.

Литература

1. Василенко, П. М. Введение в сельскохозяйственную механику / П. М. Василенко. – Киев: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.
2. Булгаков, В. М. Свеклоуборочные машины / В. М. Булгаков. – Киев: Аграрная наука, 2011. – 351 с.
3. Булгаков, В. М. Совершенствование технологического процесса и машин для уборки корнеплодов свеклы: автореф. дис. ... докт. техн. наук / В. М. Булгаков. – Москва: ВИСХОМ, 1993. – 61 с.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 05.10.2018
Received 05.10.2018

А. Н. Юрин¹, В. В. Викторович¹, А. Д. Четкин²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ПРОБЛЕМА УБОРКИ ПЛОДОВ СЕМЕЧКОВЫХ И ОРЕХОПЛОДНЫХ КУЛЬТУР С ЗЕМЛИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

В статье представлен краткий обзор обеспечения населения Республики Беларусь продуктами питания, производимыми в отрасли плодоводства. Предложено решение проблемы уборки опавших на землю плодов как одно из направлений увеличения объемов производства фруктов с целью максимального использования выращенного урожая.

Ключевые слова: плодоводство, уборка плодов с земли, ветровая падалица, средства механизации, подборщик плодов, прицепной комбайн, технологический процесс.

A. N. Jurin¹, V. V. Viktorovich¹, A. D. Chechetkin²

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

²Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

THE PROBLEM OF CLEANING FRUITS OF FAMILY AND ORE-FROZEN CROPS FROM THE EARTH AND THE WAYS OF ITS SOLUTION

The article provides a brief overview of the provision of food products to the population of the Republic of Belarus by the fruit-growing industry. The solution of the problem of harvesting fallen trees to the ground is suggested as one of the directions for increasing the volume of fruit production in order to maximize the use of the cultivated crop.

Keywords: fruit growing, harvesting fruits from the ground, windfalls, means of mechanization, pick-up of fruits, trailed combine, technological process.

Введение

В обеспечении населения республики продуктами питания особое место отводится плодоводству. В соответствии с нормами рационального питания каждый человек должен потреблять в год 98,6 кг плодов и ягод, без учета цитрусовых [1].

В Республике Беларусь производство плодов в сельскохозяйственных организациях составляет 130–150 тыс. тонн ежегодно [2].

Таким образом, в настоящее время душевое потребление плодов и ягод отечественного производства составляет около 20 кг, общее потребление – около 60 кг (среднее за 5 лет). При этом общее потребление плодово-ягодной продукции в год на одного человека в США – 127 кг, Франции – 135 кг, Германии – 126 кг, Италии – 187 кг [3].

В результате республика вынуждена импортировать свежую плодово-ягодную продукцию. В 2016 году объем поставок составил 1389,7 тыс. тонн, из которых 884,1 тыс. тонн – яблоки, груши, вишня, черешня и другие плоды, произрастающие в стране. При этом импорт плодово-ягодной продукции за последние 5 лет увеличился в 3 раза [2].

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

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись средства механизации процесса уборки опавших на землю плодов. Проводились исследования состояния средств механизации в области механизированного подбора плодов семечковых и орехоплодных культур с поверхности почвы.

Результаты исследований

Одним из основных направлений увеличения объемов производства фруктов является максимальное использование выращенного урожая.

Продукция переработки плодов (соки, джемы, повидло, кондитерские изделия, витамины и др.) обладает ценными пищевыми свойствами и может быть получена из скоропортящейся части урожая – опавших на землю фруктов. Количество падалицы не является постоянным, оно зависит от погодных условий, своевременного опрыскивания плодовых деревьев и многих других факторов, в том числе случайных. Так, ежегодно в Республике Беларусь количество падалицы составляет от 10 до 40 % валового сбора плодов (от 15 до 60 тыс. тонн), и большая часть ее пропадает из-за несвоевременного сбора урожая. Качество различно: падалица в результате поражения вредителями считается малоценной, ветровая падалица имеет в своем составе 70–80 % высококачественных плодов.

Помимо этого, своевременный подбор опавших плодов, являющихся резервуарами инфекций, считается обязательной операцией в борьбе с вредителями плодовых культур. В отдельных хозяйствах недобор урожая из-за плодовой гнили достигает 50–70 %.

Государственный стандарт Республики Беларусь ГОСТ 27572–87 «Яблоки свежие для промышленной переработки. Технические условия» предусматривает два сорта поставляемых яблок (таблица 1) [4].

Таблица 1. – Требования к яблокам для промышленной переработки

Наименование показателя	Значение показателя	
	1 сорт	2 сорт
Нажимы, градобоины, зарубцевавшиеся повреждения вредителями (кроме плодовой гнили) и болезнями общей площадью, см, не более	3 см ² , в том числе не более 3 пятен парши, каждое диаметром не более 0,3 см	1/4 поверхности плода, в том числе пятна парши не более 1/8 поверхности плода
Зарубцевавшиеся проколы	Не допускаются	Не ограничиваются
Содержание плодов со свежими проколами, %, не более	Не допускается	10,0
Содержание плодов с одним-двумя засохшими повреждениями плодовой гнили, %, не более	2,0	10,0

При этом технология производства соков предусматривает проведение технологических операций мойки, сортировки, инспекции сырья, пастеризации (80–85 градусов) или горячего розлива сока (98–100 градусов) вне зависимости от качества сырья, что предотвращает возможное появление микробиологической нестабильности продукта переработки. Отсюда следует, что большая часть падалицы может быть использована для промышленной переработки.

Кроме того, плоды, непригодные для промпереработки, могут быть использованы в качестве сырья (код отходов 1170201 «Овощи и фрукты, утратившие свои потребительские свойства») для биогазовых установок в соответствии с реестром объектов по использованию отходов РУП «БелНИЦ «Экология» (биогазовые установки РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского).

В настоящее время в республике технологический процесс подбора падалицы яблок и других плодов, принудительно снятых с деревьев на землю, выполняется вручную, на что затрачивается 20–30 % всех трудозатрат при возделывании плодов.

В последние годы в ряде зарубежных стран освоен выпуск прицепных и самоходных машин различного принципа действия для уборки плодов с земли.

На рисунке 1 представлена самоходная машина ОВ 80R для сбора падалицы яблок, орехов, сливы и груши производительностью до 4 т/ч, в зависимости от плотности плодов на поверхности [5]. Применение этой машины возможно на различных площадях как в садах, так и на промышленных фруктовых плантациях.



Рисунок 1. – Самоходная машина ОВ 80R для сбора падалицы яблок, орехов, сливы и груши

На рисунке 2 представлен прицепной комбайн для уборки плодов с земли Tuthill Centipede 2015 Harvester производительностью 15 т/ч.



Рисунок 2. – Прицепной комбайн для уборки плодов с земли Tuthill Centipede 2015 Harvester производительностью 15 т/ч

В последнее время в Беларуси все большую популярность набирает выращивание фундука. Умеренный климат республики с мягкой зимой очень хорошо подходит для этой культуры.

Так, на территории Беларуси в 2018 году планируется посадка плантаций фундука на общей площади в 120 га. В соответствии с технологией возделывания данного многолетнего насаждения уборка плодов должна осуществляться с поверхности земли.

Способ уборки урожая зависит от масштабов деятельности. Если сад небольшой (несколько соток), то можно осуществлять ее вручную, если же участок по площади превышает 0,5 га, то для уборки лучше использовать средства механизации.

Возможностей механизированной уборки очень много – от простых вибрирующих механизмов для отряхивания до комбайнов для сбора опавших под деревьями орехов.

В частности, производителями предпринимались попытки использования для уборки косточковых культур виброустановок, агрегируемых с трактором, но такое решение не было принято в связи с одновременным созревaniem орехов.

Гораздо чаще для уборки использовались вентиляторы, с помощью которых можно удалять листья и оболочки орехов из рядов. Далее упавшие орехи выдуваются из рядов в междурядья на валы и собираются вручную или загружаются на прицеп. Орехи, которые собраны таким способом, предварительно должны быть очищены от мусора.

В настоящее время на больших площадях применяются ореховые комбайны с всасывающими соплами марки Cimina (Италия), предназначенные для сбора орехов и других плодов в скорлупе [6]. Самой большой машиной такого типа является модель Cimina C380T мощностью 60 кВт (рисунок 3). Уборка основывается на всасывании орехов вместе с оболочками, листьев и другого мусора соплами. После этого собранная масса подвергается предварительной очистке при помощи вентиляторов. После очистки орехи подаются на прицеп или пакуются в мешки.



Рисунок 3. – Прицепной комбайн Cimina C380T (Италия) производительностью 2 т/ч

Другим решением являются комбайны для сбора и очистки орехов итальянской компании GF Costruzioni Macchine Agricole: Jolly 1800, Jolly 2800 и самоходный Super Jolly.

Комбайны типа Jolly могут быть размещены в передней или задней части трактора и приводятся в движение с помощью вала отбора мощности. Они выгребают орехи из рядов в междурядья с помощью барабанов с резиновыми лопастями, а вращающиеся пластиковые расчески сгребают плоды и подают их на металлические ролики для очистки. На роликах выполняется отделение остатков оболочек от орехов, затем орехи транспортируются в контейнер или на прицеп.

Представленный на рисунке 4 комбайн Jolly 1800 имеет производительность 1000 кг/ч, а Jolly 2800 – до 1500 кг/ч.

В то же время один человек, при условии, что работает 10 часов, может обеспечить производительность не более 70 кг орехов в день (7 кг/ч). Чтобы собрать то количество орехов, которое собирает комбайн Jolly 1800 за час, придется взять на работу 143 человека, а вместо комбайна Jolly 2800 потребуется 214 человек.

Применение механизированных средств для сбора плодов с земли позволяет повысить производительность труда в 20–40 раз по сравнению с ручным трудом и обеспечивает экономический эффект до 10000,00 руб. при среднем сроке окупаемости 2,2 года.

Таким образом, разработка и внедрение в производство машин для уборки плодов семечковых и орехоплодных культур являются актуальной агроинженерной задачей для Республики Беларусь.



Рисунок 4. – Прицепной комбайн Jolly 1800 (Италия) производительностью 1000 кг/ч

Закключение

1. В настоящее время душевое потребление плодов и ягод отечественного производства составляет около 20 кг, общее потребление – около 60 кг. В результате чего в страну ежегодно импортируется более 1 млн тонн плодоягодной продукции.

2. Одной из проблем, существующих при возделывании плодов, является опад плодов под действием ветра или в процессе уборки. Ежегодно в стране количество опада составляет от 10 до 40 % от валового сбора плодов (от 15 до 60 тыс. тонн).

3. Применение машин для сбора плодов с земли позволяет повысить производительность труда в 20–40 раз по сравнению с ручным трудом и обеспечивает экономический эффект в размере 10 тыс. руб. и срок окупаемости 2,2 года.

Литература

1. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 232 с.
3. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. В 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.
4. Яблоки свежие для промышленной переработки. Технические условия: ГОСТ 27572–87. – Введ. 01.07.1989. – М.: Стандартинформ, 2011. – 40 с.
5. Машина самоходная для сбора плодов ОВ 80R яблок, падалицы яблок, орехов, сливы, груши // Ньютехагро [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.newtechagro.ru/catalog/mashina_samohodnaya_dlya_sbora_plodov_ob_80r_yablok.html. – Дата доступа: 06.08.2018.
6. Механизированная уборка орехов фундука // Батькив Сад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://batkivsad.com.ua/ru/mehanizirovannaya-uborka-orehov-funduka-141/>. – Дата доступа: 10.08.2018.

УДК 631.358:633.521

Поступила в редакцию 19.10.2018

Received 19.10.2018

С. Ф. Лойко¹, М. Н. Трибуналов²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

e-mail: vozd_ub_len@tut.by

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: tribunalov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ЛЕНТЫ ЛЬНОТРЕСТЫ В РУЛОНЕ

В статье изложены результаты экспериментальных исследований процесса уплотнения ленты льнотресты в рулоне до заданной линейной плотности прицепным рулонным пресс-подборщиком и даны предложения по выбору параметров работы рулонного пресс-подборщика для обеспечения заданной линейной плотности.

Ключевые слова: лен, лента льна, рулон, пресс-подборщик.

S. F. Loyko¹, M. N. Tribunalov²

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: vozd_ub_len@tut.by

²Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: tribunalov@mail.ru

STADY OF THE PROCESS OF COMPACTION OF FLAX TAPE IN THE A ROLL

The article presents the results of experimental studies of the process of sealing tape flax in a roll to a given linear density trailed round baler and made suggestions for choosing the operating parameters of the round baler to ensure a given linear density.

Keywords: flax, flax tape, roll, baler,

Введение

Одним из существенных недостатков в технологии производства льноволокна является несогласованность параметров по толщине и весу ленты льнотресты в рулоне и при переработке ее на льнозаводе. Так, в зависимости от ширины захвата применяемой льноуборочной машины масса льнотресты на одном погонном метре в поле может составлять от 0,3 до 0,8 кг и более. Для эффективной работы линии первичной переработки льна необходимо, чтобы масса льнотресты на одном погонном метре ленты в рулоне находилась в пределах 2,0–3,0 кг.

Обеспечить получение рулонов с требуемой линейной плотностью ленты целесообразно при заготовке льнотресты пресс-подборщиками. Поэтому изыскание рабочих органов и определение оптимальных параметров и режимов работы пресс-подборщиков льна при выполнении технологического процесса уборки является актуальной задачей, имеющей важное значение для льноводческой отрасли страны.

Основная часть

С целью уточнения режимов работы пресс-подборщика при формировании рулонов с требуемыми параметрами ленты льнотресты и установления соответствия допущений, принятых при теоретических расчетах, действительным условиям были проведены исследования на экспериментальном образце рулонного пресс-подборщика в полевых условиях.

Согласно требованиям действующих стандартов на первичную переработку льна-долгунца, толщина слоя льнотресты, поступающей в мяльно-трепальный агрегат, должна составлять 5–6 см при линейной плотности около 2,5 кг/м.л. [1]. Данные показатели толщины и линейной плотности ленты льнотресты в рулоне можно обеспечить за счет изменения скоростных режимов работы подбирающего барабана с подающим транспортером и прессующих ремней относительно рабочей скорости машины [2].

Целью исследований являлось определение рациональных параметров работы пресс-подборщика. Программой полевых экспериментальных исследований предусматривалось:

1. Исследовать влияние коэффициента λ , характеризующего отношение скорости подбирающего барабана к скорости движения агрегата, на процесс формирования ленты льнотресты в рулоне.

2. Исследовать влияние коэффициента λ_2 , характеризующего отношение скорости движения подающего транспортера и скорости прессующих ремней, при выбранных оптимальных параметрах скорости движения агрегата и коэффициента λ на процесс формирования ленты льнотресты в рулоне.

Экспериментальный образец рулонного пресс-подборщика позволял:

- изменять скорость поступательного движения агрегата в диапазоне от 6,5 до 12 км/ч;
- изменять соотношение скорости подбирающего барабана и ремней прессовальной камеры относительно скорости агрегата.

Основные параметры работы пресс-подборщика определялись по стандартной методике. Опыты проводились в соответствии с ГОСТ 20915–75, РД 10.23.5–91 и СТБ 1194–2007 с использованием рабочей программы и методики испытаний.

Исследования проводились на полевых фонах сырьевой зоны ОАО «Пуховичский льнозавод». Результаты измерений приведены в таблице 1.

Полученные данные показывают, что значение линейной плотности изменяется прямо пропорционально изменению значения коэффициента λ . Однако при низких λ и высокой исходной плотности ленты льна происходит нарушение технологического процесса подбора: сгруживание и забивание стеблей льна под направляющие прутки подающего транспортера, вплоть до полной остановки машины. При более высоких значениях λ процесс уплотнения практически не происходит. Исходя из этого, в таблице приведены данные, имеющие наименьшие значения λ отношения скорости подбирающего барабана к скорости агрегата.

Таблица 1. – Экспериментальные значения линейной плотности ленты льна в рулоне

Скорость движения агрегата V , м/с	Исходная линейная плотность ленты льна, кг/м.л.	Коэффициент λ	Значение линейной плотности ленты льнотресты в рулоне, кг/м.л.
1,8	0,628	0,79	0,79
1,8	0,736	0,85	0,87
1,8	1,028	0,89	1,22
2,5	0,628	0,81	0,75
2,5	0,736	0,86	0,87
2,5	1,028	0,90	1,16
3,3	0,628	0,81	0,78
3,3	0,736	0,86	0,83
3,3	1,028	0,91	1,19

Для аппроксимации имеющихся статистических данных использовано уравнение регрессии линейного вида:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1,$$

где y – отношение скорости подбирающего барабана к скорости агрегата; x_1 – исходная плотность ленты льна, кг/м.л.; a_1 – неизвестные коэффициенты регрессии.

Коэффициенты регрессии определялись методом наименьших квадратов. В результате этого получены уравнения (1), (2), (3), описывающие зависимость отношения поступательной скорости подборщика к рабочей скорости агрегата от исходной плотности ленты льна для рабочих скоростей 1,8, 2,5, 3,3 м/с соответственно:

$$y = 0,6628 + 0,0002 \cdot x_1; \quad (1)$$

$$y = 0,6919 + 0,0002 \cdot x_1; \quad (2)$$

$$y = 0,6738 + 0,0002 \cdot x_1. \quad (3)$$

По расчетным данным построен график для определения оптимального соотношения скорости подбирающего барабана к скорости движения агрегата (рисунок 1).

С целью определения коэффициента λ_2 отношения скорости подающего транспортера и скорости прессующих ремней прессовальной камеры и влияния его на процесс уплотнения стеблей льна в рулоне (при заданной скорости агрегата и фиксированном отношении λ) производились измерения скорости подающего транспортера и прессующих ремней прессовальной камеры. Результаты измерений представлены в таблице 2.

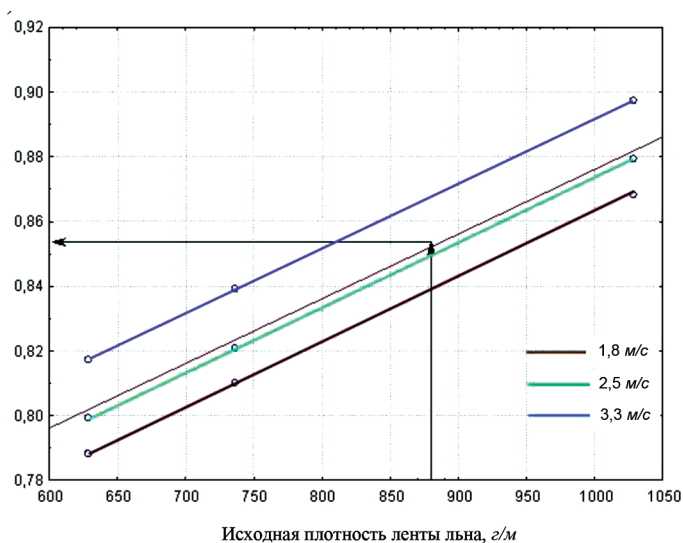
Рисунок 1. – Определение λ в зависимости от исходной плотности ленты льна при заданных рабочих скоростях

Таблица 2. – Экспериментальные значения отношения скорости прессующих ремней к скорости подающего транспортера

Линейная плотность ленты после подбирающего барабана, кг/м.п.	Отношение скорости подающего транспортера к скорости подбирающего барабана, λ_2	Линейная плотность ленты после подающего транспортера, кг/м.п.	Отношение скорости прессующих ремней к скорости подающего транспортера
0,77	0,88	0,88	0,36
0,86	0,9	0,96	0,39
1,19	0,91	1,31	0,52

Отношение λ_2 скорости подающего транспортера к скорости подбирающего барабана ниже 0,88, 0,9 и 0,91 при различной исходной линейной плотности ленты льна приводило к нарушению технологического процесса, в связи с этим для расчета принимались наименьшие соотношения.

Зависимость соотношения скорости транспортера к скорости подбирающего барабана описывается уравнением:

$$\lambda_2 = 0,84 + 0,00006 \cdot x_2,$$

где x_2 – плотность ленты после подбирающего барабана, кг/м.п.

Зависимость соотношения скорости прессующих ремней к скорости подающего транспортера описывается уравнением:

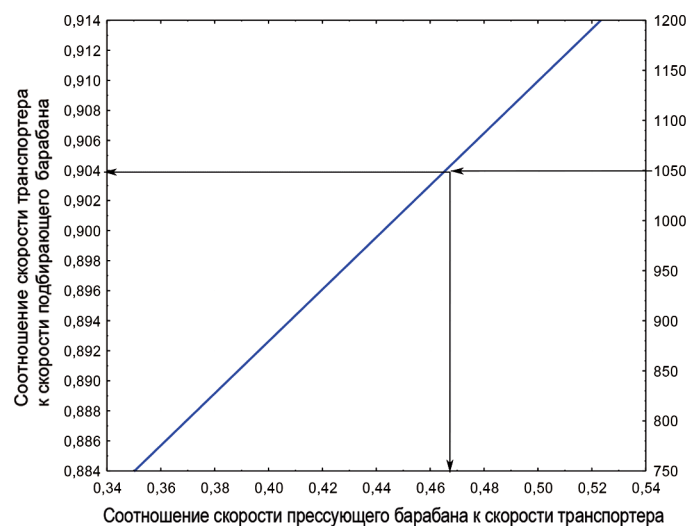


Рисунок 2. – Зависимость линейной плотности ленты от соотношения скорости прессующих ремней к скорости подающего транспортера

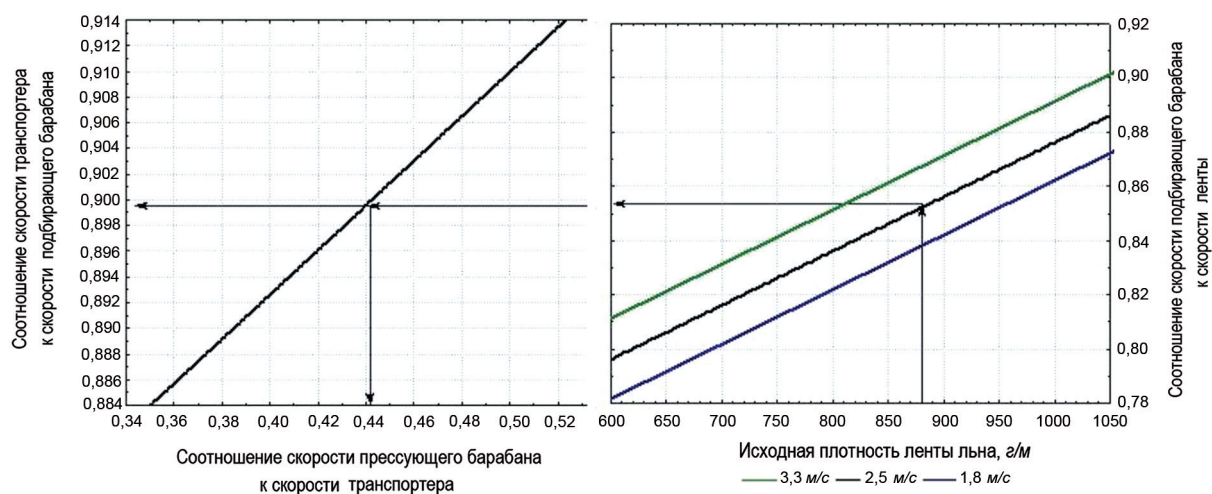


Рисунок 3. – Номограмма для определения оптимальных режимов работы пресс-подборщика для обеспечения заданной линейной плотности ленты льнотресты в рулоне

$$\lambda_3 = 0,0328 + 0,0004 \cdot x_3,$$

где x_3 – линейная плотность ленты после транспортера, $кг/м.п.$

График зависимости линейной плотности ленты от соотношения скорости прессующих ремней к скорости подающего транспортера приведен на рисунке 2.

По результатам обработки экспериментальных данных была построена номограмма для определения оптимальных режимов работы пресс-подборщика для обеспечения заданной линейной плотности ленты льнотресты в рулоне (рисунок 3).

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований были определены оптимальные режимы работы пресс-подборщика при разных рабочих скоростях для обеспечения заданной линейной плотности ленты льнотресты в рулоне.

Это позволяет, независимо от требуемой степени уплотнения, обеспечить достаточную для протекания рабочего процесса скорость прессовальных ремней и вальцов прессовальной камеры. При этом первая ступень уплотнения будет обеспечиваться за счет разности скоростей агрегата и подбирающего барабана.

Литература

1. Ковалев, М. М. Параметры и режимы подбирающего аппарата для лубяных культур / М. М. Ковалев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 3. – С. 34–35.
2. Чеботарев, В. П. К вопросу формирования слоя льнотресты в рулоне / В. П. Чеботарев, М. Н. Трибуналов, С. Ф. Лойко // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: сб. ст. 62-й междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. / под ред. И. А. Яцюка [и др.]. – Кострома: КГСХА, 2011. – Т. 2: Архитектура и строительство. Механизация сельского хозяйства. – С. 83–84.
3. Казакевич, П. П. Льноводство и льнопереработка в Беларуси: проблемы развития / П. П. Казакевич // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 7 (99).
4. Венцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

УДК 633.521+677.011

Поступила в редакцию 16.07.2018

Received 16.07.2018

А. Н. Перепечаев, А. Л. Рапинчук, Е. В. Кислов

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

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МЯЛЬНО-ТРЕПАЛЬНОГО АГРЕГАТА НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМОГО КОРОТКОГО ЛЬНОВОЛОКНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСХОДНОГО НОМЕРА ЛЬНОТРЕСТЫ

В статье проведен анализ режимов работы мяльно-трепальной машины для переработки отходов трепания в зависимости от исходного номера льнотресты с целью получения наиболее качественного короткого льноволокна.

Ключевые слова: отходы трепания, короткое льноволокно, режимы работы, трепальные барабаны, номер перерабатываемой льнотресты.

A. N. Perepetchaev, A. L. Rapinchuk, E. V. Kislov

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

INFLUENCE OF OPERATING MODES OF THE MILLE-SCUTCHING UNIT ON THE QUALITY OF THE RECEIVED SHORT-TWELFLY DEPENDING ON THE INITIAL NUMBER OF THE FLYING TRAY

The article analyzes the modes of operation of the mille-scutching machine for recycling waste scrap depending on the original number of flax truffles in order to obtain the best quality short flax fiber.

Keywords: scrap waste, short flax fiber, operating modes, combing drums, number of processed flax.

Введение

Лен-долгунец – важнейшая техническая сельскохозяйственная культура Беларуси. Льноволокно и получаемая из него продукция пользуются широким спросом во многих странах мира. Поэтому возделывание льна может служить одним из источников валютных поступлений в республику.

Решение проблемы оптимального построения технологий и создания технических средств в технологических процессах производства продукции льноводства вполне востребовано сельскохозяйственной наукой и аграрной практикой и соответствует целям реформирования агропромышленного комплекса страны. Для льноводства наиболее актуальны научные разработки, посвященные созданию новых технологий производства льнопродукции и высокопроизводительной техники для ее переработки. Требуются такие решения, которые при приемлемых издержках для льноводства, на научной основе, с использованием достижений НТП, отечественного и зарубежного опыта позволили бы обеспечить конкурентоспособность получаемой продукции.

Определение оптимальных режимов и параметров работы оборудования для переработки позволит добиться получения льноволокна наиболее высокого качества и, как результат, увеличить рентабельность переработки на стационарных линиях.

Основная часть

В ходе исследований предстояло выявить оптимальные режимы работы, при которых обеспечивается выход наиболее качественного короткого льноволокна.

При изучении технологического процесса переработки отходов трепания в короткое льноволокно применялся метод оперирования случайными величинами и законами их распределения.

В задачу исследований входило определение качества работы мяльно-трепального агрегата в зависимости от номера исходной льнотресты, поступающей на переработку в линию длинного льноволокна.

Основные параметры работы мяльно-трепального агрегата определялись по стандартной методике. Опыты проводились в соответствии с ГОСТ 9394–76 «Волокно льняное короткое», СТБ 1194–2007 «Треста льняная. Требования при заготовках» [1, 2].

Для определения качества переработки производились замеры разрывного усилия скрученной ленточки и заостренности отходов трепания до попадания в мяльно-трепальный агрегат, также замерялись эти показатели для короткого льноволокна после процесса обработки.

Результаты измерений обрабатывали методами математической статистики.

На основании полученных данных измерений, после обработки их методами математической статистики, изучали влияние режимов работы мяльных и трепальных барабанов машины на качественные показатели очистки льноволокна.

На рисунках 1 и 2 показаны мяльно-трепальный агрегат и панель управления рабочими органами машины.



Рисунок 1. – Мяльно-трепальный агрегат конвейерного типа

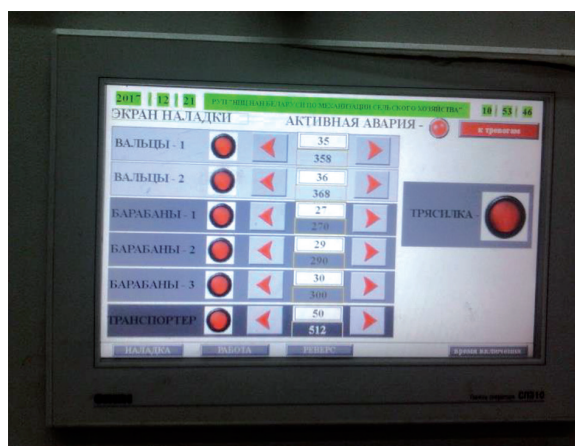


Рисунок 2. – Панель управления рабочими органами машины

Сгруппировав данные, полученные при проведении анализа процесса обескостривания и изменения разрывного усилия скрученной ленточки в зависимости от частот вращения трепальных барабанов при различном исходном сырье, найдем оптимальные режимы работы при переработке отходов трепания, полученных из льнотресты номеров 0,75; 1,00, 1,5, 2,00. С этой целью использовались только те режимы работы, при которых достигается наиболее высокий номер короткого льноволокна.

Качество работы агрегата определялось по количеству костры в волокне и разрывному усилию скрученной ленточки. Данные факторы являлись параметрами оптимизации y .

При выборе факторов оптимизации учитываем, что они должны непосредственно воздействовать на объект и быть действительно независимыми, управляемыми и изменяемыми. Исходя из этих требований, в качестве факторов оптимизации выбираем частоту вращения трепальных барабанов x_1 и исходный номер льнотресты x_2 .

Предполагаем, что значение параметра оптимизации с изменением режимов работы изменятся, скорее всего, нелинейно. Поэтому для математического описания объекта исследования применим планирование второго порядка. Предполагаем, что модель в общем случае может иметь вид [3]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2,$$

где y – величина отклика; $b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – оценки коэффициентов регрессии.

Данные, полученные в результате проведения эксперимента, сводились в таблицу 1.

Таблица 1. – Данные для оценки влияния исходных параметров отходов трепания для различных сортономеров на режимы переработки

Номер перерабатываемой льнотресты (x_1)	Оптимальные частоты вращения, мин^{-1} (x_2)	Закостренность короткого льноволокна, % (y_1)	Разрывная нагрузка скрученной ленточки, Н (y_2)
0,75	300	27	132
1,00	360	24	145
1,25	385	23	148
1,50	400	22	155
1,75	420	18	158
2,00	430	16	170

Для аппроксимации имеющихся статистических данных использовано уравнение множественной регрессии линейного вида:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2.$$

где x_1 – номер перерабатываемой льнотресты; x_2 – оптимальные частоты вращения, мин^{-1} ; a_i – неизвестные коэффициенты регрессии.

Коэффициенты регрессии определялись методом наименьших квадратов. В результате получено следующее уравнение, описывающее заостренность короткого льноволокна в зависимости от исходного номера поступающей на переработку в линию длинного льноволокна льноостры.

$$y_1 = 58,73 - 0,49x_1 + 144,12x_2 + 0,001x_1^2 - 0,42x_1x_2 + 10,42x_2^2. \quad (1)$$

Адекватность уравнения статистическим данным проверялась по критерию Фишера.

$$F = \frac{S_0^2}{S_y^2}.$$

Значимость коэффициентов регрессии вычислялась по условиям:

$$|a_0| \geq \frac{t_{\alpha, n-k-1} \cdot S_0}{\sqrt{n-k-1}}; \quad |a_1| \geq \frac{t_{\alpha, n-k-1} \cdot S_0}{\sqrt{n-k-1} \cdot S_i},$$

где S_0 – остаточная дисперсия величины y ; S_y – выборочная дисперсия величины y ; S_i – выборочная дисперсия i -го фактора; $t_{\alpha, n-k-1}$ – табличное значение критерия Стьюдента при выбранном уровне значимости α и числе степеней свободы $n - k - 1$; n – объем выборки; k – число факторов.

Дисперсии коэффициентов множественной и парной корреляции рассчитывались по общеизвестным соотношениям [4].

При $n = 15$ и $k = 3$ значение критерия $F = 2,3$.

Поскольку $F_{0,05} = 37,9 > F$, то уравнение (1) адекватно статистическим данным.

Найдем коэффициент детерминации, показывающий, какая доля вариации зависимой переменной обусловлена вариацией объясняющей переменной. Чем ближе R^2 к единице, тем лучше регрессия аппроксимирует эмпирические данные, тем теснее наблюдения примыкают к линии регрессии.

Получим следующие значения: $R_1^2 = 0,98$, $R_2^2 = 0,93$ для оборотов и исходного номера соответственно.

На рисунке 3 приведен график влияния частоты вращения трепальных барабанов и номера исходной льнотресты на заостренность короткого льноволокна.

Аналогичным образом проводим расчет зависимости разрывного усилия скрученной ленточки от частоты вращения трепальных барабанов и исходного номера льнотресты, поступающей на переработку.

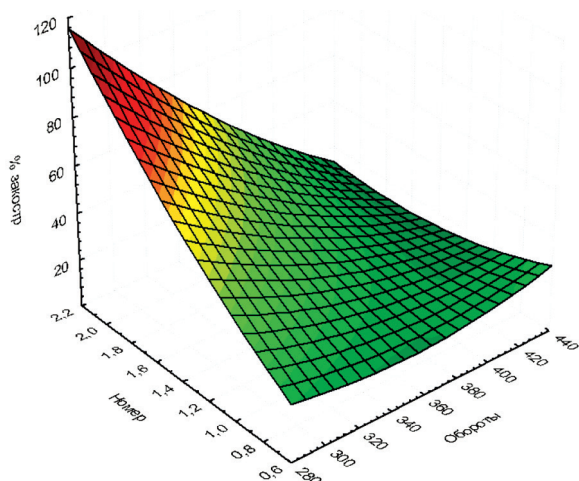


Рисунок 3. – Влияние частоты вращения трепальных барабанов и номера исходной льнотресты на заостренность короткого льноволокна

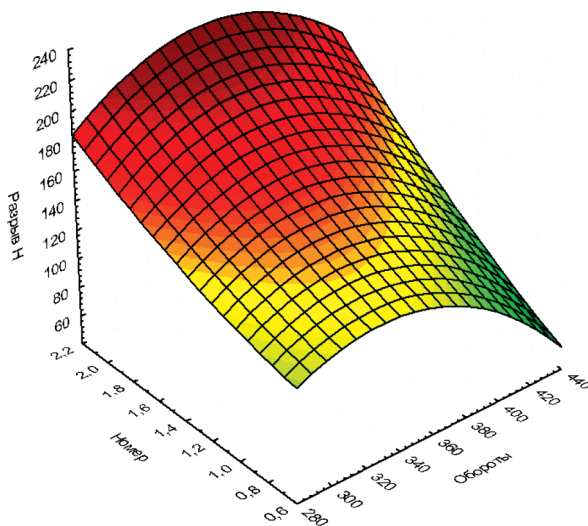


Рисунок 4. – Влияние частоты вращения трепальных барабанов и номера исходной льнотресты на разрывное усилие скрученной ленточки

$$y_2 = -527,36 + 4,05x_1 - 55,39x_2 - 0,006x_1^2 + 0,22x_1x_2 + 12,42x_2^2. \quad (2)$$

Поскольку $F_{0,05} = 40,6 > F$, то уравнение (2) адекватно статистическим данным.

Получим следующие значения: $R_1^2 = 0,98$, $R_2^2 = 0,96$ для оборотов и исходного номера соответственно.

На рисунке 4 приведен график влияния частоты вращения трепальных барабанов и номера исходной льнотресты на разрывное усилие скрученной ленточки.

Полученные зависимости и графики позволяют определить оптимальные режимы работы мяльно-трепального агрегата для выработки короткого льноволокна из отходов трепания в линии ЛКЛВ-0,75.

Заключение

В результате проведенных исследований получены уравнения регрессии и графики, описывающие качественные показатели получаемого короткого льноволокна в зависимости от скоростей вращения трепальных барабанов и исходного номера льнотресты в линии короткого льноволокна ЛКЛВ-0,75.

Литература

1. Волокно льняное короткое. Технические условия: ГОСТ 9394–76. – Введ. 30.06.1977; дата актуализации описания: 21.04.2018. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
2. Треста льняная. Требования при заготовках: СТБ 1194–2007. – Утв. и введ. 19.11.2007 / Госстандарт Республики Беларусь. – Минск: БелГИСС, 2008. – 14 с.
3. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 200 с.
4. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

УДК 633.521+677.014

Поступила в редакцию 17.08.2018
Received 17.08.2018

П. П. Казакевич, А. Н. Перепечаев, В. И. Карпунин

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОТЕНИЗАЦИИ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТКАНЯХ БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье представлены результаты исследований по производству котенизированного льняного волокна с целью его использования для тканей бытового назначения и изготовления упаковки. При этом, кроме разработанного технологического процесса, дана характеристика различных номеров короткого льняного волокна, предназначенного для котенизации химико-механическим способом. Представлена разработанная рецептура химического реагента для предварительной обработки низкосортного короткого льняного волокна. Изложена сущность протекающих процессов при обработке низкосортного короткого льняного волокна химическим реагентом.

Ключевые слова: котенизированное льняное волокно, технологический процесс, химико-механическая котенизация, короткое льноволокно, химический реагент.

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF COTTING OF FLAX FIBER FOR USE IN HOUSEHOLD TISSUES

The article presents the results of studies on the production of cationized flax fiber with a view to its use for household goods and packaging. At the same time, in addition to the developed technological process, the characteristics of various numbers of short flax fibers for curing by chemical mechanical means are given. In addition, the developed formulation of a chemical reagent intended for pretreatment of low-grade short flax fiber is presented. The essence of the proceeding processes is described at processing of a low-grade short linen fiber by a chemical reagent.

Keywords: cationized linen fiber, technological process, chemical-mechanical cationization, short flax fiber, chemical reagent

Введение

Актуальность проблемы, связанной с изучением и совершенствованием новых приемов получения модифицированного льняного волокна (МЛВ), обусловлена дефицитом сырья для нормальной работы хлопко- и шерстоперерабатывающих предприятий текстильной промышленности, а также необходимостью углубленной переработки короткого льняного волокна, получаемого на льнозаводах из отходов трепания льняной тресты.

Опыт зарубежных стран и анализ отечественных технических и технологических решений по рациональному использованию короткого льняного волокна позволяет считать наиболее перспективным направлением его переработку в хлопко- и шерстоподобный волокнистый продукт, пригодный для выработки смесовых пряж и других текстильных материалов.

Анализ известных технологий модификации технического льняного волокна по параметрам его длины и толщины с целью оценки возможной их реализации в условиях отечественных льнозаводов выявил ряд недостатков. Среди них – повышенная энерго- и материалоемкость технологий. Более экономичные технологии не позволяют получать волокно необходимого уровня по длине, толщине, отсутствует возможность варьирования этими показателями. Именно поэтому важнейшим направлением научного обеспечения льняного комплекса АПК является создание энергосберегающих, адаптированных к условиям отечественных льнозаводов технологий получения МЛВ с высокой технологической ценностью.

Основная часть

При использовании азотопроизводных лигнина при варке в количестве 0,5–1,5 % от массы сырья повышается выход целлюлозы и достигается избирательность процесса [1]. Исследователи [2] увеличение выхода целлюлозы при щелочной варке объясняют тем, что с введением в варочный щелок моноэтаноламина меньше разрушаются гемицеллюлозы, в частности пентозаны, что согласуется с данными другой работы [3].

Результаты, представленные в [2, 3], свидетельствуют, что при участии в процессе щелочной варки моноэтаноламина в диоксанлигнине происходит более интенсивное отщепление метоксильных и снижение содержания карбонильных, карбоксильных и п-оксибензилспиртовых групп. Что указывает на возрастание роли окислительно-восстановительных реакций в присутствии добавки моноэтаноламина. При этом происходит более интенсивное отщепление метоксильных и образование фенольных групп. Что в конечном итоге положительно отражается на качественных показателях льняного волокна.

Проведенные нами исследования при обработке низкосортного короткого льняного волокна показали (таблица 1), что при введении 4–5 % моноэтаноламина (при прочих равных условиях обработки) возрастают физико-механические показатели и белизна полученного льняного волокна, происходит положительное воздействие на процесс сохранения целлюлозы при моносульфитной варке растительного сырья [4].

Таблица 1. – **Физико-механические показатели качества короткого льняного волокна, подготовленного химико-механическим способом без добавки и с добавкой моноэтаноламина, а также в присутствии CO₂**

№ опыта	№ короткого волокна	Добавлено		Разрывная нагрузка скрученной ленты, <i>cH</i> (<i>кгс</i>), не менее		Нормированная массовая доля костры и сорных примесей (не более), %		Линейная плотность, <i>текс</i> , не более 4,0 (расщепленность, не менее 250)		Белизна, % белого	
		моноэтаноламина к волокну, %	углекислого газа к волокну, %	1	2	1	2	1	2	1	2
1	3	4	—	7,8	7,8	25	21			31	53
2	4	3	—	10,2	15,3	22	17	3,0	3,5	33	52
3	4	4	—	12,6	17,8	48	14	(260)	(265)	30	50
4	6	4	—	14,5	19,8	14	11			34	50
5	4	—	3	7,0	—	20	—	260	—	38	—
6	6	—	4	10,3	—	10	—	260	—	40	—

Примечание – 1 – без добавки моноэтаноламина; 2 – с добавкой моноэтаноламина.

Физико-механические показатели качества котонизированного волокна представлены в таблице 2.

Таблица 2. – **Физико-механические показатели качества котонизированного волокна**

Наименование вида волокна	Линейная плотность, <i>текс</i>	Сорные примеси, %	Разрывная нагрузка, <i>cH/текс</i>	Средняя длина волокна, <i>мм</i>	Белизна, % белого	
					1 ^х	2 ^х
Котонизированное № 3 механической подготовки	1,4 min – 1,0 max – 2,1	1,3 min – 1,4 max – 2,7	27 min – 25 max – 29	30	—	
Котонизированное № 4 механической подготовки	1,6 min – 1,5 max – 1,7	1,2 min – 1,0 max – 1,6	29 min – 28 max – 29	35	—	
Котонизированное № 6 механической подготовки	1,5 min – 1,5 max – 1,5	1,1 min – 0,9 max – 1,9	31 min – 27 max – 30	39	—	
Котонизированное № 4 химико-механической подготовки	1,5 min – 1,4 max – 1,6	1,15 min – 1,0 max – 1,6	28 min – 29 max – 31	36	—	
Котонизированное № 4 химико-механической подготовки с добавкой моноэтаноламина	1,5 min – 1,3 max – 2,0 2,7	0,95 min – 1,3 max – 1,5 1,9	33 min – 32 max – 33 38	38	—	
Котонизированное № 6 химико-механической подготовки	1,6 min – 1,4 max – 1,7	1,0 min – 0,8 max – 0,9	30 min – 33 max – 35	37	—	
Котонизированное № 6 химико-механической подготовки без добавки и с добавкой моноэтаноламина	1,6 min – 1,5 max – 1,7 —	1,2 min – 1,0 max – 1,2	35 min – 32 max – 33	— 40	42 57	

Примечание – 1^х – без добавки моноэтаноламина; 2^х – с добавкой моноэтаноламина.

Реагент для химической переработки представляет собой смесь раствора щелочи, гидрокарбоната натрия и моноэтаноламина для обработки короткого льняного волокна с целью улучшения его качественных показателей (белизны и физико-механических показателей).

Состав химического реагента: 8 % раствор гидроксида натрия (и моноэтаноламина из расчета 4–5 % к навеске короткого льняного волокна) для обработки короткого льняного волокна № 3–4; 4–5 % раствор гидроксида натрия для обработки короткого льняного волокна № 6–8 (и моно-

этанолamina из расчета 3–4 % к навеске короткого льняного волокна); 3 % раствор гидрокарбоната натрия (и моноэтанолamina из расчета 3–4 % к навеске короткого льняного волокна) в присутствии CO_2 для обработки короткого льняного волокна № 3–4 и № 6–8.

На 1 тонну воздушно-сухого волокна применяется 160 л реагента.

Для осуществления способа обработанное волокно без доступа воздуха нагревается в течение 20 часов при температуре 50–55 °С.

После промывки и сушки до необходимой влажности волокно подается на линию котонизации.

Основные функции линии для котонизации заключаются в следующем (применительно к Оршанскому льнокомбинату):

- 1) разделение поступающего материала на относительно небольшие части технических волокон;
- 2) предварительная очистка и укорачивание волокон без существенного расщепления;
- 3) окончательное расщепление на машинах поточной линии «кипа – лента».

Схема линии котонизации представлена на рисунке 1.

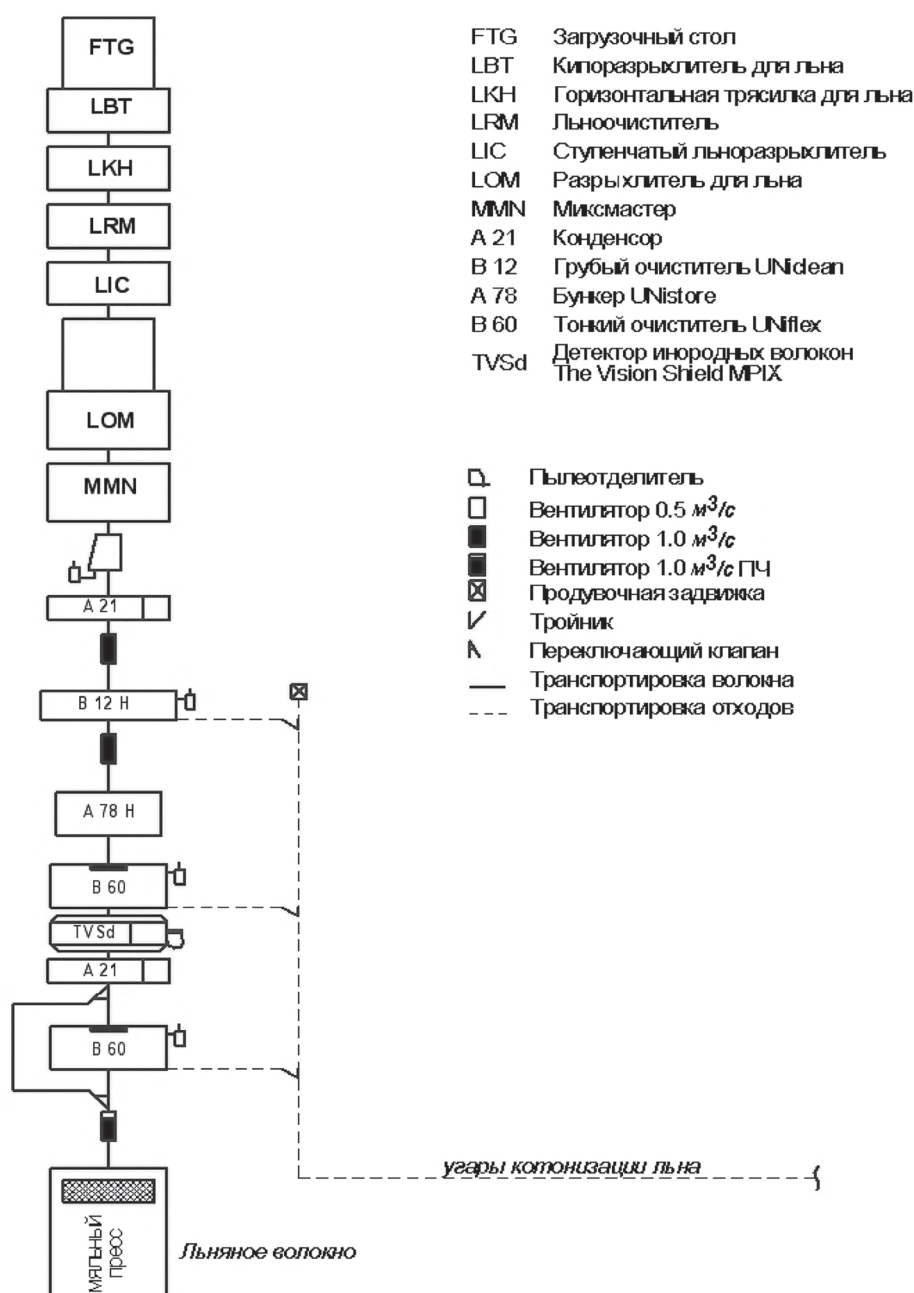


Рисунок 1. – Схема линии котонизации, установленная в РУПТП «Оршанский льнокомбинат»

Заключение

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют, что качество получаемого котонизированного волокна можно значительно повысить при его котонизации с добавкой моноэтаноламина, что позволяет улучшить его физико-механические показатели и белизну. Настоящую усовершенствованную технологию для улучшения качества волокна следует испытать на Оршанском льнокомбинате. При этом использование углекислого газа в процессе котонизации также позволяет улучшить качественные показатели льняного волокна, но действие CO_2 проявляется значительно хуже.

Литература

1. Способ облагораживания целлюлозы: а. с. 1509468 СССР, МКИ 4 D21C 9/00 / Ф. Я. Рубинова, В. А. Долматов, А. А. Леонович, Л. Г. Аким; Ленинградская лесотехническая академия им. С. М. Кирова. – № 4367465/31–12; заявл. 21.01.88; опубл. 23.09.89 // Открытия. Изобрет. – 1989. – № 39. – 3 с.
2. Reid, D. The effect addition of monoethanolamins alkaline cooking of wood / D. Reid, C. H. Nelson, S. Aranovski // Industr. Engin. Chem. Anal. Eg. – 1940. – Vol. 12. – Pp. 225–231.
3. Чуйко, Г. В. Влияние моноэтаноламина на делигнификацию при щелочной варке / Г. В. Чуйко, Э. И. Чупка, В. М. Никитин // Бумажная пром. – 1972. – № 7. – С. 7–9.
4. Способ получения целлюлозы: а. с. 1305226 СССР, МКИ4 D21C 3/04 / Т. В. Мурашкевич, И. И. Карпунин, Д. В. Мацкевич, И. Н. Абранпальский, А. М. Шишко; Институт физико-органической химии АН БССР. – № 3988328/29–12; заявл. 16.12.85; опубл. 23.04.87 // Открытия. Изобрет. – 1987. – № 15. – 3 с.

УДК 633.521+677.011

Поступила в редакцию 16.07.2018
Received 16.07.2018

А. Н. Перепечаев¹, А. Л. Рапинчук¹, В. П. Чеботарев²

*¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь*

*²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОРОТКОГО ЛЬНОВОЛОКНА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ТРЕПАЛЬНЫХ БАРАБАНОВ

В статье проведен анализ режимов работы мяльно-трепальной машины для переработки отходов трепания с целью получения наиболее качественного короткого льноволокна.

Ключевые слова: отходы трепания, короткое льноволокно, режимы работы, трепальные барабаны, номер перерабатываемой льнотресты.

A. N. Perepetchaev¹, A. L. Rapinchuk¹, V. P. Chebotarev²

*¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

*²Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus*

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE QUALITY OF A SHORT-FLAX LUMINUM FOR THE ACCOUNT OF CHANGING THE FREQUENCY OF ROTATION OF TRAPAL DRUMINGS

The article analyzes the modes of operation of the butcher-trephine machine for the processing of waste shaking to obtain the best quality short flax fiber.

Keywords: scrap waste, short flax fiber, operating modes, combing drums, number of processed flax.

Введение

Важная роль в АПК Республики Беларусь принадлежит льноводству, для развития которого на территории нашей страны имеются необходимые природно-климатические условия. Среди возделываемых в настоящее время в республике сельскохозяйственных культур лен-долгунец занимает одно из первых мест по рентабельности производства. Лен и изделия из него практически без ограничений могут быть востребованы на международном рынке. Все больший интерес у населения вызывает растительное масло из семян льна. А отходы его производства – жмых и шрот – нашли широкое применение в комбикормовой промышленности. Получаемые в больших объемах, они незаменимы для дальнейшего интенсивного развития молочного и мясного животноводства. Все вышеперечисленное позволяет сделать вывод о том, что лен является одной из перспективных культур для АПК нашей страны, а успешное решение проблем его переработки требует особого внимания разработчиков сельскохозяйственной техники. Однако, несмотря на все преимущества, льноводство в течение последних лет развивалось медленными темпами. Это обусловлено значительной трудоемкостью и энергоемкостью процессов переработки льна, недостаточным уровнем механизации ряда технологических процессов.

С целью определения влияния режимов работы технологического оборудования переработки отходов трепания на качественные показатели короткого льноволокна были проведены исследования частоты вращения трепальных барабанов мяльно-трепальной машины линии короткого льноволокна ЛКЛВ-0,75.

Основная часть

При исследовании режимов работы мяльно-трепального агрегата был проведен анализ получаемого короткого льноволокна при следующих условиях:

Сорт льна: Грант.

Номер льнотресты – № 2,0 и № 1,0.

Исходная влажность в рулонах – 19–23 %.

Исходная влажность в линии короткого льноволокна – 8–10 %.

Проведенные до этого исследования режима работы мяльных вальцов показали, что частота их вращения не оказывает значительного влияния на процесс очистки от костры отходов трепания, полученных с линии выработки длинного льноволокна, и скорость вращения мяльных вальцов может быть принята в виде постоянной величины. Частота вращения мяльных вальцов: 1-я группа вальцов – 360 мин⁻¹, 2-я группа – 380 мин⁻¹. Разность скоростей вращения первой и второй групп обусловлена только эксплуатационными показателями и увеличена во второй группе с целью исключения подбивок перерабатываемого материала под вальцы второй группы, а соответственно, и намоток на вальцы и трепальные барабаны.

Забор проб для оценки качества короткого льноволокна производился после прохождения трех трясильных машин, перед проходным прессом короткого льноволокна. Полученные результаты сводились в таблицу 1.

Для аппроксимации имеющихся статистических данных использовано квадратное уравнение регрессии вида [1]:

$$y = a + bx + cx^2, \quad (1)$$

Коэффициенты регрессии определялись методом наименьших квадратов. В результате получены уравнения, описывающие влияние оборотов трепальных барабанов на заостренность (y_1) короткого льноволокна и на разрывное усилие скрученной ленточки (y_2).

$$y_1 = 61,59 - 0,16x + 0,0001x^2, \quad (2)$$

$$y_2 = 193,57 + 0,199x - 0,0006x^2. \quad (3)$$

Таблица 1. – Результаты исследования короткого льноволокна после обработки (№ 2,00)

Факторы		Зависимая переменная	
Обороты трепальных секций, <i>мин</i> ⁻¹	Средние значения оборотов для группы, <i>мин</i> ⁻¹	Закостренность льноволокна, % (<i>y</i> ₁)	Разрывная нагрузка скрученной ленточки, <i>H</i> (<i>y</i> ₂)
250	270	29	206
270		28	208
290		27	208
300	320	24	191
320		22	196
340		23	197
350	370	19	182
370		19	186
390		18	184
400	420	14	181
420		15	180
440		15	175
450	466	12	155
470		13	151
480		12	157

Адекватность уравнения статистическим данным проверялась по критерию Фишера.

$$F = \frac{S_0^2}{S_y^2}. \quad (4)$$

Значимость коэффициентов регрессии вычислялась по условиям:

$$|a_0| \geq \frac{t_{\alpha, n-k-1} \cdot S_0}{\sqrt{n-k-1}}; \quad |a_1| \geq \frac{t_{\alpha, n-k-1} \cdot S_0}{\sqrt{n-k-1} \cdot S_i}, \quad (5)$$

где S_0 – остаточная дисперсия величины y ; S_y – выборочная дисперсия величины y ; S_i – выборочная дисперсия i -го фактора; $t_{\alpha, n-k-1}$ – табличное значение критерия Стьюдента при выбранном уровне значимости α и числе степеней свободы $n - k - 1$; n – объем выборки; k – число факторов.

Дисперсии коэффициентов множественной и парной корреляции рассчитывались по общеизвестным соотношениям [2, 3].

При $n = 15$ и $k = 3$ значение критерия $F = 2,12$.

Поскольку $F_{0,05} = 194,1 > F$ (для закоростренности) и $F_{0,05} = 92,6 > F$ (для разрывной нагрузки), уравнения (2) и (3) адекватны статистическим данным.

Найдем коэффициент детерминации, показывающий, какая доля вариации зависимой переменной обусловлена вариацией объясняющей переменной. Чем ближе R^2 к единице, тем лучше регрессия аппроксимирует эмпирические данные, тем теснее наблюдения примыкают к линии регрессии.

Получим следующие значения: $R_1^2 = 0,972$, $R_2^2 = 0,936$ для закоростренности и для разрывной нагрузки скрученной ленточки соответственно.

На рисунках 1 и 2 приведены графики влияния частоты вращения трепальных барабанов на процесс обескостривания льноволокна и на разрывное усилие при переработке отходов трепания, полученных из льнотресты № 2,00.

Как видно из графиков, для обеспечения наименьшего содержания костры в коротком льноволокне целесообразно повышать обороты трепальных барабанов, но при этом возникает проблема перетираания короткого льноволокна, из-за чего оно теряет в разрывной нагрузке. Так, при проведении анализа оптимальным режимом работы для отходов трепания после обработки льнотресты № 2,00 на линии длинного льноволокна можно считать среднюю частоту вращения трепальных барабанов в пределах от 400 до 430 *мин*⁻¹, при этом закоростренность льнотресты будет находиться в пределах 15–17 %, что соответствует № 6 короткого льноволокна. Однако

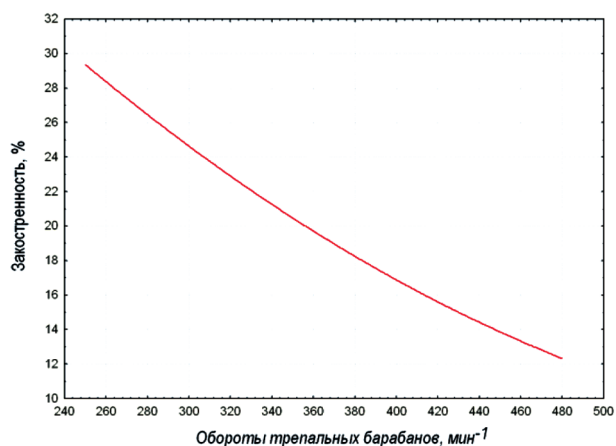


Рисунок 1. – Зависимость частоты вращения трепальных барабанов на процесс обескостривания льноволокна (№ 2,00)

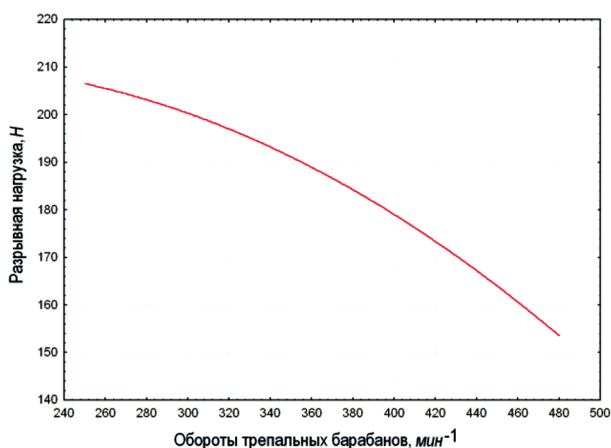


Рисунок 2. – Влияние частоты вращения трепальных барабанов на разрывное усилие короткого льноволокна (№ 2,00)

следует отметить, что полученные частоты вращения трепальных барабанов не всегда будут обеспечивать выход короткого льноволокна наилучшего качества, так как при переработке отходов трепания сырье поступает в машину неравномерно. Вместе с тем данные режимы работы оборудования позволяют получить наибольшее количество качественного короткого льноволокна при переработке льнотресты № 2,00.

Также были проведены исследования влияния оборотов трепальных барабанов на исходные параметры короткого льноволокна при переработке отходов трепания льнотресты № 1,00 с линии длинного льноволокна.

На основании обработки экспериментальных данных были получены уравнения:

$$y_1 = 68,03 - 0,21x - 0,0002x^2; \quad (6)$$

$$y_2 = 346,07 - 0,72x - 0,0005x^2. \quad (7)$$

На рисунках 3 и 4 приведены графики влияния частоты вращения трепальных барабанов на процесс обескостривания льноволокна и на разрывное усилие при переработке отходов трепания, полученных из льнотресты № 1,00.

При проведении анализа оптимальным режимом работы для отходов трепания после обработки льнотресты № 1,00 на линии длинного льноволокна можно считать среднюю частоту

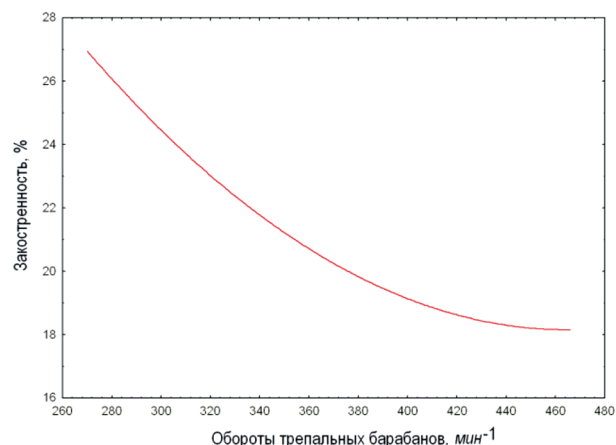


Рисунок 3. – Зависимость частоты вращения трепальных барабанов на процесс обескостривания льноволокна (№ 1,00)

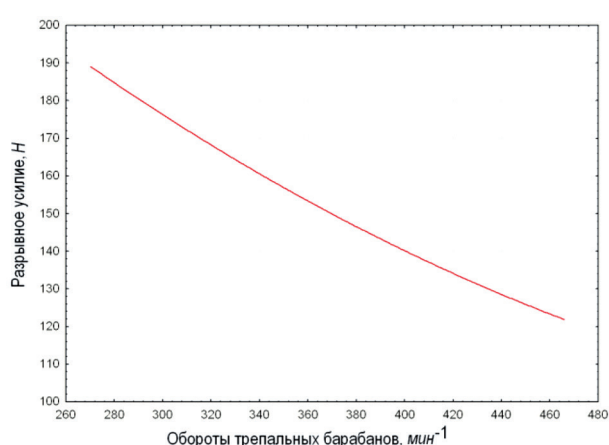


Рисунок 4. – Влияние частоты вращения трепальных барабанов на разрывное усилие короткого льноволокна (№ 1,00)

вращения трепальных барабанов в пределах от 340 до 400 мин^{-1} , при этом заостренность льнотресты будет находиться в пределах 19–24 %, что соответствует № 4 короткого льноволокна, разрывная нагрузка – в пределах 140–160 Н. Однако, как и в предыдущем случае, следует отметить, что полученные частоты вращения трепальных барабанов не всегда будут обеспечивать выход короткого льноволокна наилучшего качества, так как при обработке отходов трепания сырье поступает на машину неравномерно.

Проведенные исследования позволили определить, что с увеличением частоты вращения трепальных барабанов очистка волокна от костры заметно улучшается, но одновременно увеличивается и интенсивность его разрушения, выражающаяся в уменьшении средней массодлины волокна.

Влияние частоты вращения барабанов на эффективность обескостривания и повреждение волокна объясняется ростом сил давления и трения пропорционально квадрату частоты вращения барабанов.

Помимо этого, существенное влияние на процесс трепания оказывает глубина захождения планок в обрабатываемый слой, которая в данных исследованиях являлась постоянной величиной. При увеличении глубины захождения увеличивается угол обхвата кромки волокном и растет число планок, находящихся одновременно в поле трепания. Все это приводит к возрастанию сил давления на материал со стороны кромки и сил натяжения. Вместе с тем процесс регулировки глубины захождения трепальных барабанов в обрабатываемый слой является достаточно трудоемкой операцией, в отличие от изменения частоты вращения трепальных барабанов, которого можно добиться включением в электрическую схему привода частотного преобразователя.

Заключение

В результате проведенных исследований получены уравнения регрессии, описывающие качественные показатели получаемого короткого льноволокна в зависимости от скоростей вращения трепальных барабанов в линии короткого льноволокна ЛКЛВ-0,75.

В результате проведения анализа оптимальным режимом работы для отходов трепания после обработки льнотресты № 1,00 на линии длинного льноволокна можно считать среднюю частоту вращения трепальных барабанов в пределах от 340 до 400 мин^{-1} , при этом заостренность льнотресты будет находиться в пределах 19–24 %, что соответствует № 4 короткого льноволокна, разрывная нагрузка – в пределах 140–160 Н.

Оптимальным режимом работы для отходов трепания после обработки льнотресты № 2,00 на линии длинного льноволокна можно считать среднюю частоту вращения трепальных барабанов в пределах от 400 до 430 мин^{-1} , при этом заостренность льнотресты будет находиться в пределах 15–17 %, что соответствует № 6 короткого льноволокна. Однако следует отметить, что полученные частоты вращения трепальных барабанов не всегда будут обеспечивать выход короткого льноволокна наилучшего качества, так как при переработке отходов трепания сырье поступает в машину неравномерно. Вместе с тем данные режимы работы оборудования позволяют получить наиболее качественное короткое льноволокно при переработке.

Литература

1. Венцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
3. Гутер, Р. С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. – М.: Наука, 1970. – 432 с.

В. И. Скибчик, Р. Б. Кудринетский

*ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»
Национальной академии аграрных наук Украины (ННЦ «ИМЭСХ»)
п.г.т. Глеваха, Киевская обл., Украина
e-mail: skibczyk05@gmail.com; kudsl@ukr.net*

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОГРАММАХ УБОРКИ РАННИХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Определены множество, функции и назначение структурных компонентов автоматизированной системы поддержки принятия решений в программах уборки ранних зерновых культур, а также раскрыты взаимосвязи между ними.

Ключевые слова: автоматизированная система, поддержка принятия решений, уборка зерновых культур, структура системы.

V. I. Skibchyk, R. B. Kudrynetskyi

*NSC «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»
National academy of agrarian Sciences of Ukraine (NSC «IAEE»)
Glevakha, Kiev region, Ukraine
e-mail: skibczyk05@gmail.com; kudsl@ukr.net*

STRUCTURE OF THE AUTOMATED SUPPORT SYSTEM FOR DECISION-MAKING IN THE PROGRAMS OF HARVESTING EARLY GRAIN CULTURES

Marked a lot of, purpose and functions of the structural components of the automated system of support of decision-making in programs of cleaning of early grain crops, and revealed the relationship between them.

Keywords: automated system, decision support, harvesting of grain crops, structure of the system.

Введение

Эффективность производства сельскохозяйственной продукции, в частности зерна, зависит от уровней технического обеспечения товаропроизводителей и управления соответствующими проектами и программами. Повышение качества управления полеводческими проектами и программами требует создания систем поддержки принятия объективных и эффективных решений руководителями хозяйств на разных этапах управления.

Проекты и программы уборки ранних зерновых культур (ППУРЗК) характеризуются значительными рисками несвоевременности их выполнения, что приводит к потерям выращенного урожая. Эти риски обусловлены стохастическим действием агрометеорологических условий зерноуборочного периода. Учесть их влияние на выполнение ППУРЗК можно на основе статистического имитационного моделирования. Это должно быть учтено в создаваемой системе поддержки принятия решений программы уборки ранних зерновых культур (СППР ПУЗ).

Результаты исследований

В последнее время в Украине все больше развивается аграрный бизнес, который, в свою очередь, побуждает к развитию знаний в области менеджмента агропромышленного производства [1–3].

Стремительное развитие ИТ-технологий в мире и Украине обусловило их широкое внедрение во всех сферах производства сельскохозяйственной продукции. Однако разработанные автоматизированные информационные системы касаются управления отдельными его составляю-

щими – рабочими процессами механизмов, узлов и агрегатов; процессами изменения технического состояния машин и движения машинных агрегатов; процессами учета и контроля состояния почвы и внесения технологических материалов, контроля состояния посевов [3].

На сегодня стремительную популярность приобретают комплексные информационные системы управления агробизнесом [4–5]. Тем не менее процессы планирования, учета и анализа деятельности сельхозтоваропроизводителя базируются на фактически полученной информации о состоянии предмета труда, технического обеспечения технологических процессов и т. п. Такие системы не позволяют спрогнозировать возможные риски несвоевременности выполнения полевых проектов и программ, которые обусловлены влиянием меняющихся производственных и агрометеорологических факторов.

Анализ указанных публикаций дает основание утверждать, что как в мире в целом, так и в Украине в частности отсутствуют СППР ПУЗ, которые позволили бы спроектировать технологические процессы уборки ранних зерновых культур (ТП УРЗК) при заданных технических, производственных и агрометеорологических условиях их реализации и оценить возможные риски несвоевременности выполнения соответствующих проектов и программ. Использование такой системы позволит получать информацию, на основе которой менеджеры хозяйств смогут принимать объективные и эффективные решения на разных этапах управления ими.

Важным шагом на пути создания СППР ПУЗ является разработка ее структуры (рисунок 1). Автоматизированную систему поддержки принятия решений в ППУРЗК формируют семь основных подсистем: 1) автоматизированного сбора информации; 2) управления базами данных (БД); 3) планирования компьютерных экспериментов; 4) статистического имитационного моделирования ТП УРЗК; 5) статистической обработки данных; 6) критериального оценивания эффективности проектов уборки ранних зерновых культур; 7) диалога (интерфейса).

Первая подсистема должна обеспечивать сбор в автоматизированном режиме меняющейся информации, размещенной на доступных веб-ресурсах, а именно: информации о состоянии метеорологических условий на текущие и ближайшие сутки (прогноз погоды), электронных карт с характеристиками полей сельхозтоваропроизводителя. Собранная информация должна передаваться и заноситься в соответствующие базы данных подсистемы управления.

Вторая подсистема должна выполнять функции: структурирования, записи, обновления и поиска в базах данных необходимой информации; создания и хранения баз данных; контроля доступа к ним; ведения контрольных журналов выполненных действий по отношению к информации.

Неотъемлемой составляющей СППР ПУЗ является подсистема планирования компьютерных экспериментов, которая должна определять их необходимое количество со статистической имитационной моделью ТП УРЗК для получения объективных функциональных показателей зерноуборочно-транспортных комплексов (ЗТК).

Четвертая подсистема должна инициализировать и реализовывать моделирование ТП СРЗК. В ее основе лежат имитационные модели «поле – комбайн», «поле – комбайны» и «поля – комбайны» [2], которые объединяют ряд подмоделей (рисунок 1).

Пятая подсистема должна выполнять статистическую обработку как исходной (входной) информации, так и результатов статистического имитационного моделирования.

Шестая подсистема призвана обеспечивать стоимостное и энергетическое оценивание полученных функциональных показателей важности зерноуборочных проектов и программ – определение вероятности и объемов несвоевременно убранных площадей ранних зерновых культур на отдельных полях и по хозяйству в целом, стоимостной оценки прогнозируемых потерь выращенного урожая вследствие несвоевременности выполнения зерноуборочных проектов и программ, а также расхода топлива на выполнение указанных проектов и программ. Полученная информация поможет менеджеру хозяйства принять решения относительно: 1) рациональных параметров ЗТК; 2) организационного режима работы ЗТК; 3) определения потребности в дополнительных ЗТК, времени начала и продолжительности их привлечения; 4) эффективного распределения ЗТК по полям; 5) определения потребности в топливе и исполнителях для выполнения зерноуборочных проектов и программ; 6) обоснования необходимой площади уборки для заданных параметров ЗТК.

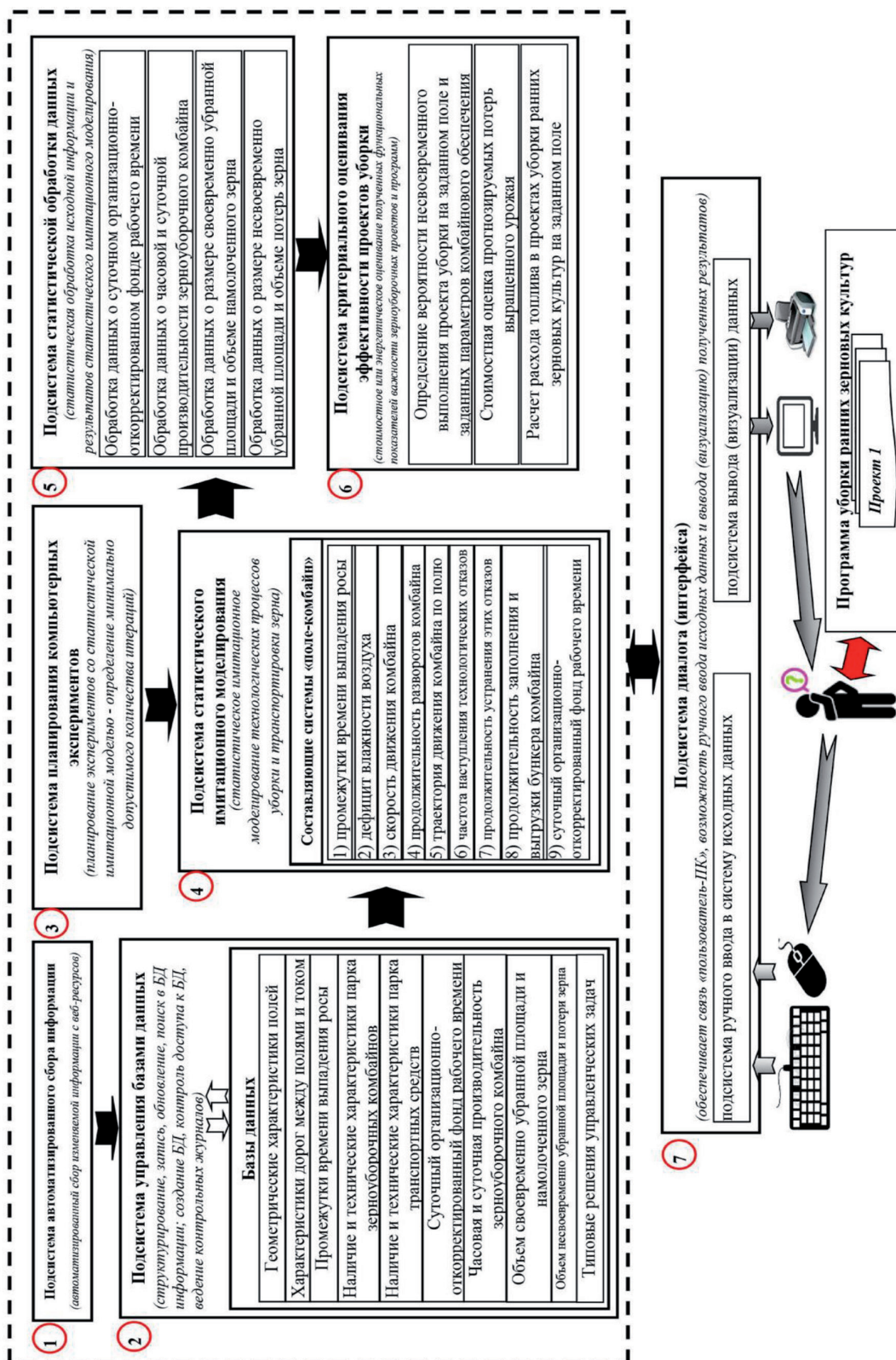


Рисунок 1. – Структурная схема автоматизированной системы поддержки принятия решений в программах уборки ранних зерновых культур

Подсистема диалога (интерфейса) должна обеспечивать связь пользователя с СППР ПУЗ через ПК, возможность ручного ввода исходных данных и вывода (визуализацию) запрашиваемых данных. Она должна состоять из подсистем ввода в СППР ПУЗ исходных данных и вывода (визуализации) данных на мониторе ПК или в печатном виде.

Заключение

Разработанная структура СППР ПУЗ является основой создания соответствующей автоматизированной системы, использование которой позволит повысить эффективность управления проектами и программами уборки ранних зерновых культур на основе проектирования ТП УРЗК.

Литература

1. Сидорчук, О. В. Означення задач узгодження інтегрованих програм збирання ранніх зернових культур / О. В. Сидорчук, А. М. Тригуба, О. В. Макаруч, В. І. Скібчик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х., 2012. – Т. 1, № 10. – С. 38–41.
2. Сидорчук, О. В. Планування механізованих зернозбиральних робіт і проектів: монографія / О. В. Сидорчук; за ред. В. В. Адамчука. – Ніжин: ПП «Лисенко М. М.», 2013. – 155 с.
3. Сидорчук, А. Проектно-технологические предпосылки управления аграрным производством на основе ИТ-технологий / А. Сидорчук // MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 3. – С. 31–40.
4. Система Soft.Farm: Автоматизація управління [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.soft.farm/uk>. – Дата доступа: 12.08.2018.
5. Pantheon Farming. Професійне програмне забезпечення для Вашого агробізнесу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.datalab.ch/uk/>. – Дата доступа: 12.08.2018.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 05.10.2018
Received 05.10.2018

А. Н. Юрин¹, В. В. Викторович¹, А. Д. Чечеткин²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ПЛОДОУБОРОЧНОГО АГРЕГАТА

В статье приводятся результаты выполненных исследований по взаимодействию плодов с различными поверхностями и даются предложения по наиболее оптимальной конструкции транспортирующих органов плодуборочного агрегата, предотвращающей соударения плодов при транспортировании.

Ключевые слова: плодводство, плодуборочный агрегат, транспортирующее устройство, теория упругого контакта, математическая модель, соударение плодов.

A. N. Jurin¹, V. V. Viktorovich¹, A. D. Chechetkin²

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

²Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

STUDY OF INTERACTION OF FRUITS WITH VARIOUS SURFACES OF FRUIT-TREATMENT AGGREGATE

The article presents the results of the studies carried out on the interaction of fruits with various surfaces and gives suggestions on the most optimal design of the transporting organs of the fruit harvesting unit, preventing the fruit from colliding during transportation.

Keywords: fruit growing, fruit harvesting unit, transporting device, theory of elastic contact, mathematical model, impact of fruits.

Введение

Плодоводство занимает важнейшее место в обеспечении населения Республики Беларусь продуктами питания. Однако при этом на одного жителя в республике производится всего лишь около 30 кг плодов и ягод при медицинской норме 98 кг [1].

В то же время плодоводство в Беларуси остается одной из наименее механизированных отраслей сельского хозяйства, в которой доля механизированных работ не превышает 25...30 %. Затраты на содержание и обслуживание плодоносящего сада составляют до 8,9 млн чел.-ч/га, ягодников – до 8,5 млн чел.-ч/га.

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.

Для определения параметров и режимов работы транспортирующих рабочих органов плодуборочной платформы необходимо выбрать модель плода, достоверно описывающую его состояние при взаимодействии плода с транспортирующими устройствами, определить напряжения, возникающие во время процесса уборки, и установить допустимые их значения для обеспечения высокого качества уборки плодов.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись различные виды взаимодействия плодов с транспортирующими органами плодуборочного агрегата. При исследовании применялся анализ напряжений, возникающих в плодах при ударе, с помощью теории упругого контакта Герца.

Результаты исследований

Модель плода

Для определения напряжений, возникающих в плодах при ударе, нужно воспользоваться представлениями классической механики твердого деформируемого тела, которая разрабатывалась для конструкционных материалов. Применение данного математического аппарата механики сплошной среды для растительных тканей требует обоснования.

В механике сплошной среды предполагается, что деформируемые тела, испытывающие действие внешних сил, являются сплошными, однородными и изотропными, а самый малый элементарный объем, выделенный из этого тела, обладает теми же физико-механическими свойствами, что и все тело.

В механике сплошной среды этот объем сводится к нулю, что и соответствует идеальной, сплошной, однородной изотропной среде. В действительности такие среды в инженерной практике встречаются редко.

В подавляющем большинстве случаев свойства материалов изучаются на элементарных представительных объемах с конечными размерами [2]. Выбранный элементарный объем должен адекватно представлять свойства рассматриваемого материала. Для плодов семечковых и косточковых культур элементарный объем может быть представлен в виде совокупности клеток. Объем этой совокупности клеток должен быть в тысячи раз меньше объема плода, и его физико-механические свойства должны представлять собой осредненные значения свойств основной ткани плода. Выбор такого элементарного представительного объема позволяет нам считать материал плода сплошным, однородным и изотропным и оправдывает применение для решения данной динамической контактной задачи математической модели механики сплошной среды.

Данные допущения позволяют применить для анализа напряженного состояния теорию упругого контакта Герца. Пусть два упругих

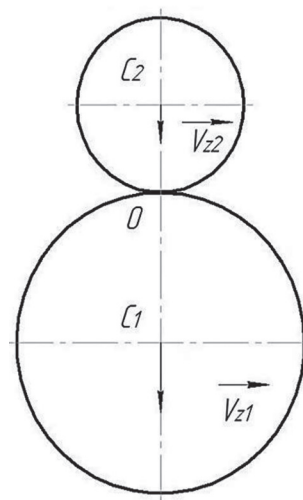


Рисунок 1. – Расчетная схема упругого удара шаров

шара с массами m_1 и m_2 (рисунок 1) движутся со скоростями V_{z1} и V_{z2} вдоль линии, соединяющей их центры (точки C_1 и C_2), и сталкиваются в точке O .

Во время удара из-за упругих деформаций расстояние между центрами шаров становится равным δ_z . Их относительная скорость равна:

$$V_{z2} - V_{z1} = \frac{d\delta_z}{dt}. \quad (1)$$

Сила взаимодействия в любой момент $P(t)$ определяется следующим образом:

$$P = m_1 \frac{dV_{z1}}{dt} = -m_2 \frac{dV_{z2}}{dt}. \quad (2)$$

Продифференцировав по времени (1) и используя выражение (2), можно записать:

$$\frac{d}{dt}(V_{z2} - V_{z1}) = -\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} P = \frac{d^2 \delta_z}{dt^2}. \quad (3)$$

Соотношение между P и δ_z берется таким, как при статическом контакте:

$$P = K \cdot \delta_z^{3/2}, \quad (4)$$

где K – коэффициент, зависящий от упругих свойств тел, а также их размеров, то есть радиусов.

$$K = \frac{4}{3} R^{1/2} E^*. \quad (5)$$

В формуле (5) обозначено:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (6)$$

где R_1 и R_2 – радиусы шаров; E^* – приведенный модуль упругости.

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}, \quad (7)$$

где E_1 , E_2 и ν_1 , ν_2 – модули упругости тел и коэффициенты Пуассона.

Выражение (4) справедливо для случаев, когда область контакта имеет форму круга, то есть в случае контакта двух тел сферической формы и при контакте сферы с плоскостью.

Учитывая (3), выражение (4) можно записать:

$$m \frac{d^2 \delta_z}{dt^2} = -K \delta_z^{1/2}, \quad (8)$$

где принято

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}. \quad (9)$$

Проинтегрируем выражение (8) по δ_z , предварительно осуществив следующие преобразования:

$$\frac{d^2 \delta_z}{dt^2} = \frac{d\dot{\delta}_z}{dt} \frac{d\delta_z}{d\delta_z} = \frac{\dot{\delta}_z d\dot{\delta}_z}{d\delta_z}. \quad (10)$$

Подставим (10) в (8) и, разделив переменные, получим:

$$\dot{\delta}_z d\dot{\delta}_z = -\frac{K}{m} \delta_z^{3/2} d\delta_z. \quad (11)$$

Проинтегрируем выражение (11) по $\dot{\delta}_z$ и δ_z , от начала удара до какого-то промежуточного момента удара

$$\int_{V_0}^{\delta_z} \dot{\delta}_z d\delta_z = - \int_0^{\delta_z} \frac{K}{m} \delta^{3/2} d\delta_z, \quad (12)$$

где $V_0 = (V_{z_2} - V_{z_1})_{t=0}$ – скорость сближения тел в момент удара.

В результате интегрирования получим:

$$\frac{1}{2} \left(V_0^2 - \left(\frac{d\delta_z}{dt} \right)^2 \right) = \frac{2}{5} \frac{K}{m} \delta_z^{2/5}. \quad (13)$$

Из выражения (13) можно найти максимальное сближение шаров $\dot{\delta}_z$, соответствующее максимальной их деформации, то есть когда $\frac{d\delta_z}{dt} = 0$.

$$\delta_z^* = \left(\frac{5mV_0^2}{4K} \right)^{2/5} = \left(\frac{15mV_0^2}{16R^{1/2}E^*} \right)^{2/5}. \quad (14)$$

Формула (14) справедлива для случаев контакта двух тел сферической формы и при контакте сферы с плоскостью.

Зависимость сжатия от времени находится повторным интегрированием (13) и выражается в виде:

$$t = \frac{\delta_z^*}{V_0} \int \frac{d\left(\frac{\delta_z}{\delta_z^*}\right)}{\left(1 - \left(\frac{\delta_z}{\delta_z^*}\right)^{5/2}\right)^{1/2}}. \quad (15)$$

После момента максимального сжатия t^* шары вновь восстанавливают форму. Так как они идеально упруги, трение отсутствует, а энергией, переходящей в волновое движение, пренебрегаем, то деформации абсолютно обратимы. Следовательно, общее время удара

$$T_c = 2t^* \frac{2\delta_z^*}{V_0} \int_0^1 \frac{d\left(\frac{\delta_z}{\delta_z^*}\right)}{\left(1 - \left(\frac{\delta_z}{\delta_z^*}\right)^{5/2}\right)^{1/2}}. \quad (16)$$

Интегрирование (16) дает следующее выражение для времени удара:

$$T_c = 2,94 \frac{2\delta_z^*}{V_0} = 2,87 \left(\frac{m^2}{RE^* V_0} \right)^{1/5}. \quad (17)$$

Согласно теории Герца, давление, развивающееся между двумя контактирующими гладкими упругими телами вращения

$$p(r) = p_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right)^{1/2}, \quad (18)$$

где p_0 – максимальное давление; a – радиус площадки контакта; r – текущий радиус окружности, лежащей в площадке контакта с центром в центре площадки контакта.

Согласно выражению (18), максимальное давление будет в центре площадки контакта ($r = 0$), а по краям площадки ($r = a$) давление равно нулю (рисунок 2).

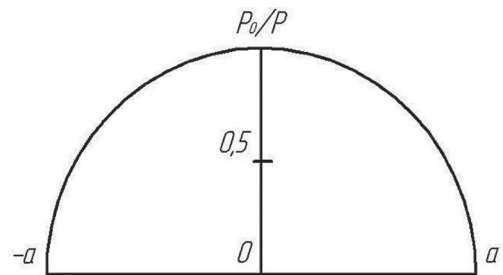


Рисунок 2. – Распределение давления по круговой площадке контакта

Радиус области контакта определяется по формуле

$$a = \frac{\pi p_0 R}{2E^*}. \quad (19)$$

Полная сжимающая нагрузка связана с давлением соотношением

$$P = \int_0^a p(r) 2\pi r dr = \frac{2}{3} p_0 \pi a^2. \quad (20)$$

Отсюда максимальное давление, с учетом соотношения (19), можно определить следующим образом:

$$p_0 = \frac{3P}{2\pi a^2} = \left(\frac{6PE^{*2}}{\pi^3 R^2} \right)^{1/3}. \quad (21)$$

В связи с тем, что при ударных взаимодействиях сжимающая нагрузка P зависит от скорости, на практике удобнее пользоваться формулой, которая получается при подстановке в (21) выражений (4), (5), (14) и определяет величину максимального контактного давления в момент максимального сжатия:

$$p_0 = \frac{1}{\pi} \left(30 \frac{m}{R^3} V_0^2 E^{*4} \right)^{1/3}. \quad (22)$$

Представленная математическая модель определения величины контактного давления в момент сжатия (22) может быть использована для определения максимального давления в плодах в следующих случаях: при ударе плода о дно контейнера, соударении двух свободных плодов при перемещении по транспортирующим устройствам плодуборочного агрегата, ударе плода о поверхность из плотно лежащих плодов [3].

Удар плода о ровную поверхность (дно контейнера)

Для этого необходимо в выражениях (6) и (9) положить $R_2 = \infty$ и $m_2 = \infty$ (рисунок 3). Тогда в формуле (22) R и m будут радиус и масса плода соответственно, а V_a – скорость центра масс плода в момент удара.

В этом случае R и m не являются приведенными величинами, поэтому выразим массу плода через его плотность ρ .

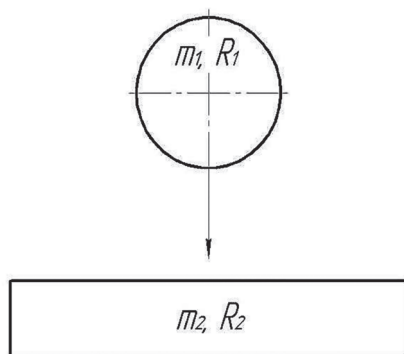


Рисунок 3. – Расчетная схема удара плода о дно контейнера

$$m = \rho \frac{4}{3} \pi R^3. \quad (23)$$

Тогда формула (22) приобретает вид:

$$p_0^{(1)} = \left(40 \rho V^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}. \quad (24)$$

Как следует из формулы (24), при ударе тела сферической формы о плоскую поверхность максимальное контактное давление определяется скоростью удара, упругими характеристиками тел и плотностью плода и не зависит от его размеров. Плотность плодов зависит от сорта и сроков уборки.

Основные показатели плодов семечковых культур, применяемых при расчетах, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. – Основные показатели яблок различных сортов

Показатель	Яблоко (6 сортов)
Масса плода, г	42–122
Высота плода, мм	40–60
Усилие отрыва плодоножки от ветки, кгс	0,8–2,35
Усилие отрыва плодоножки от плода, кгс	0,9–3,05
Насыпная плотность, кг/м ³	617–650

Таблица 2. – Индивидуальная масса и плотность плодов

Плоды	Индивидуальная масса, г		Плотность, г/см ³	
	минимальная	максимальная	минимальная	максимальная
Яблоко	42,0	160,0	0,733	0,972
Груша	28,0	155,0	0,964	1,167

С помощью полученного выражения (24) определяется зависимость контактного давления, влияющего на повреждаемость плодов при падении, от скорости соударения плода о плоскую поверхность (рисунок 4).

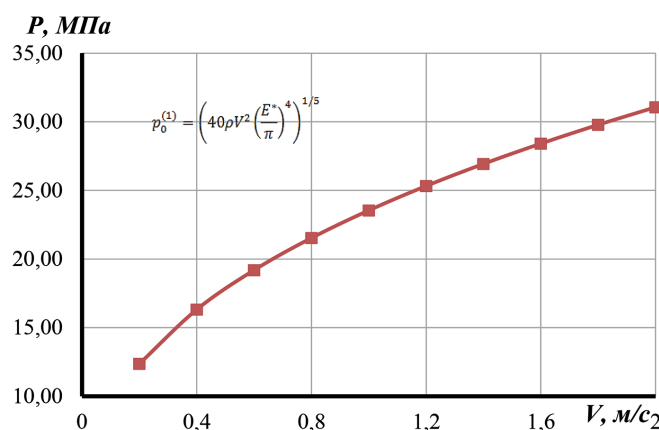


Рисунок 4. – Зависимость контактного давления от скорости соударения плодов

Представленная ситуация случается, когда плод переходит с лотка на горизонтальный конвейер, а также когда плод падает с вертикального конвейера в пустой контейнер.

Соударение двух свободных плодов

Ситуация соударения двух свободных плодов может возникать, когда плоды сталкиваются друг с другом в воздухе в момент перехода с лотков на горизонтальный конвейер или при свободном перекаатывании по рабочим поверхностям (рисунок 5).

В этом случае в формуле (22) величины m и R являются приведенными и определяются выражениями (6) и (9). Поэтому в формуле (22) отношение $\frac{m}{R^3}$ может быть представлено в виде:

$$\frac{m}{R^3} = \frac{\left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right)}{\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)^3} = \frac{\frac{3}{4} \pi \left(\frac{R_1^3 \rho_1 R_2^3 \rho_2}{R_1^3 \rho_1 + R_2^3 \rho_2}\right)}{\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)^3} = f(R), \quad (25)$$

где R_1 , ρ_1 и R_2 , ρ_2 – соответственно радиусы и плотность первого и второго тела.

Так как в случае уборки плодов взаимодействовать будут плоды одного сорта, а следовательно, одинаковой плотности, положим в формуле $\rho_1 = \rho_2 = \rho$. Тогда выражение (25) примет вид:

$$f(R) = \frac{4}{3} \pi \rho \frac{(R_1 + R_2)^3}{R_1^3 R_2^3}. \quad (26)$$

Функция $f(R)$ принимает максимальное значение при $R_1 = R_2 = R$. В этом случае

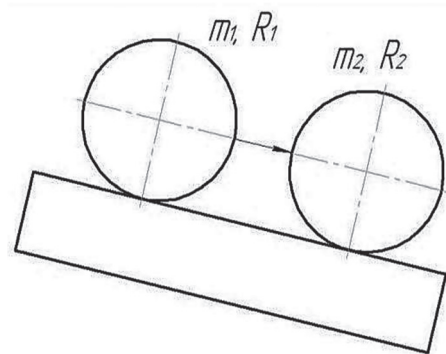


Рисунок 5. – Расчетная схема соударения двух свободных плодов

$$\frac{m}{R^3} = f(R) = \frac{16\pi}{3} \rho. \quad (27)$$

То есть выражение (22) при данном случае удара будет принимать наибольшее значение, когда радиусы контактирующих тел будут равны. Следовательно, из всех возможных комбинаций наиболее опасным будет случай соударения двух плодов одинакового радиуса. Такая ситуация наиболее вероятна, когда плоды будут перемещаться к контейнеру [4]. Подставив (27) в (22), получим выражение для максимального контактного давления в данном случае:

$$p_0^{(2)} = \left(160\rho V_0^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}, \quad (28)$$

где ρ – плотность соударяющихся плодов одинакового радиуса.

Как следует из формулы (28), при соударении двух одинаковых плодов максимальное давление зависит от плотности плодов, а не от их размеров и массы.

С помощью полученного выражения (28) определяется зависимость контактного давления, влияющего на повреждаемость плодов при падении, от скорости соударения плода о плоскую поверхность (рисунок 6).

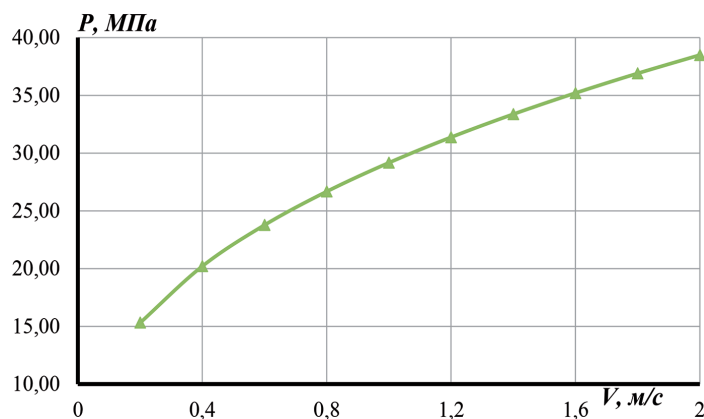


Рисунок 6. – Зависимость контактного давления от скорости соударения плодов

Сравнивая формулы (24) и (28), можно сделать вывод, что наибольшие повреждения получают плоды, которые контактируют при свободном перекатывании на рабочей поверхности. Это обусловлено тем, что контактное давление при соударении свободных плодов больше, чем давление при ударе плода о плоскую поверхность.

Поэтому при конструировании транспортирующих органов плодуборочного агрегата основной задачей является предотвращение соударения плодов при транспортировании. Для этого на транспортирующих лентах необходимо установить специальные упорные приспособления, которые предотвратят свободное перекатывание и соударение плодов на транспортирующих устройствах.

Удар плода о поверхность из плотно лежащих плодов

Будем считать, что плод массой m_1 и радиусом R_1 ударяется о плод (поверхность) конечного радиуса R_2 и бесконечной массы ($m_2 = \infty$) (рисунок 7). В этом случае, согласно формуле (9), $m = m_1$, а R будет приведенной величиной и определится выражением (6).

Для данного расчета в формуле (22) отношение $\frac{m}{R^3}$ может быть представлено в виде:

$$\frac{m}{R^3} = \frac{m_1}{\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^3} = \frac{\frac{4}{3} \pi \rho R_1^3}{\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^3} = f(R). \quad (29)$$

В результате преобразований получим:

$$f(R) = \frac{4}{3} \pi \rho (k+1)^3. \quad (30)$$

Величина функции $f(R)$ в данном случае будет зависеть от соотношения радиусов $k = R_1/R_2$. Чем больше будет значение k , то есть чем больше радиус падающего плода по сравнению с радиусом поверхности в точке контакта, тем больше будет функция $f(R)$, следовательно, тем больше будет контактное давление. Формула (22) для контактного давления в этом случае примет вид:

$$p_0^{(3)} = \left(40(k+1)^3 \rho V^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}, \quad (31)$$

где ρ – плотность падающего плода.

В таблице 3 приведены выражения для максимального контактного давления при различных значениях k .

Таблица 3. – Формулы для определения максимального контактного давления

$k = R_1/R_2$	$p_0^{(3)} = \left(40(k+1)^3 \rho V^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}$
1/2	$p_0^{(3)} = \left(135 \rho V^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}$
1/1	$p_0^{(3)} = \left(320 \rho V^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}$
2/1	$p_0^{(3)} = \left(1080 \rho V^2 \left(\frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{1/5}$

При перемещении плодов по исследуемому транспортирующему устройству рассмотренный случай реализуется при падении плодов с вертикального конвейера в контейнер. В большинстве случаев будут контактировать плоды одинаковых размеров ($k = 1$). Однако возможны более опасные ситуации ($k > 1$), когда крупный плод падает на гораздо более мелкий. На рисунке 8 показана зависимость контактного давления от соотношения радиусов падающего и несвободного плода.

Для расчета допустимых высот падения плодов и скоростей их соударения необходимо знать упругие и прочностные характеристики плодов.

Установлено, что допустимое контактное давление для яблок поздних сортов (5 сортов) – 26–30 МПа.

Таким образом, допустимая скорость падения плодов яблок на поверхность из плотно лежащих плодов составляет 0,8–1,0 м/с при $k = 1/2$, 0,5–0,7 м/с при $k = 1$ и 0,3–0,4 м/с при $k = 2$.

Теоретическими исследованиями взаимодействия плодов с транспортирующими органами плодуборочного агрегата установлено, что при падении плода на плод, лежащий на конвейере, наиболее неблагоприятной с точки зрения повреждаемости является ситуация, когда радиус несвободного плода меньше радиуса падающего плода. Очевидно, что при транспортировании необходимо избегать подобного рода контактов, так как они почти всегда будут приводить к повреждению плодов и снижению сроков их хранения.

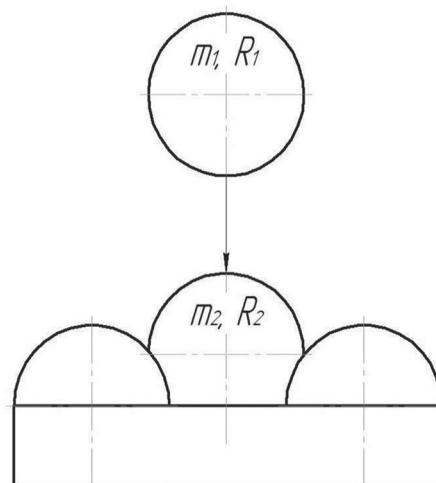


Рисунок 7. – Расчетная схема удара плодов о несвободный плод

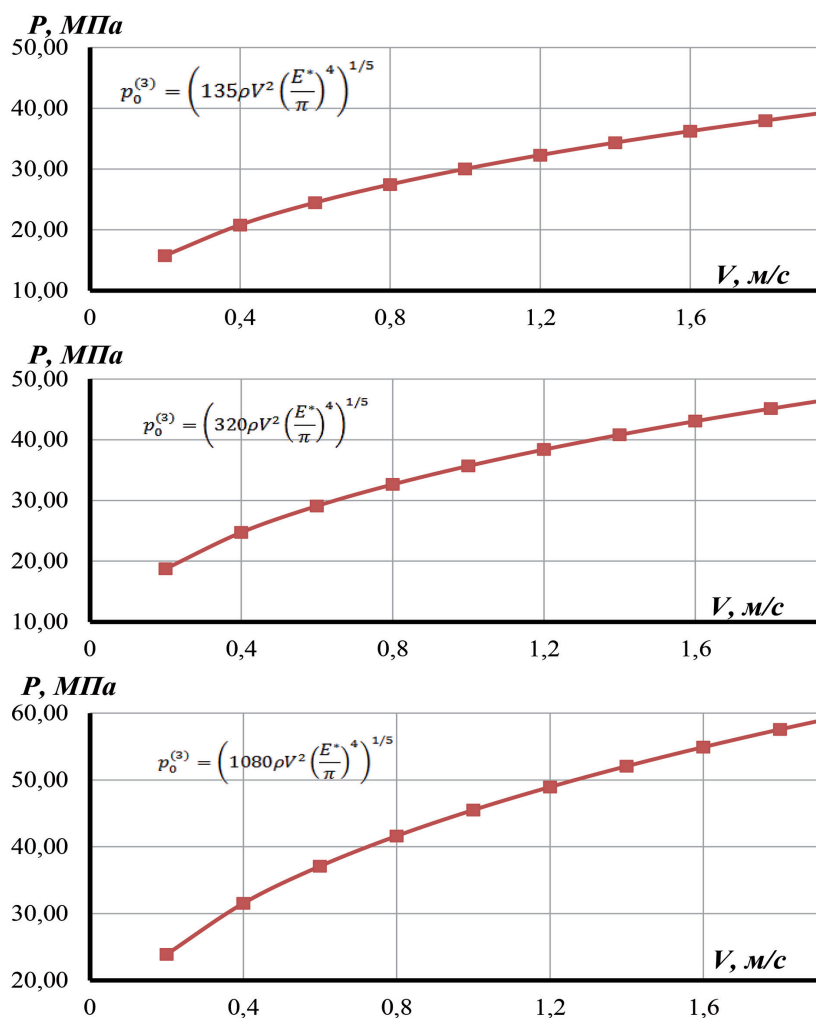


Рисунок 8. – Зависимость максимального контактного давления от скорости соударения плодов при различных соотношениях радиусов плодов

Заключение

1. Взаимодействие плодов при уборке бывает трех видов: удар плода о твердую поверхность, соударение двух свободных плодов и удар плода о поверхность из плотно лежащих плодов.

2. Допустимая скорость падения плодов яблок на поверхность из плотно лежащих плодов составляет 0,8–1,0 м/с при $k = 1/2$, 0,5–0,7 м/с при $k = 1$ и 0,3–0,4 м/с при $k = 2$.

3. Наибольшие повреждения получают плоды, которые контактируют при свободном перекалывании на рабочей поверхности. Это обусловлено тем, что контактное давление при соударении свободных плодов больше, чем давление при ударе плода о плоскую поверхность.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 364 с.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. 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.
4. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

Д. С. Шахрай

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: dzmitry.shakhray@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ НАСАДОК С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ

В статье рассмотрено перспективное направление развития дождевальной техники. Теоретически обоснована конструкция дождевальной насадки с водовоздушным эжектором для регулирования параметров искусственного дождя.

Ключевые слова: орошение сельскохозяйственных культур, дождевание, дождевальная насадка, водовоздушный эжектор, параметры искусственного дождя.

D. S. Shakhrai

Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: dzmitry.shakhray@mail.ru

THEORETICAL INVESTIGATIONS SPRINKLER NOZZLES WITH ADJUSTABLE PARAMETERS OF ARTIFICIAL RAIN

The article deals with the state and prospects of further development of sprinkler equipment. Theoretically justified the design of sprinkler with water-air ejector for obtaining artificial rain with adjustable droplet dispersion and irrigation intensity is proposed.

Keywords: crop irrigation, sprinkler irrigation, sprinkler, water-air ejector, parameters of artificial rain

Введение

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с механизацией процесса орошения, решение которых направлено на повышение продуктивности сельского хозяйства. Перспективным является применение широкозахватной дождевальной техники, позволяющее значительно повысить производительность труда за счет высокого уровня механизации и автоматизации. Такие машины осуществляют различные виды полива и имеют ряд преимуществ перед другими способами орошения по агротехнологическим и эксплуатационным показателям при определенном усовершенствовании (таблица 1).

Для расширения спектра применения таких машин с перспективой развития систем точного земледелия важной является разработка систем с регулируемыми характеристиками искусственного дождя, которые позволят в зависимости от вида полива, структуры почвы, орошаемой культуры менять интенсивность и диаметр капель. При этом равномерность полива должна соответствовать агротехническим требованиям. Согласно рекомендациям [3], коэффициент равномерности по Христиансену для широкозахватной дождевальной техники должен находиться в пределах 0,85–0,89.

В [1] отмечается, что важной характеристикой искусственного дождя является диаметр капель, который влияет на допустимую интенсивность дождя, повреждаемость растений, разрушение почвенных агрегатов, величину потерь дождя на испарение. Как указано в [4], на практике, помимо размера капель, необходимо оценивать и силовое воздействие капель на почву и растения. Также следует учитывать, что основные характеристики искусственного дождя не распределяются равномерно, и повышение равномерности полива является одной из важных задач при проектировании оросительной техники.

Таблица 1. – Сравнение основных способов орошения [1, 2]

Наименование показателей	Способ орошения					
	Аэрозольное	Дождевание	Поверхностное	Внутрипочвенное	Капельное	Субиригация
Увлажнение почвы	нет	да	да	да	да	да
Увлажнение воздуха	да	да	частично	нет	нет	нет
Противозаморозковые поливы	да	да	нет	нет	нет	нет
Внесение удобрений	частично	да	частично	да	да	нет
Влагозарядка	нет	частично	да	частично	частично	частично
Орошение сточными водами	нет	да	да	да	нет	нет
Промывка от солей	нет	да	да	нет	нет	нет
Провокационные поливы	нет	да	да	нет	нет	нет
Влияние ветра на равномерность	да	да	нет	нет	нет	нет
Орошение полей со сложной топографией	да	да	нет	да	да	нет
Контроль точного расхода воды	да	да	нет	да	да	нет

Основная часть

Анализируя данные [5] о разрушающем действии дождя на структуру почвы (таблица 2), можно сделать вывод, что снижение диаметра капель при одинаковой интенсивности позволяет выдавать большую поливную норму без образования поверхностного стока и луж, при этом снижается разрушение почвенных агрегатов, приводящее к образованию корки на поверхности.

Таблица 2. – Влияние диаметра капель на разрушение почвенных агрегатов

Диаметр капель, мм	Интенсивность дождя, мм/мин	Разрушение агрегатов, %
1,0	0,5	5,4
2,3	0,5	11,2
5,2	0,5	14,0

Значение допустимой интенсивности дождя определяют, исходя из заданной поливной нормы, учитывая состав почвы, диаметр капель, уклон участка. В [6] приведены рекомендованные значения интенсивности дождя, обеспечивающие сохранность структуры почвы (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние диаметра капель на разрушение почвенных агрегатов

Механический состав почвы	Уклон местности			
	до 0,02	0,02–0,05	0,05–0,08	0,08–0,12
Тяжелые	0,08–0,21	0,06–0,08	0,03–0,06	0,02–0,03
Средние	0,21–0,42	0,17–0,21	0,13–0,17	0,07–0,13
Легкие	0,50–0,83	0,32–0,50	0,21–0,32	0,17–0,21

В [3] рекомендуется придерживаться значений интенсивности до 0,25, что, согласно классификации, приведенной в [7], соответствует промежутку от морозящего до сильного дождя (интенсивность от 0,006 до 0,250). Снижение диаметра капель искусственного дождя позволяет повысить допустимую поливную норму и интенсивность [3].

Диаметр капель определяется агротехническими и экологическими требованиями. Однако в различных литературных источниках [1, 3, 8, 9] данные значений оптимальных размеров капель разные и варьируют от 0,4 до 2 мм.

В [8, 10, 11] рекомендуется в качестве критерия крупности капель брать соотношение H/d , где H – напор воды, а d – диаметр отверстия, из которого вылетает струя. Значения H/d для орошения трав на лугах и пастбищах – 1500–1600, для полива взрослых сельскохозяйственных культур – 1700–1800, для полива нежных растений и рассады – 2400–2600. Это свидетельствует о целесообразности изменения диаметра капель.

Процесс образования капель искусственного дождя может быть связан с числом Фруда, которое является одним из критериев подобия в гидравлике. Если принять в качестве характерной скорости скорость истечения из отверстия, а в качестве характерного размера диаметр отверстия, то в соответствии с [8] можно записать:

$$Fr = 2\varphi^2 \frac{H}{d}, \quad (1)$$

где φ – коэффициент скорости.

Число Фруда по формуле (1) характеризует зависимость диаметра капель от параметров потока рабочей жидкости.

Из графиков зависимости числа Фруда от диаметра сопла при различных значениях напора воды (рисунок 1) видно, что при больших напорах влияние диаметра сопла на число Фруда значительно, и можно сделать вывод о возможности регулирования диаметра капель путем изменения значения диаметра отверстия. Чем больше число Фруда, тем меньше диаметр капель будет получен.

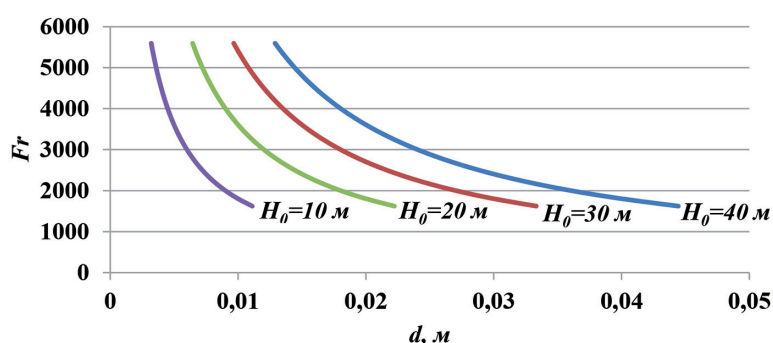


Рисунок 1. – Зависимости числа Фруда от диаметра сопла при значениях напора воды 10, 20, 30, 40 м

Известны различные способы регулирования характеристик искусственного дождя, которые связаны с изменением параметров работы дождевальных насадок. Перспективным является применение дождевальных насадок с регулируемыми параметрами дождя (рисунок 2), работающих за счет использования водовоздушного эжектора [12].

Регулирование интенсивности полива и диаметра капель в таких насадках осуществляется за счет изменения коэффициента подсоса:

$$k_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{Q_p}. \quad (2)$$

Известно, что параметры дождя, такие как интенсивность полива и дисперсность капель, зависят от ряда основных факторов, один из которых – средняя скорость V истечения струи на дефлектор.

Если коэффициент подсоса $k_{\Pi} = 0$, то есть подача воздуха в поток рабочей жидкости с расходом Q_p отсутствует, тогда из уравнения расхода скорость истечения

$$V = \frac{Q_p}{\omega_r}, \quad (3)$$

где ω_r – площадь живого сечения потока на выходе из горловины, которая определяется по формуле:

$$\omega_r = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4},$$

где d_r – внутренний диаметр цилиндрической горловины эжектора, мм.

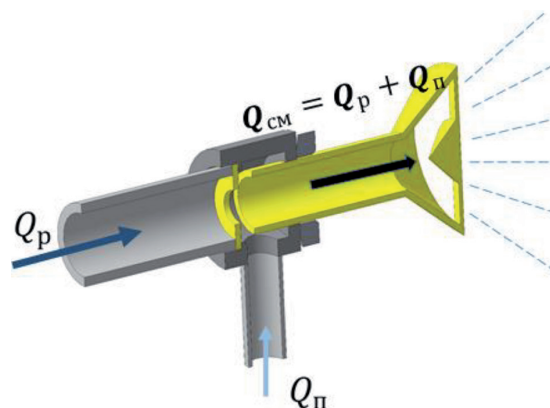


Рисунок 2. – Дождевальная насадка с регулируемыми параметрами дождя

При подсосе воздуха с расходом $Q_{\text{п}}$ скорость истечения водовоздушной $V_{\text{см}}$ струи будет определяться уравнением:

$$V_{\text{см}} = \frac{Q_{\text{см}}}{\omega_{\Gamma}} \approx \frac{Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}}}{\omega_{\Gamma}},$$

или с учетом уравнений (2) и (3):

$$V_{\text{см}} \approx V_{\text{р}} \cdot (1 + k_{\text{п}}). \quad (4)$$

Таким образом, скорость истечения водовоздушной струи будет увеличиваться с увеличением коэффициента подсоса $k_{\text{п}}$.

При выборе соответствующей точки отсчета скоростной напор $H_{\text{в}}$ можно определить по формуле:

$$H_{\text{в}} = \frac{\alpha \cdot V^2}{2g},$$

или, учитывая формулу (4):

$$H_{\text{в}} = \frac{\alpha \cdot (V_{\text{р}} \cdot (1 + k_{\text{п}}))^2}{2g}, \quad (5)$$

где α – коэффициент Кориолиса (если профиль скорости является равномерным, можно принять $\alpha = 1$); g – ускорение свободного падения, м/с².

Результаты исследований

Используя (5), можно исследовать влияние коэффициента подсоса на число Фруда (рисунок 3). Исходные параметры потока: расход рабочей жидкости через насадку постоянный $Q_{\text{р}} = 1,6$ л/с, диаметр горловины $d_{\Gamma} = 10$ мм, коэффициент подсоса изменяется в пределах $k_{\text{п}} = 0-2,5$.

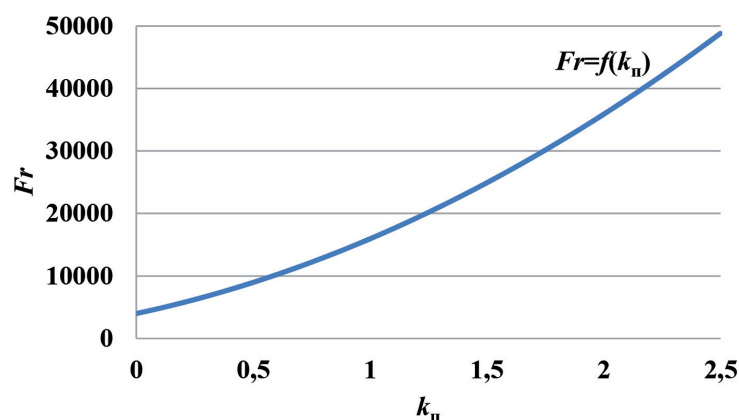


Рисунок 3. – Зависимость числа Фруда от коэффициента подсоса

Соответственно, учитывая то, что число Фруда оказывает влияние на диаметр капель, анализируя представленный график, можно сделать вывод о возможности регулирования характеристик искусственного дождя в широком диапазоне. Применение водовоздушного эжектора оправдано еще и малыми затратами энергии и простотой конструкции, что открывает большие перспективы его применения в дождевальной технике.

При образовании искусственного дождя получаются капли различного размера, поэтому при расчетах используют средний диаметр (медианный), который можно рассчитать по формуле, предложенной в [13]:

$$d_k = \frac{K}{v_o} \sqrt{d_c}, \quad (6)$$

где d_c – диаметр струи, мм; v_o – скорость истечения, м/с; K – опытный коэффициент, в среднем равный 25,5.

Если учесть (4) и допустить, что $d_c \approx d_r$, получим формулу для расчета среднего диаметра капель, создаваемого усовершенствованной дождевальной насадкой с регулируемыми параметрами дождя:

$$d_k = \frac{K}{V_p \cdot (1 + k_n)} \sqrt{d_r}. \quad (7)$$

Построив зависимость диаметра капель от коэффициента подсоса (рисунок 4), можно убедиться в том, что при заданных параметрах потока диаметр капель изменился в пределах 3,95–1,13 мм.

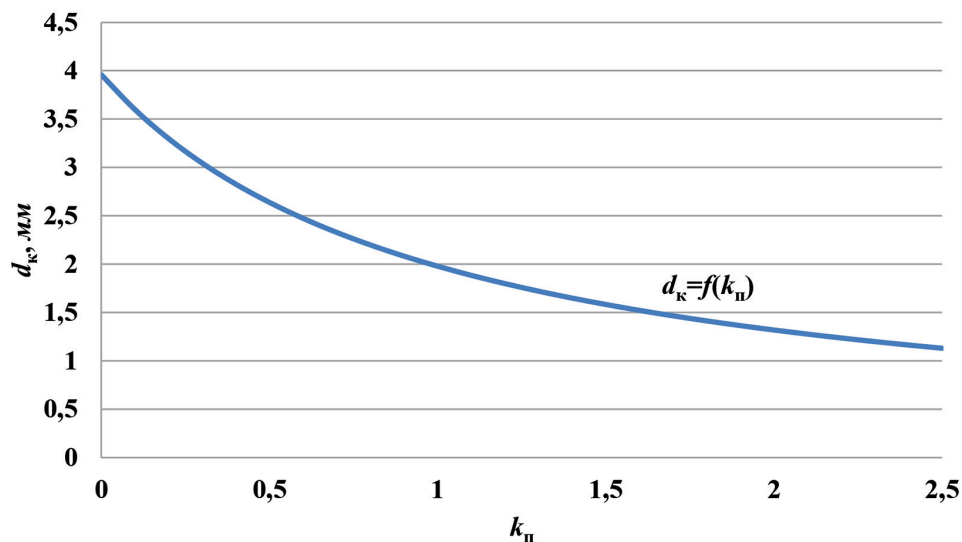


Рисунок 4. – Зависимость среднего диаметра капель от коэффициента подсоса

Стоит, однако, учесть недостаток формул (6) и (7) – значение диаметра капель получается усредненным, что характеризует дисперсность жидкости далеко не полностью. При распаде потока жидкости после насадки образуется большое число капель различного размера, и при одном и том же значении среднего диаметра капель возможно различное распределение капель по размерам.

Таким образом, возникает необходимость в экспериментальных исследованиях диаметров капель, образованных такими насадками, и распределения капель по размерам при изменении коэффициента подсоса, а также в применении методов стохастического моделирования для планирования интенсивности и равномерности орошения по рабочей площади насадки.

Заключение

1. Из анализа литературных источников сделан вывод о том, что одним из важнейших параметров искусственного дождя является диаметр капель, который непосредственно влияет на значение интенсивности дождя и равномерность орошения. При этом значение диаметра капель необходимо изменять в зависимости от структуры почвы, орошаемой культуры и стадии роста растений.

2. Для анализа работы насадок с регулируемыми параметрами дождя и установления взаимосвязи между определяющими параметрами, которые влияют на диаметр капель, проведен теоретический анализ, в результате которого получены формулы для определения скоростного

напора H_v и среднего диаметра капель d_k для насадок с регулируемыми параметрами дождя, а также зависимости: а) числа Фруда Fr от диаметра d_c сопла при значениях напора воды H ; б) числа Фруда Fr от коэффициента подсоса k_n ; в) диаметра капель d_k от коэффициента подсоса k_n .

3. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования конструкции дождевальных насадок с регулируемыми параметрами дождя, а также при исследовании процесса регулирования дисперсности жидкости для систем орошения сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Лихацевич, А. П. Орошаемое плодовоовощеводство: учеб. пособие / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко; под ред. А. П. Лихацевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 287 с.
2. Виды и способы орошения // Агропромышленный портал России [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru/melioracii/4557-vidy-i-sposoby-orosheniya-chast-2.html>. – Дата доступа: 13.05.2018.
3. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
4. Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
5. Беляев, В. В. Дождевательные машины / В. В. Беляев, Б. М. Лебедев. – М., 1957. – С. 31–35.
6. Степанов, П. М. Справочник по гидравлике для мелиораторов / П. М. Степанов, И. Х. Овчаренко, Ю. А. Скобельцын. – М.: Колос, 1984. – 207 с.
7. Губер, К. В. Требования, предъявляемые к дождевательной технике / К. В. Губер, Г. П. Лямперт, М. Ю. Храбров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 8. – С. 34–35.
8. Лебедев, Б. М. Дождевательные машины / Б. М. Лебедев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
9. Васильев, С. М. Дождевание / С. М. Васильев, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 352 с.
10. 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 изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
11. Многоопорные дождевательные машины / С. Х. Гусейн-заде [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 191 с.
12. Кравцов, А. М. Дождевательная насадка с регулируемыми гидравлическими параметрами / А. М. Кравцов, Д. С. Шахрай, С. С. Попко // Агропанорама. – 2017. – № 5. – С. 9–15.
13. Голченко, М. Г. Оросительные мелиорации / М. Г. Голченко. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 215 с.

УДК 631.362.3–52:635.21

Поступила в редакцию 11.07.2018

Received 11.07.2018

А. С. Воробей, В. В. Голдыбан, М. И. Курилович

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labpotato@mail.ru

К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПО ВНУТРЕННИМ ДЕФЕКТАМ

В статье приведен анализ внутренних дефектов, как имеющих в клубнях картофеля, так и в других фруктах и овощах. Также предложены некоторые методы идентификации клубней для улучшения их качества.

Ключевые слова: внутренние дефекты, клубни картофеля, инфракрасная спектроскопия, гиперспектральное визуальное изображение, оптическая сортировка, системы технического зрения.

S. Verabei, V. V. Goldyban, M. I. Kurilovitch

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labpotato@mail.ru

BY CREATE SYSTEMS IDENTIFICATION THE PLANTS OF POTATOES FOR INSIDE DEFECTS

In article was gives analyze inside defects, as having in plants of potatoes, such and another fruit and vegetables. Also prepper some methods its identification for improve its quality.

Keywords: inside defects, potato tubers, infrared spectroscopy, hyperspectral visual imaging, optical sorting, vision systems.

Введение

Картофель – четвертый в мире по значимости продукт и незаменимый источник углеводов. Он возделывается в большинстве климатических зон, населенных людьми. Однако в отличие от других важных культур, богатых углеводами, таких как пшеница, рис и кукуруза, в картофеле аккумулируются гидратированные и метаболически активные клетки. Это означает, что картофель намного больше подвержен повреждениям, болезням, потерям и другим пагубным факторам. Картофель, кроме того, подвергается естественному циклу покоя и инициации ростков, который резко изменяет углеводный состав и, следовательно, товарность и потенциальное использование после хранения.

Клубни, поврежденные ушибами, порезами, имеющие потемнение мякоти, негативно влияют на выбор покупателя и могут быть причиной пищевых отравлений. И наоборот, отсортированный здоровый картофель, с чистой кожурой, без следов повреждений продается по более высокой цене, принося дополнительный доход предпринимателю, пользуется повышенным спросом у оптовых покупателей.

Небрежное обращение с картофелем при уборке и транспортировке приводит к внутренним повреждениям клубней. Клетки мякоти клубней разрушаются, внутри клубней образуются темные пятна, наличие которых недопустимо для послеуборочной доработки картофеля. Пятна от синего до серовато-черного цвета возникают в клубнях чаще всего при неправильной транспортировке, сортировке и хранении. При повреждении кожуры происходят химические реакции, приводящие через день-два к появлению темных пятен. Во избежание возникновения темной пятнистости необходимо обращаться с картофелем максимально аккуратно. Нежелательны также внутренние дефекты, такие как пустоты и гниль.

Некоторые сорта подвержены темной пятнистости в гораздо большей степени, чем другие. Практически все сорта картофеля в большей или меньшей степени подвержены заражению паршой обыкновенной. Поддержание соответствующей влажности почвы, особенно в ответственный период завязывания клубней и на протяжении последующих четырех недель, позволяет эффективно контролировать распространение парши обыкновенной.

Основная часть

Большая гетерогенность в сырье создает необходимость разных методов сортировки и оценки качества картофеля. Традиционно картофель сортируется и качество оценивается вручную относительно простым методом выборки. Однако крупные оптовые базы и обрабатывающие предприятия предъявляют все более высокие требования к методам оценки различных параметров качества картофеля. Это подвигает к реализации все более сложных технологических детекторов качества продукта.

Так, учеными Тин Фангом, Янкином Пенгом и Венсонгом Вэйем из Китайского сельскохозяйственного университета и Национального научно-исследовательского центра агроперерабатывающего оборудования Китая проводились исследования по обнаружению внутренних дефектов картофеля при помощи гиперспектральной визуализации изображения пятнистости картофеля [1]. Ц. Я. Кларком, В. А. Маклоном и Р. В. Джорданом из Биоинженерного центра Новой Зеландии предложен метод сортировки яблок по дефекту «черное сердце» [2]; Дунхай Ханом, Рунлином Ту, Чао Лу, Синьсином Лю и Чжаохуэй Вэнем из Китайского сельскохозяйственного университета проведены исследования по обнаружению коричневого ядра в грушах [3]; Р. Диваном Арианной и Лу Ренфом из Мичиганского университета США проводились исследования сортирования огурцов по таким внутренним дефектам, как охлаждающая травма и физиологическое расстройство [4]; Кенихом Такицавой, Кацухиро Нахавой, Шинтароком Охаши, Хироши Йошицавой, Ян Вангом и Ясухуми Сасаки из Высшей школы науки и техники Японии исследовался способ сортирования «черного сердца» в японском редисе [5]; Ликвинг Пан, Кинг Цанг, Е. Сун, Хуа Пенченген и Канг Ту из Нанкинского колледжа пищевых наук и технологий Китая определяли наличие камеди на персиках [6].

Нади Эльсайдом из Научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения Египта была разработана акустическая система сортировки для обнаружения полого сердца в клубнях картофеля [7]. Система включает в себя микрофон, аппаратуру цифровой обработки сигналов и оборудование для обработки материалов. При ударе о стальную пластину было обнаружено, что твердые клубни картофеля издадут звуки большей величины, чем полые клубни. Был проведен анализ для классификации клубней картофеля с использованием трех признаков, извлеченных из микрофонного сигнала. Одной из отличительных особенностей является интегрированное абсолютное значение – выходной сигнал микрофона.

Джавадом Хазаем, Надером Экрами-Радой, Маджидом Сафабом и Сейед-Зиа Носратиком из Тегеранского и Азадского университетов Ирана для извлечения гранатин из плодов граната применялся метод соударения [8]. Этот метод основан на открытии плода, разделении его на две половины и извлечении гранатин с помощью сжатых воздушных струй.

Большинство систем машинного зрения используют режим отражения для определения внешних качественных характеристик продукции, таких как цвет, размер, форма и наличие дефектов поверхности. Однако этот режим, как правило, неэффективен для оценки внутреннего качества овощей. Один из способов улучшить возможности традиционной системы, которая стремится подражать человеческому глазу, – это использование гиперспектрального изображения, составленного из относительно широкого диапазона непрерывных длин волн.

В связи с чем нами предлагается разработка метода гиперспектрального визуального изображения для оценки качества внутренних дефектов клубней картофеля. Научная новизна будет заключаться в разработке высокопроизводительного способа идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля из общего вороха с помощью системы инфракрасной спектроскопии по нескольким внутренним дефектам: ушибам, порезам и трещинам, темной пятнистости.

В основу работы данного метода будет положена концепция интеллектуального анализа данных. Сразу отметим, что взять (купить, заимствовать и т. п.) чужое программное обеспечение и применить к оригинальной сортировочной линии не представляется возможным.

Метод ляжет в основу создания машины для оптической сортировки картофеля по внутренним дефектам при помощи инфракрасной спектроскопии. Машина будет состоять из круглой конвейерной ленты, двух галогенных ламп, блока гиперспектральной визуализации, состоящего из высокопроизводительной 12-битной CCD-камеры, спектрографа со спектральным диапазоном 400–1000 нм, объектива с фиксированным фокусным расстоянием, вольфрамовой галогенной лампы мощностью 150 Вт с регулируемым источником питания постоянного тока, подключенным к двойной волоконно-оптической линии для освещения отражения, фильтра с коротким проходом с отрезанной длиной волны 675 нм и волоконной оптики для блокировки световой энергии выше 675 нм, что позволит избежать смещения коэффициента отражения с сигналом пропуска в ближней инфракрасной области.

Технологический процесс работы машины будет следующим: камера настраивается на непрерывную работу в течение 50 мс времени, скорость конвейерной ленты – 110 мм/с. В этом случае система визуализации сможет сканировать только часть (или примерно половину) площади поверхности каждого клубня. Все изображения содержат спектральную и пространственную информацию из линейного сканирования шириной около 5,5 мм и длиной 160 мм, охватывающего две полосы конвейерных лент. Количество полученных изображений линии для каждого образца находится в пределах от 7 до 10, в зависимости от их длин. После того как получены изображения с линейным сканированием, проводится предварительная обработка, которая заключается в том, чтобы разделить каждое изображение на два отдельных изображения, представляющих каждую полосу. Если раздельное изображение оказывается «пятнистым», то такой клубень отбраковывается. Этот этап предварительной обработки также позволит нам сгруппировать изображения клубней, которые будут отбраковываться дальше.

Система основана на непрерывной линейной калибровке света путем размещения эталонных данных в поле зрения системы формирования изображений. Значения интенсивности видимого диапазона от 500 до 675 нм калибруются с помощью ссылки отражательной способности, помещенной между полосами, тогда как значения интенсивности в спектральном диапазоне 675–

1000 нм откалибровываются с помощью двух ссылок на коэффициент пропускания, размещенных на внешней стороне каждой полосы.

Отбракованные клубни картофеля идут на корм для животных, а отсортированные поступают для производства чипсов, крахмала, сухого пюре, полуфабрикатов и других видов продукции, требующих повышенного качества клубней картофеля.

Заключение

Инфракрасная спектроскопия в отличие от других имеющихся на сегодняшний день систем технического зрения охватывает наибольший диапазон параметров удаления некондиционных (по внутренним дефектам) клубней картофеля.

Ее применение в дальнейшем позволит создать машину для идентификации некондиционных клубней картофеля. Она сможет работать как отдельная единица, так и встраиваться в технологические линии за сухим способом очистки, и будет распознавать и идентифицировать клубни картофеля, поступающие на сортировку ворохом.

В целом, изучив влияние внутренних дефектов на качество возделываемого картофеля, можно повысить рентабельность в картофелеводстве до 50 % и полностью завершить цикл механизации послеуборочной доработки картофеля.

Литература

- 1 Fang, Tian. Nondestructive and rapid detection of potato black heart based on machine vision technology / T. Fang, P. Yankun, W. Wensong // Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety VIII. China Agricultural University. – V. 2. – China, 2016. – P. 83–94.
- 2 Clark, C. J. Detection of Brownheart in ‘Braeburn’ apple by transmission NIR spectroscopy / C. J. Clark, V. A. McGlone, R. B. Jordan // Postharvest Biology and Technology. – 2003. – № 28. – P. 87–96.
- 3 Donghai, Han. Nondestructive detection of brown core in the Chinese pear ‘Yali’ by transmission visible–NIR spectroscopy / H. Donghai, T. Runlin, L. Chao, L. Xinxin, W. Zhaohui // Food Control. – 2006. – № 17. – P. 604–608.
- 4 Diwan, P. Evaluation of internal defect and surface color of whole pickles using hyperspectral imaging / P. Diwan, A. Ariana, L. Renfu // Journal of Food Engineering. – 2010. – № 96. – P. 583–590.
- 5 Takizawa, Kenichi. Development of nondestructive technique for detecting internal defects in Japanese radishes / K. Takizawa, K. Nakano, S. Ohashi, H. Yoshizawa, J. Wang, Y. Sasaki // Journal of Food Engineering. – 2014. – № 126. – P. 43–47.
- 6 Leiqing, Pan. Detection of cold injury in peaches by hyperspectral reflectance imaging and artificial neural network / P. Leiqing, Z. Qiang, Z. Wei, S. Ye, H. Pengcheng, T. Kang // Food chemistry. – 2016. – № 192 – P. 134–141.
- 7 Elbatawi, I. E. An acoustic impact method to detect hollow heart of potato tubers / I. E. Elbatawi, E. Nadi // Biosystems engineering. – 2008. – № 100. – P. 206–213.
- 8 Javad, Khazaeia. Effect of air-jet impingement parameters on the extraction of pomegranate arils / K. Javad, E. R. Nader, S. Majid, Z. N. Seyed // Biosystems engineering. – 2008. – № 100. – P. 214–226.

УДК 631.358:634.7

Поступила в редакцию 30.06.2018
Received 30.06.2018

А. Н. Юрин, А. А. Игнатчик, В. В. Викторович, С. Н. Савченко

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

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЙ ЯГОДОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КПЯ

В статье приводятся результаты выполненных исследований по уборке ягод аронии и смородины ягодоуборочным комбайном КПЯ на различных рабочих скоростях движения. Также приведены рекомендации по выбору рабочей скорости.

Ключевые слова: сбор ягод, технология, средства механизации, производительность механизированных работ, себестоимость, ресурсосбережение, ягодоуборочный комбайн, рабочий процесс.

TEST RESULT OF BENCHMARK COMBINE

The article presents the results of the research carried out on harvesting berries of chokeberry and currant with a comb picker KPI at various operating speeds. Recommendations for choosing the working speed are also given.

Keywords: berries harvesting, technology, mechanization means, productivity of mechanized works, cost price, resource saving, berry harvester, working process.

Введение

Беларусь располагает благоприятными почвенно-климатическими условиями для выращивания смородины, аронии, которые являются одними из основных культур в ягодоводстве республики. В связи с реализацией государственных целевых программ развития плодородства на 2004–2010 гг. и 2011–2015 гг. «Плодородство» в течение указанного времени площади под плодово-ягодные насаждения расширены до 36,1 тыс. га, из которых 5,9 тыс. га занимают ягодные культуры [1].

Смородина – одна из немногих ягодных культур, возделываемых по интенсивным технологиям, что позволяет резко повысить продуктивность и рентабельность плантаций, существенно снизив или полностью исключив применение ручного труда. В настоящее время все основные этапы, включая подготовку почвы, посадку, уход за насаждениями и даже сбор ягод, могут быть полностью механизированы. В традиционных технологиях возделывания смородины 80 % общих затрат труда приходится на уборку урожая, поэтому механизация процесса уборки ягод является важной агроинженерной задачей.

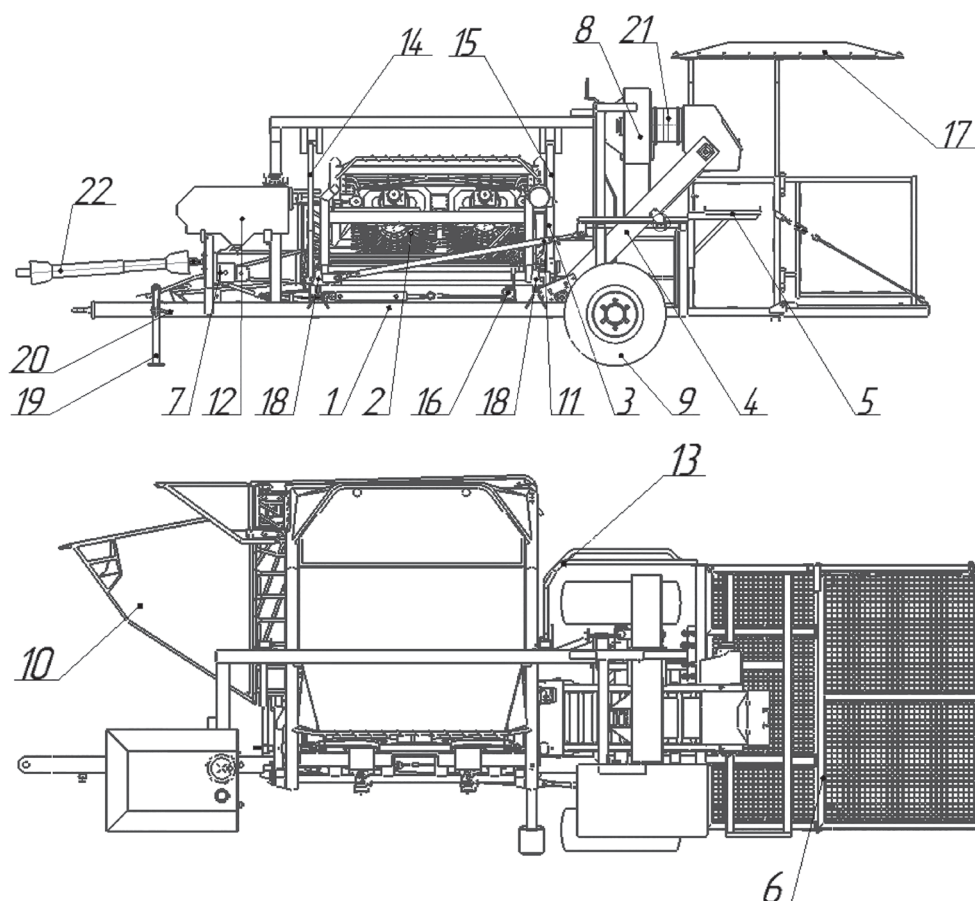
В Республике Беларусь имеется 35 ягодоуборочных комбайнов импортного производства. Сезонная нагрузка на один комбайн составляет 30 га. Потребность Республики Беларусь составляет 200 комбайнов. С целью обеспечить данную потребность в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан полуприцепной ягодоуборочный комбайн КПЯ, предназначенный для уборки ягод смородины и аронии (рисунок 1).



Рисунок 1. – КПЯ на уборке аронии

Устройство, принцип действия и технические характеристики КПЯ

Комбайн прицепляется на гидрокрюк трактора и состоит из рамы 1, ягодосборщика 2, транспортеров 3 и 4, стола 5, площадки 6, привода 7, вентилятора 8, хода колесного 9, подъемника 10, тяги 11, гидросистемы 12, ограждения 13, подвесов 14 и 15, механизма подъема 16, козырька 17, замка 18, домкрата 19, фиксатора 20, рукава 21 и вала карданного 22.



1 – рама; 2 – ягодоборщик; 3 – горизонтальный транспортер; 4 – наклонный транспортер; 5 – стол; 6 – площадка; 7 – привод; 8 – вентилятор; 9 – ход колесный; 10 – подъемник; 11 – тяга; 12 – гидросистема; 13 – ограждение; 14, 15 – подвес; 16 – механизм подъема; 17 – козырек; 18 – замок; 19 – домкрат; 20 – фиксатор; 21 – рукав; 22 – вал карданный

Рисунок 1. – Комбайн полурядный ягодоуборочный КПЯ

Рабочий процесс осуществляется комбайном следующим образом. Агрегатируемый с трактором комбайн подъезжает к ягоднику и останавливается перед началом ряда ягодника. Оператор комбайна, располагающийся на площадке 6, посредством органов управления комбайна последовательно запускает транспортеры (горизонтальный 3 и наклонный 4), включает вентилятор 8 с отряхивателями и переводит ягодоборщик в рабочее положение, при котором он опирается на почву посредством лыжи.

Агрегат начинает движение по ряду. При этом делитель отделяет половину куста, наклоняет ветки и направляет их совместно с подъемником 10 в пространство между ягодоборщиком и транспортером (горизонтальным 3), где они взаимодействуют с отряхивателями, совершающими колебательные движения относительно своей оси, благодаря которым происходит отделение ягод. Ягоды поступают на транспортер (горизонтальный 3), затем на транспортер (наклонный 4), где проходят очистку направленным воздушным потоком от вентилятора 8. Далее ягоды поступают в тару, установленную на столе, где оператор меняет ее по мере заполнения.

В процессе движения по ряду оператором осуществляется корректировка направления движения агрегата и угла наклона ягодоборщика посредством органов управления гидроцилиндрами колесного хода 9 и механизма подъема 16.

После прохода ряда оператор переводит комбайн в транспортное положение, осуществляет разворот, и рабочий процесс уборки ягод повторяется.

Основные параметры и размеры комбайна приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Технические характеристики КПА

Наименование показателя	Значение
Тип комбайна	Полуприцепной
Агрегатирование	Тракторы кл. 0,6
Масса, кг	1630
Габаритные размеры в рабочем положении, мм:	
– длина	6450
– ширина	2500
– высота	2480
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:	
– длина	6200
– ширина	2500
– высота	2480
Дорожный просвет, мм	120–240
Частота вращения ВОМ трактора, мин ⁻¹	540
Рабочая скорость, км/ч	0,4–0,7
Транспортная скорость, км/ч	5–10
Минимальный радиус поворота, м	8
Удельный расход топлива за сменное время работы, кг/га, не более	65
Производительность основного времени, га/ч	0,075–0,14
Производительность сменного времени, га/ч	0,04–0,093
Производительность эксплуатационного времени, га/ч	0,047–0,088
Количество обслуживающего персонала, чел.	2

Эксплуатационные параметры

Комбайн полурядный ягодоуборочный КПА предназначен для сбора ягод смородины, аронии. Сроки созревания смородины – июль-сентябрь, аронии – август-октябрь. Для обеспечения качественной уборки урожая условия эксплуатации должны соответствовать следующим требованиям:

- рельеф участков под ягодные кустарники должен быть ровный [2];
- допустимый наклон участков, как продольный, так и поперечный, не должен превышать 5°;
- через каждые 100 м должны быть проложены внутриквартальные дороги шириной 3–4 м;
- ширина междурядий должна быть не менее 3,8 м, а расстояние в ряду между кустами, образующими полосу, – от 0,5 до 0,7 м;
- побеги ягодных кустарников должны быть расположены вертикально либо иметь наклон в направлении междурядий до 45°.

Основные размеры кустов и физико-механические свойства ягод должны соответствовать указанным в таблице 2.

Таблица 2. – Основные размеры куста убираемой культуры

Основные показатели	Значение показателей
Высота полосы (куста), см	110–180
Ширина полосы (куста), см	110–150
Диаметр основания куста, см, не более	20–25
Диаметр ветвей у основания, см, не более	0,8–2,0
Усилие на отрыв ягод от ветвей, г	120–200
Наклон скелетных ветвей от вертикали, град., не более	50
Расположение ягод на кусте, см, не ниже	50,0

Эксперимент по исследованию функциональных показателей качества выполняемого технологического процесса КПА завершен в 2017 году. Его цель заключалась в определении вышеупомянутых показателей на рабочих скоростях движения выше, чем указано в техническом задании. Также стояла задача определить возможность замены трактора тягового класса 0,6 трактором тягового класса 1,4. Это обусловлено тем, что в республике количество тракторов

тягового класса 1,4 составляет 22307 штук, а тягового класса 0,6 – 929 штук. Из чего следует, что не в каждом хозяйстве есть в наличии трактор класса 0,6. В первую очередь это объясняется большей универсальностью и задействованностью на большем перечне работ тракторов тягового класса 1,4, нежели класса 0,6. Также надо учесть, что приобретение трактора класса 0,6 вместе с комбайном КПЯ для большинства организаций не представляется возможным.

Испытания проводились в составе МТА с тракторами МТЗ-100 и Т-25 на территории РУП «Институт плодородства», поселок Самохваловичи Минского района, в 2016 году. В 2017 году на территории КФХ «Зеленая ферма» Столбцовского района КПЯ агрегатировался с трактором Беларус-320.4. В 2016 году выполнялась уборка аронии, а в 2017 году – смородины. Данные по результатам проведенных испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Функциональные показатели

Наименование показателя	Значение				
	по ТЗ	по результатам испытаний			
Марка комбайна	КПЯ	КПЯ			
Вид работы	Сбор ягод смородины и аронии	Сбор ягод аронии			Сбор ягод смородины
Режим работы:					
Рабочая скорость движения, км/ч	0,40–0,70, не более	1,17	1,20	1,10	0,75
Показатели качества выполнения технологического процесса:					
Полнота съема ягод, %	85,0, не менее	98,1	94,5	98,5	94,6
Полнота улавливания, %	85,0, не менее	89,0	88,7	89,5	92,8
Потери ягод, %: – на земле – оставшиеся на кусте (на одном метре ряда)	нет данных нет данных	11,0	11,3	10,5	7,2
		1,9	5,5	1,5	5,4
Повреждение ягод, %	5,0, не более	1,6	1,5	1,7	3,7
Повреждение элементов куста, %: – поломка побегов: в том числе: – однолетних – двухлетних – боковых – плодовых – поломка скелетных веток	8,0, не более	6,6	2,5	7,0	0,8
		1,3	2,5	1,1	0,8
		2,0	0	2,6	0
		2,0	0	2,1	0
		1,3	0	1,1	0
		4,3	5,4	4,1	6,4
	Обдиры коры многолетних веток, %: – до 1/3 длины окружности – более 1/3 длины окружности	10,0, не более	8,2	–	6,8
5,0, не более		2,9	–	2,7	5,5
Содержание примесей в товарной продукции, %	1,0, не более	0,2	0,5	0,2	0,8

Проанализировав полученные функциональные показатели, можно сделать вывод о том, что для увеличения темпов уборки допускается увеличение рабочей скорости движения свыше 0,7 км/ч при уроке ягод аронии. При уборке ягод смородины такое превышения недопустимо и рабочая скорость должна быть в пределах 0,4–0,7 км/ч, так как увеличение скорости приводит к большому повреждению элементов куста (выше, чем указано в техническом задании и агро-требованиях), что, в свою очередь, приведет к снижению урожайности в последующие годы.

Допускается увеличение рабочей скорости движения при уборке аронии в связи с тем, что модуль упругости древесины ягодников, усилие отрыва зрелых ягод, усилие раздавливания зрелых ягод выше, чем у ягод смородины. Поэтому повреждения элементов куста не столь критичны по сравнению со смородиной.

Выводы

1. Площадь ягодных культур составляет 5,9 тыс. га.
2. Потребность в ягодоуборочных комбайнах в Республике Беларусь составляет 200 штук. На данный момент в стране имеется 35 штук. Необходимы еще 165 единиц этого вида техники.

С целью обеспечить недостающее количество в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан полуприцепной ягодоуборочный комбайн КПЯ.

3. В соответствии с результатами проведенного эксперимента, в котором исследовались функциональные показатели качества выполняемого технологического процесса, допускается при уборке ягод аронии эксплуатация КПЯ на рабочих скоростях выше, чем указано в техническом задании.

4. Уборка ягод смородины на рабочих скоростях выше, чем указаны в техническом задании, не допускается.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 364 с.

2. Техническое задание на разработку комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ: утв. 06.12.16 первым заместителем министра сельского хозяйства и продовольствия Л. А. Мариничем. – Минск, 2016. – 14 с.

УДК 631.363

Поступила в редакцию 03.07.2018

Received 03.07.2018

**П. В. Авраменко¹, А. Г. Вабищевич¹, А. Н. Смирнов¹, Г. Ф. Громыко²,
Ю. Л. Салапура³, М. Н. Салапура⁴**

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: minsk777@tut.by

²ГНУ «Институт математики НАН Беларуси»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labmkr@yandex.ru

³РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь,

e-mail: salapura.yurii@mail.ru

⁴УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: marinasalapura@gmail.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПНЕВМОКОРМОВОГО ПОТОКА В СИЛОСОПРОВОДЕ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КВК-800

В статье представлена модель движения потока измельченного растительного материала в силосопроводе кормоуборочного комбайна.

Ключевые слова: модель, поток, скорость.

P. V. Auramenka¹, A. G. Vabischevich¹, A. N. Smirnov¹, G. F. Gromiko², Y. L. Salapura³, M. N. Salapura⁴

¹EE «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: minsk777@tut.by

²SNI «Institute of Mathematics NAS of Belarus»

Minsk, Republic of Belarus,

e-mail: grom@im.bas-net.by

³RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: salapura.yurii@mail.ru

⁴EE «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: marinasalapura@gmail.com

The article presents numerical model of motion of cut green material flow in the silotube of a forage harvester KVK-800.

Keywords: model, flow, speed.

Введение

В современном кормопроизводстве наибольшее распространение при заготовке силоса получила технология внесения жидкого консерванта на кормоуборочном комбайне. Для обоснования выбора места впрыска жидкого консерванта в силосопровод комбайна необходимо учитывать изменение свойств (параметров) пневмокормового потока в процессе движения.

Движение пневмокормового потока в транспортирующих рабочих органах кормоуборочного комбайна исследовалось в работах Н. Е. Резника [1], В. И. Особова [2], В. М. Козлова [3], А. А. Марьиной [4] и других авторов.

Во всех этих работах при расчете аэродинамического сопротивления главным образом не учитывается изменение скорости движения воздушного потока по длине силосопровода, что приводит к неадекватности расчетных и экспериментальных данных.

В работе [5] для моделирования пневмокормового потока в силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800 используется лицензионный программный пакет STAR-CD, где учитываются силы Сэфмена (сила, возникающая по причине неоднородности профиля скорости воздушной среды), Магнуса (сила, возникающая по причине вращения несферической частицы в воздушной среде), тяжести, аэродинамического сопротивления, а также учитывается упругое взаимодействие частиц со стенками силосопровода. Определение скоростей потока ведется с помощью применения программного пакета STAR-CD. Тем не менее основные недостатки таких крупных лицензионных пакетов – это сложность их освоения и применения (высокая трудоемкость, необходимость в обслуживании высококвалифицированными специалистами), высокая стоимость покупки и обслуживания лицензионного пакета, отсутствие свободы в математическом программировании (в рамках одного пакета трудно реализовать несколько моделей).

Учитывая сложность описания движения пневмокормового потока аналитическими выражениями и отсутствие приемлемых лицензионных пакетов при необходимости стыковки разных моделей (движение пневмокормовой среды и консерванта), для теоретического исследования процесса проникновения капель жидкого консерванта в пневмокормовой поток использована среда MS Developer Visual Studio (VS) Digital Visual Fortran (DVL), которая позволяет реализовать и совместить модели движения пневмокормового потока и капель жидкого консерванта в силосопроводе.

Целью данной работы является моделирование движения потока измельченного растительного материала в силосопроводе самоходного кормоуборочного комбайна.

Основная часть

Направленно движущийся пневмокормовой поток в силосопроводе состоит из сплошного воздушного потока и дискретных частиц измельченного растительного материала, то есть является двухфазным: воздух – измельченный растительный материал [6, с. 26].

Составим математическую модель для определения скорости частицы измельченного растительного материала вдоль оси силосопровода, который представляет собой изогнутый желоб прямоугольного сечения.

В современных кормоуборочных комбайнах форма силосопровода отличается от параболы и в случае с высокопроизводительным комбайном КВК-800 описывается уравнением, полученным согласно аппроксимации точек его образующей:

$$Y = 0,9188 \cdot \log_{10}(X) + 1,783. \quad (1)$$

На рисунке 1 приведена схема силосопровода, где кривая ОА (ось силосопровода) в декартовой системе координат является функцией $Y = f(X)$.

При движении частицы в силосопроводе она преодолевает силу трения о стенки силосопровода, силу сопротивления воздуха, трения с другими частицами измельченного растительного материала, в результате чего скорость ее уменьшается [1, с. 330; 2, с. 270].

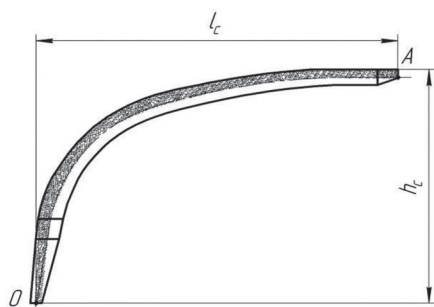


Рисунок 1. – Схема силосопровода (фронтальная проекция)

Уравнение движения частицы получим из баланса сил, приложенных к каждой точке при ее движении в силосопроводе.

Рассмотрим изменение количества движения вдоль траектории, описывающей изогнутую часть силосопровода, то есть вдоль линии, описываемой уравнением (1):

$$m_q \frac{d\vec{v}_q}{dt} = \sum \vec{F}_q,$$

где $\sum \vec{F}_q$ – силы, действующие на частицу, находящуюся в пневмокормовом потоке, Н; \vec{v}_q – вектор скорости центра масс частицы, м/с; t – время движения частицы по силосопроводу, с.

Рассмотрим характер сил, действующих на частицу, под действием которых она движется вдоль выбранной линии.

Пренебрегая силами взаимодействия частиц между собой при движении в потоке и без учета вращения частицы, согласно работам [2, 7], рассмотрим следующие силы:

$$\sum \vec{F}_q = \vec{F}_g + \vec{F}_u + \vec{F}_{mp} + \vec{F}_c,$$

где $\vec{F}_g, \vec{F}_u, \vec{F}_{mp}, \vec{F}_c$ – силы (тяжести, центробежная сила инерции, сила трения о стенки силосопровода, сила аэродинамического сопротивления среды), Н.

На рисунке 2 показаны проекции основных сил в ортогональной системе координат (S, N), связанной с поверхностью силосопровода (S – касательное направление, N – нормальное направление).

Рассмотрим проекции наиболее существенных сил вдоль линии, определяемой уравнением (1): $F_{g,s}$ – составляющая силы тяжести, направленная по касательной к силосопроводу; $F_{тр}$ – сила трения о стенки силосопровода; $F_{c,s}$ – сила сопротивления воздуха.

1. Составляющая силы тяжести частицы $F_{g,s}$, согласно рисунку 2, определяется как

$$F_{g,s} = m_q \cdot g \cdot \sin \beta,$$

где m_q – масса частицы, кг; β – угол наклона силосопровода в точке к оси OX , град.

Поскольку траектория движения частицы известна, то угол наклона β в каждой точке можем определить, исходя из вида кривой движения.

2. Сила трения – это сила реакции стенки на воздействие на нее частицы, умноженная на коэффициент трения, поэтому она пропорциональна силе нормального давления со стороны частицы на стенку силосопровода. Силой нормального давления в нашем случае является центробежная сила:

$$F_u = m_q v_q^2 / R_{кр},$$

где $R_{кр}$ – радиус кривизны поверхности силосопровода, м.

Поэтому сила трения будет пропорциональна центробежной силе [1, с. 335]:

$$\vec{F}_{mp} = f_{mp} (m_q v_q^2 / R_{кр}),$$

где $f_{тр}$ – коэффициент трения частицы измельченного растительного материала о поверхность силосопровода.

Если линия задана зависимостью $Y = f(X)$, то ее кривизна определяется по формуле [8, с. 206]:

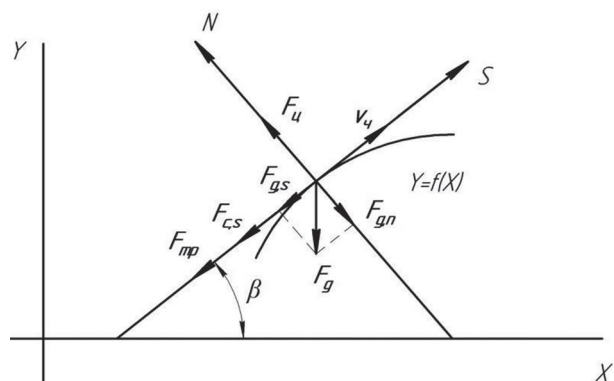


Рисунок 2. – Схема сил, действующих на частицу при ее движении по поверхности силосопровода

$$k = \frac{|Y''|}{(1 + Y'^2)^{3/2}}.$$

Тогда, согласно уравнению (1):

$$k = \frac{0,4 \cdot X}{(X^2 + (0,4)^2)^{3/2}}.$$

Поскольку радиус кривизны $R_{кр}$ определяется через кривизну k , то есть $R_{кр} = 1/k$, то в любой точке поверхности силосопровода (X, Y) можно определить радиус кривизны по формуле [2, с. 273]:

$$R_{кр} = \frac{0,4 \cdot X}{(X^2 + (0,4)^2)^{3/2}}.$$

3. Сила аэродинамического сопротивления \vec{F}_c , препятствующая движению частицы в воздухе по причине разницы скоростей частицы и воздуха, в котором она движется, определяется по формуле [9, с. 54]:

$$\vec{F}_c = C_D \rho_\theta S_q \frac{(\vec{v}_q - \vec{v}_\theta) |\vec{v}_q - \vec{v}_\theta|}{2},$$

где S_q – площадь миделева сечения сферической частицы, m^2 ; v_q, v_θ – скорость движения частиц и среды (воздуха), m/c ; C_D – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы, определяемый в зависимости от критерия Re .

В дальнейшем в формулах для силы сопротивления будем использовать значение эквивалентного радиуса частицы (для частиц – цилиндров).

Поправочная функция $C = C(Re)$ принимается в соответствии с [9, с. 55].

Для расчетов обозначим через \tilde{C}_D следующее выражение:

$$\tilde{C}_D = 0,5 C_D \rho_\theta S_q |\vec{v}_q - \vec{v}_\theta|.$$

Не учитывая взаимного влияния частиц, степень и концентрацию их в потоке, другие возможные факторы, влияющие на степень дисперсности потока, а также вращение частиц, которое связано в основном с несферичностью частиц, рассмотрим следующее уравнение движения одиночной частицы с учетом сил, действующих на частицу, когда она движется согласно траектории (1).

$$m_q \frac{dv_q}{dt} \Big|_S = -m_q g \sin \beta - f \frac{m_q v_q^2}{R_{кр}} - \tilde{C}_D v_q. \quad (2)$$

$$v_q \Big|_{t=0} = v_0. \quad (3)$$

Для удобства записи введем следующие обозначения: $v = v_q, m = m_q$, то есть опустим нижние индексы, указывающие на принадлежность величины к частице, и производную по времени в новых обозначениях перепишем как $v' = \frac{dv_q}{dt} \Big|_S$.

Уравнение (2) с начальным условием (3) примет следующий вид:

$$v' + \frac{\tilde{C}_D}{m} v + \frac{f}{R_{кр}} v^2 = -g \sin \beta, \quad v \Big|_{S=0} = v_0, \quad 0 < S \leq l_s.$$

Уравнение (4) – дифференциальное нелинейное уравнение первого порядка относительно скорости v .

Отметим особенность решения этой задачи. Угол β и радиус кривизны $R_{кр}$ зависят от места нахождения частицы на траектории. В свою очередь, положение частицы на траектории нахо-

дится в соответствии с ее скоростью. А для определения скорости частицы из уравнения (4) надо знать угол β и радиус кривизны $R_{кр}$, то есть получается, что угол β и радиус кривизны $R_{кр}$ неявно зависят от неизвестной скорости. Соответственно, аналитического решения задачи найти невозможно, поэтому необходимо использовать приближенный метод решения, сочетающий численный и аналитический подходы [10, 11].

Результаты исследований

Для решения уравнения был составлен алгоритм, реализованный в программном комплексе [12], разработанном для исследования процесса впрыска консерванта в силосопровод кормоуборочного комбайна.

На рисунке 3 приведен график, полученный в результате решения уравнения (4), показывающий изменение скорости частиц пневмокормового потока вдоль образующей силосопровода (1) кормоуборочного комбайна КВК-800.

В результате аппроксимации графических данных получена зависимость скорости пневмокормового потока от длины силосопровода:

$$v_{кп} = 0,74 \cdot l_s^2 - 0,86 \cdot l_s + 38,19.$$

Как видно из графика (рисунок 3), скорость частицы падает по мере ее движения вдоль образующей силосопровода, поскольку необходимо преодолеть силы трения о стенки силосопровода, силу сопротивления воздуха, силу тяжести и др.

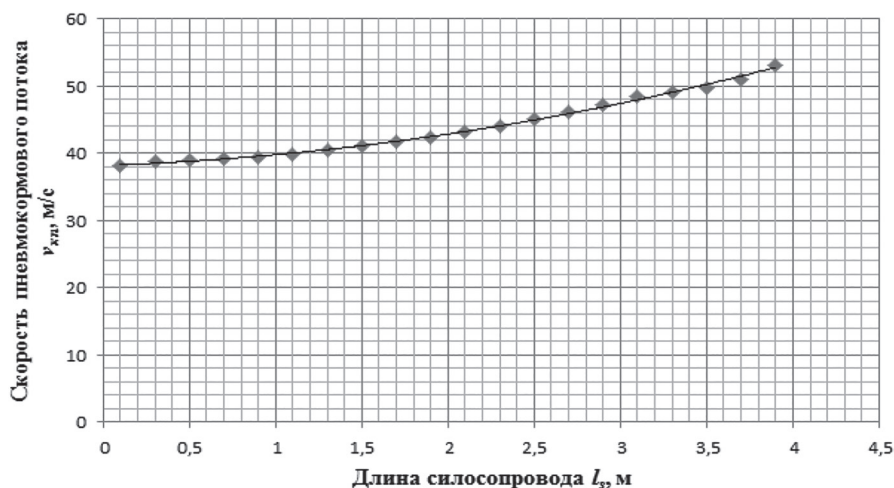


Рисунок 3. – Изменение скорости частиц пневмокормового потока вдоль длины силосопровода

Основной силой, препятствующей движению частицы по силосопроводу, особенно в начале пути, является сила трения, которая, согласно предварительным расчетам, значительно превышает силу тяжести. По мере уменьшения скорости и изменения траектории движения частицы сила трения уменьшается.

Полученная математическая модель (4) позволяет определять скорость движения пневмокормового потока по всей длине силосопровода при различных его конфигурациях.

Заключение

В данной статье получена математическая модель движения частицы пневмокормового потока в силосопроводе кормоуборочного комбайна, позволяющая с заданной точностью определять ее скорость движения по всей длине силосопровода.

Полученная модель использована в программном комплексе Konservant-Silosoprovod для обоснования места впрыска жидкого консерванта в технологический тракт кормоуборочного комбайна.

Литература

1. Резник, Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
2. Особов, В. И. Механическая технология кормов / В. И. Особов. – Москва: Колос, 2009. – 344 с.
3. Козлов, В. М. Оптимизация процесса транспортирования измельченной массы в роторном кормоуборочном комбайне: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. М. Козлов. – Тула, 2005. – 139 л.
4. Марьина, А. А. Повышение эффективности процесса загрузки транспортных средств кормоуборочным комбайном путем оптимизации конструктивно-режимных параметров дефлектора: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. А. Марьина. – Саратов, 2007. – 210 с.
5. Компьютерное моделирование аэродинамических процессов в транспортирующих органах кормоуборочных комбайнов / А. М. Крот [и др.] // Информатика. – 2006. – № 3. – С. 80–90.
6. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред. В 2 ч. Ч. 1 / Р. И. Нигматулин. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
7. Василенко, П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко; под ред. акад. УАСХН М. И. Медведева. – Киев: Изд-во УАСХН, 1960. – 283 с.
8. Гусак, А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 480 с.
9. Вараксин, А. Ю. Столкновения в потоках газа с твердыми частицами / А. Ю. Вараксин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 312 с.
10. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров: учеб. пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.
11. Калиткин, Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 512 с.
12. Программный комплекс «Konservant-Silosoprovod»: свидетельство о регистрации компьютерной программы № 418 / А. В. Кузьмицкий, П. В. Авраменко, Г. Ф. Громыко, А. Н. Вырский, О. В. Рыхлицкий; заявитель УО «БГАТУ». – № С20120015; заявл. 02.04.2012; дата регистр. 10.05.2012 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. центр інтелектуал. уласнасці. – 2012.

УДК 631.352.022/353.722

Поступила в редакцию 13.07.2018

Received 13.07.2018

Н. Г. Бакач, И. Е. Мажугин, С. П. Кострома

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labmkr@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НОЖЕЙ ОТ РАДИАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА РАБОТУ РОТОРНЫХ КОСИЛОК

В статье обоснована необходимость учета влияния отклонения ножей от радиального положения на работу роторной косилки. Теоретически установлено, что увеличение массы, угловой скорости, расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа, а также увеличение угла отклонения ножа и подачи на нож увеличивают его силовое воздействие на срезаемую и измельчаемую растительность. Отклонение ножа от радиального положения на 90° следует считать предельным.

Для увеличения силы воздействия при прочих равных параметрах необходимо стремиться к возможному уменьшению кинематического радиуса несущей части ротора.

Ключевые слова: роторная косилка, теоретический анализ, колебания ножей, лугопастбищные угодья.

N. G. Bakach, I. E. Mazhuhin, S. P. Kostroma

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labmkr@yandex.ru

INFLUENCE OF KNIVES DIVERGE FROM RADIAL PROVISIONS FOR WORK OF ROTARY MOWERS

In the article the relevance of the need to consider the impact of deviations from the radial position of the blades to work the rotary mower. Theoretically established that the increase in mass, angular velocity, distance from the center of mounting knife to the center of mass of the knife, as well as increasing the deflection angle of the knife and the knife to increase the supply of its force on the cut and ground vegetation. Deviation from the radial position of the blade 90° should be regarded as limiting.

To increase the force of impact with the other parameters being equal should strive for a possible reduction of the kinematic radius of the rotor bearing.

Keywords: rotary mower, theoretical analysis, fluctuations of knives, grasslands.

Введение

Одним из способов повышения продуктивности лугопастбищных угодий является их мульчирование скошенной и измельченной травяной массой, которая впоследствии разлагается, переходя в объем почвы, подавляя рост сорной растительности и повышая урожайность трав.

Для обеспечения данного технологического процесса косилки должны иметь высокую окружную скорость роторов и большие, по сравнению с другими типами, размеры и массу ножей. В этом случае особую актуальность приобретает необходимость рассмотрения процессов динамики режущего аппарата на качество работы косилки.

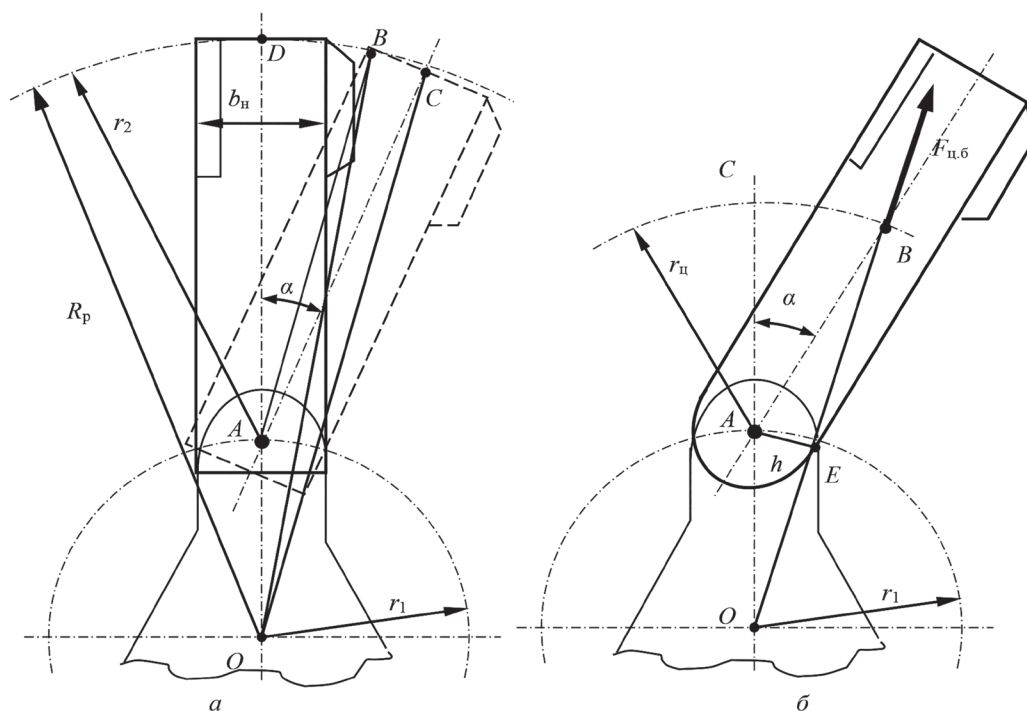
Теоретическое изучение работы ротационных косилок, у которых ротор представляет собой диск с жестко прикрепленными к нему сегментными ножами, было начато еще в начале XX века. Трудом, обобщающим данные исследования, можно считать собрание сочинений В. П. Горячкина [1]. Впоследствии В. Н. Кондратьев глубоко теоретически и экспериментально изучал процессы измельчения растительности барабанными косилками-измельчителями [2], в основном применительно к мелиоративным системам. Изучением данной проблемы также занимались Е. О. Сухарев [3], Н. Е. Резник [4], В. М. Мартынов [5] и другие [6–10].

Однако проведенный анализ показал, что все эти исследования не учитывают особенностей конструкции и условий работы лугопастбищной роторной косилки.

Так, в процессе работы косилки на нож действуют силы сопротивления, создающие момент, под действием которого нож отклоняется назад от радиального положения, что ведет к изменению условий срезания растительности. В связи с этим необходимо проанализировать влияние отклонения ножа и его параметров на силу воздействия на срезаемую растительность.

Основная часть

Ножи косилок имеют разнообразную форму, но в большинстве своем представляют форму прямоугольника. Расчетная схема ножа такой формы показана на рисунке 1а.



R_p – конструктивный радиус ротора, равный половине его диаметра по концам ножей; r_1 – радиус, соответствующий окружности центров крепления; r_2 – радиус концов ножей относительно центра крепления; b_n – расчетная ширина ножей; α – угол отклонения ножа от радиального положения

Рисунок 1. – Расчетные схемы: (а) к обоснованию величины угла отклонения ножа; (б) к расчету момента, возвращающего нож в радиальное положение

В соответствии с рисунком 1 при отклонении ножа от радиального положения в начале отклонения значение R_p возрастает, затем уменьшается. Положение, показанное штриховой линией и соответствующее углу α , можно назвать критическим, поскольку дальнейшее увеличение α приведет к уменьшению реального значения R_p и, соответственно, D_p . Для этого определим критические значения угла α . Согласно рисунку 1а, критическое значение угла α , или угол DAC , равен сумме углов DAB и BAC , где $OA = r_1$, $AD = r_2$, $OD = OB = R_p$.

Угол BAC можно выразить из треугольника ABC через параметры ротора, таким образом:

$$\angle BAC = \arctg\left(\frac{BC}{AC}\right) = \arctg\left(\frac{b_n}{2r_2}\right). \quad (1)$$

На основании теоремы косинусов для треугольника OAB :

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 - 2OA \cdot AB \cos(\angle BAO), \quad (2)$$

или, с учетом того что $\angle BAO = 180 - (\angle DAC)$, уравнение (2) можно привести к следующему виду:

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 + 2OA \cdot AB \cos(\angle BAD). \quad (3)$$

Из треугольника ABC получим:

$$AB = \sqrt{r_2^2 + \left(\frac{b_n^2}{4}\right)}. \quad (4)$$

Тогда из уравнения (1), с учетом принятых обозначений, получим:

$$\angle BAD = \arccos((R_p^2 - r_1^2 - \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)}) / (2r_1 \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)})). \quad (5)$$

Таким образом, критическое значение угла α определяем по формуле:

$$\alpha = \arctg(b_n / (2r_2)) + \arccos((R_p^2 - r_1^2 - \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)}) / (2r_1 \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)})). \quad (6)$$

При увеличении угла α выше критического происходит уменьшение действительного значения радиуса ротора по сравнению с конструктивным. Текущее значение радиуса в зависимости от угла отклонения ножа можно получить из уравнения (6):

$$R_\alpha = \sqrt{r_1^2 + (r_2^2 + b_n^2/4)} + 2r_1 \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4) \cos(\alpha - \arctg(b_n / (2r_2)))}. \quad (7)$$

Скорость роторов по концам ножей при постоянной угловой скорости роторов ω_p определяется по формуле:

$$v_{окр} = R_\alpha \omega_p. \quad (8)$$

При выполнении точных расчетов кинематических соотношений необходимо учитывать такое явление, как отклонения ножа от радиального положения.

В равновесном состоянии момент, создаваемый срезаемой растительностью, отклоняющий нож, преодолевается моментом M , создаваемым центробежной силой $F_{ц.б.}$, приложенной в центре масс ножа. Чем выше этот момент, тем большее воздействие может оказать нож на срезаемую растительность.

Положение ножа в момент взаимодействия с растительностью схематически показано на рисунке 1б. Здесь точка O – центр вращения ротора, точка A – центр крепления ножа, точка B соответствует положению центра масс ножа. При этом OA – радиус вращения центра крепления ножа относительно центра вращения ротора, AB – радиус дуги поворота центра масс ножа относительно точки A , OB – линия действия центробежной силы, в то же время отрезок OB есть расстояние от центра оси вращения ротора до центра масс ножа, AE – плечо центробежной силы относительно точки A , обозначенное как h , α – угол отклонения продольной оси ножа от радиального положения.

Определение центробежной силы выполняется по формуле:

$$F_{ц.б} = m\omega_p^2 R_{ц}, \quad (9)$$

где m – масса ножа; $R_{ц}$ – расстояние от центра оси вращения ротора до центра масс ножа. На схеме рисунка 1б оно равно OB .

Тогда определение значения момента будет выполняться по формуле:

$$M = m\omega_p^2 R_{ц} h. \quad (10)$$

Величины m и ω можно считать постоянными, тогда как значения $r_{ц}$ и h переменны и зависят от угла отклонения ножа α . С ростом угла α от нуля уменьшается $r_{ц}$, что приводит к снижению $F_{ц.б}$, но при этом возрастает h , что увеличивает момент M . В связи с этим важным является определение влияния основных геометрических параметров на этот момент и положения ножа (угла α), при котором момент будет максимальным.

Согласно теореме косинусов и с учетом того, что угол OAB равен $180 - \alpha$, а $\cos(180 - \alpha) = -\cos\alpha$, можно записать:

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 - 2OAAB\cos\alpha = r_1^2 + r_u^2 - 2r_1r_u\cos\alpha. \quad (11)$$

Отсюда на основании теоремы синусов получим:

$$\sin AOB = AB(\sin OAB) / OB = r_u \sin\alpha / \sqrt{(r_1^2 + r_u^2 - 2r_1r_u\cos\alpha)}. \quad (12)$$

Имея в виду, что $\angle AOB = \angle AOE$, из прямоугольного треугольника OAE , у которого одним из катетов и высотой является $AE = h$, получим:

$$h = r_1 \sin AOE = r_1 r_u \sin\alpha / \sqrt{(r_1^2 + r_u^2 - 2r_1r_u\cos\alpha)}. \quad (13)$$

Тогда, с учетом изложенного, уравнение (10) для определения момента M можно представить следующим образом:

$$M = m\omega_p^2 R_{ц} r_u r_1 \sin\alpha / \sqrt{(r_1^2 + r_u^2 - 2r_1r_u\cos\alpha)} = m\omega_p^2 r_u r_1 \sin\alpha. \quad (14)$$

Из полученного уравнения (14) следует, что увеличение массы, угловой скорости, радиуса до центра крепления ножа и расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа увеличивает возможности силового воздействия ножа на срезаемую и измельчаемую растительность.

С учетом того что, начиная с нуля, увеличение для α ведет к увеличению момента M , а максимум $\sin\alpha$ соответствует 90° , можно утверждать, что максимального значения момент достигает при отклонении ножа от радиального положения на 90° . Увеличение угла α свыше 90° ведет к снижению момента, возвращающего нож к радиальному положению, и может привести к столкновению ножа с другими элементами косилки, поэтому отклонение в 90° следует считать предельным.

При предельном отклонении ножа приблизительно значение $R_{ц}$ можно определить следующим образом:

$$R_{ц} \approx \sqrt{(r_1^2 + r_2^2)}. \quad (15)$$

Данное выражение (15) для расчета значения радиуса следует учитывать при расчете необходимого угла, обеспечивающего перекрытие траекторий концов ножей, окружной скорости и подачи на нож.

Из уравнения (14) и с учетом того, что момент есть произведение силы на ее плечо, получим формулу для определения силы воздействия ножа на срезаемую растительность F_b :

$$F_b = m\omega_p^2 r_u r_1 \sin\alpha / (r_2 - C/2). \quad (16)$$

Уравнение (16) позволяет анализировать факторы, влияющие на такой важнейший показатель, как сила воздействия ножа на срезаемую и измельчаемую растительность.

Увеличение массы, угловой скорости, радиуса до центра крепления ножа и расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа, а также угла отклонения ножа и подачи на нож увеличивает его силовое воздействие на срезаемую и измельчаемую растительность. Отклонение ножа от радиального положения на 90° следует считать предельным.

Важнейшим кинематическим соотношением роторной косилки при принятом значении радиуса ротора R_p по концам ножей является соотношение между радиусом соответствующего окружности центров крепления r_1 и радиусом концов ножей относительно центра крепления r_2 . Оно влияет на возможную силу воздействия ножа на срезаемую растительность. Сила воздействия, рассчитываемая по уравнению (16), главным образом зависит от центробежной силы, действующей на нож и рассчитываемой по формуле (9). Если принять, что нож изготовлен из прямоугольной пластины шириной b_n , толщиной δ , длиной r_2 из материала плотностью ρ , то его масса будет приблизительно рассчитываться по формуле:

$$m = r_2 \cdot b_n \cdot \delta \cdot \rho. \quad (17)$$

Координатой центра масс ножа для рисунка 1б будет $(r_1 + 0,5r_2)$. Тогда можно записать:

$$F_e = r_2 b_n \delta \rho \omega_p^2 (r_1 + 0,5r_2). \quad (18)$$

При известных b_n , δ , ρ и ω_p , произведение которых можно обозначить постоянной K , формулу (18) можно записать в виде:

$$F_e = K r_2 (r_1 + 0,5r_2). \quad (19)$$

Для графической интерпретации влияния соотношения r_1 и r_2 примем $K = 1$ и $r_1 + r_2 = 1$, или $r_2 = 1 - r_1$.

Тогда формулу (18) можно привести к следующему виду:

$$F_e = K \cdot 0,5 \cdot (1 - r_1^2). \quad (20)$$

Графически данная функция представляет собой параболу с опущенными вниз ветвями. Первая производная функции имеет вид:

$$F_e' = -K r_1. \quad (21)$$

Следовательно, максимум функции соответствует значению $r_1 = 0$. Из чего можно сделать вывод, что при прочих равных условиях уменьшение r_1 увеличивает возможную силу воздействия ножа на срезаемую растительность.

Для графической интерпретации формулы (20) построим следующую зависимость (рисунок 2).

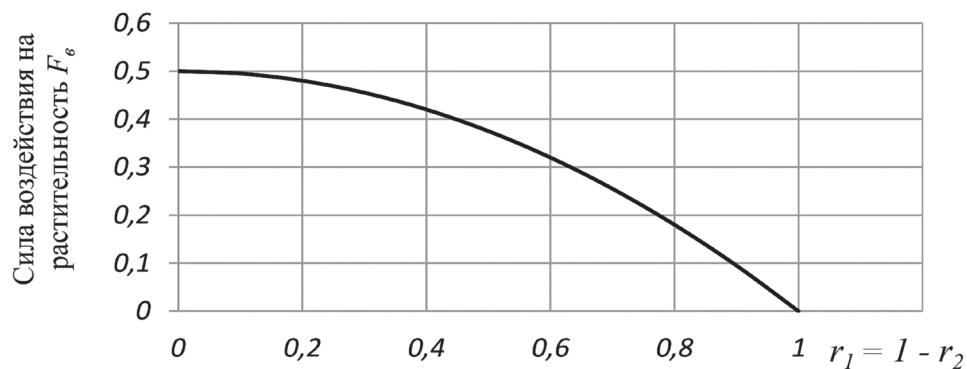


Рисунок 2. – Зависимость $F_e = f(r_1)$

Из графика следует, что увеличение r_2 при соответствующем уменьшении r_1 ведет к уменьшению возможной силы воздействия ножа на растительность, поэтому при проектировании подобных косилок необходимо стремиться к возможному уменьшению r_1 .

Заключение

1. Увеличение массы, угловой скорости, расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа, а также угла отклонения ножа и подачи на нож увеличивают его силовое воздействие на срезаемую и измельчаемую растительность. Отклонение ножа от радиального положения на 90° следует считать предельным.

2. Для увеличения силы воздействия при прочих равных параметрах необходимо стремиться к возможному уменьшению кинематического радиуса несущей части ротора.

Литература

1. Горячкин, В. П. Собрание сочинений: в 3 т. / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с.
2. Кондратьев, В. Н. Косилки бильного типа: вопросы проектирования и эксплуатации: пособие / В. Н. Кондратьев. – Минск: НП РУП «БелНИИ мелиорации и луговодства», 2002. – 40 с.
3. Сухарев, Е. О. Основы теории машин для обслуживания и ремонта мелиоративных машин: учеб. пособие / Е. О. Сухарев. – К.: ИСДО, 1994. – 360 с.
4. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
5. Мартынов, В. М. Геометрия ножа ротационного режущего аппарата / В. М. Мартынов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 3. – С. 34–36.
6. Jonson, C. E. Horizontal rotary mower blade dynamics / C. E. Jonson, W. D. Robinson, J. L. Turner // Transactions of the ASAE. – 1984. – Bd. 27, № 6. – P. 1666–1668.
7. Каифаш, Ференц. Обоснование динамических параметров и режима работы ротационного режущего аппарата: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Ференц Каифаш. – М.: Московский ин-т инж. с.-х. пр-ва им. В. П. Горячкина, 1982. – 158 с.
8. Карпенко, М. И. Обоснование оптимальных технологических параметров ротационного режущего аппарата косилок с пониженной скоростью ножей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М. И. Карпенко. – Глеваха, 1984. – 17 с.
9. Погорелец, А. Н. Технологические и технические основы совершенствования ротационного режущего аппарата уборочных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. Н. Погорелец; Украинск. с.-х. академия. – Киев, 1975 – 18 с.
10. Смирнов, Г. А. Обоснование параметров унифицированного ротационного режущего аппарата машин для кошения: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Г. А. Смирнов. – М., 1988. – 177 с.

УДК 631.164/165:631.353.3

Поступила в редакцию 04.04.2018
Received 04.04.2018

И. М. Лабоцкий, А. В. Ленский, П. В. Яровенко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by; labkormov@mail.ru*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЯ ТЮКОВ В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ ГРУБЫХ КОРМОВ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКАМИ

В статье рассмотрено направление повышения эффективности процесса прессования и уборки грубых кормов. Даны описание и результаты испытаний накопителя к пресс-подборщикам, приведен расчет эффективности применения накопителя.

Ключевые слова: эффективность, процесс, прессование, накопитель, пресс-подборщик, расчет, испытания, корма.

EFFICIENCY OF USING A BALE ACCUMULATOR IN THE PROCESS OF PRESSING COARSE FORAGES WITH BALERS

The article outlines the direction of increasing the efficiency of pressing and harvesting of coarse forages. The description and results of tests of the bale accumulator with balers are given, the calculation of the efficiency of the bale accumulator application is given.

Key words: efficiency, process, pressing, accumulator, baler, calculation, testing, feed.

Введение

Технология заготовки грубых кормов и уборки соломы в запрессованном виде с применением пресс-подборщиков позволяет ускорить процесс, повысить качество и снизить потери кормов [1]. Вместе с тем общим недостатком тюковых и рулонных пресс-подборщиков является неуправляемое (хаотичное) рассредоточение тюков и рулонов на поле. Далее для уборки с полей тюков или рулонов применяют комплексы машин, содержащие самоходные погрузчики, оснащенные захватами, и специальные транспортные средства: платформы СТС-12; ПТК-10, автомашины и тракторные прицепы. В процессе подбора рассредоточенных на поле по одному тюков или рулонов эти машины вынуждены проследовать по пути, который проходил пресс-подборщик. Процесс уборки тюков или рулонов неэффективен вследствие высокого расхода топлива и труда механизаторов, кроме того, происходит переуплотнение почв ходовыми системами комплекса, особенно губительно действие колес на подсеянные травы.

Актуальной задачей является быстрое освобождение полей от тюков или рулонов для последующих работ, снижение затрат.

Основная часть

В республике сельхозпроизводители заготавливают в запрессованном виде (тюках и рулонах) около 1 млн тонн сена, а также солому (свыше 4 млн тонн) на кормовые и технологические нужды.

Имеющиеся в хозяйствах типы и конструкции рулонных и тюковых пресс-подборщиков обеспечивают выполнение подбора сеносоломистых материалов, прессование, обвязку шпагатом (сеткой) и выгрузку тюков или рулонов на поле. Выгрузка осуществляется после формирования тюка или рулона определенного размера и плотности. Продолжительность формирования зависит от скорости прессования, а главное – от параметров валка прессуемого материала, которые переменны и варьируют в широких пределах. Например, в зависимости от урожайности трав масса сена на 1 погонном метре валка изменяется от 2 до 10 кг.

Сформированные пресс-подборщиками тюки или рулоны на поле укладываются неупорядоченно (хаотично) (рисунок 1). Процесс уборки тюков и рулонов с полей сопровождается высокими затратами труда и топлива, переуплотнением почвы ходовыми системами транспортных и погрузочных машин, а также губительным действием колес на подсеянные и отрастающие травы.

Ускорить уборку и сократить расходы можно путем оснащения пресс-подборщика дополнительным оборудованием – накопителем тюков или рулонов. Накопитель работает в одном агрегате с пресс-подборщиком, посредством которого тюки собираются на платформе накопителя и в удобном месте выгружаются – как правило, на краю поля [2, 3].

Прессование соломы, группирование рулонов, уборка рулонов соломы, сгруппированных накопителем фирмы John Deere (США), представлена на рисунке 2.

Применение накопителя не нарушает технологического процесса прессования кормов и соломы, обеспечивает ряд преимуществ технологического плана:



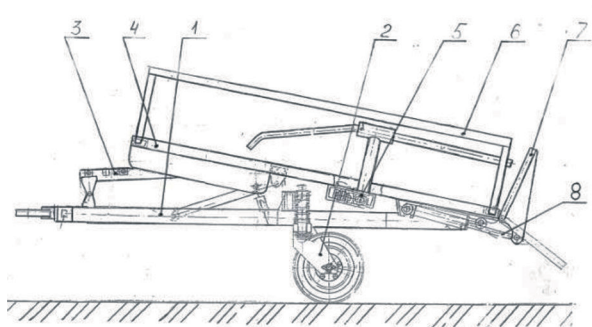
Рисунок 1. – Распределение рулонов и тюков на поле



Рисунок 2. – Прессование, группирование и уборка рулонов соломы с применением накопителя рулонов фирмы John Deere (США)

- освобождается поле за один проход пресс-подборщика для последующих работ;
- не подвергаются угнетению отава или подсеянные травы на стерне;
- не переуплотняется почва техникой при сборе тюков с полей;
- при погрузке тюков на краю поля сокращается время работы погрузчика и транспортного средства, экономится топливо и труд механизаторов;
- ускоряется операция скирдования.

Для оснащения тюковых пресс-подборщиков типа ПТ-800, LSB-870 фирмы KUNN разработан экспериментальный образец накопителя тюков НТ-3 (рисунок 3).



а



б

Рисунок 3. – Схема (а) и общий вид (б) накопителя тюков НТ-3

Накопитель тюков состоит из рамы 1, колесного хода 2, приемного лотка 3, платформы 4, каретки 5, двух боковых бортов 6, заднего борта 7, гидрооборудования 8. Общий вид пресс-подборщика ПТ-800 с накопителем тюков НТ-3 представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. – Общий вид пресс-подборщика ПТ-800 с накопителем тюков НТ-3

Процесс группирования и погрузки тюков на платформу ПМК-10 представлен на рисунке 5.



а



б

Рисунок 5. – Группирование (а) и погрузка сгруппированных тюков на платформу ПМК-10 (б)

Техническая характеристика накопителя представлена в таблице 1.

Таблица 1. – Техническая характеристика накопителя крупногабаритных тюков НТ-3

Наименование показателя	По результатам испытаний
Агрегатирование	с пресс-подборщиком ПТ-800 и трактором «Беларус-2522В»
Количество тюков в накопителе, шт.	3
Ширина тюка, м	0,8
Рабочая ширина, мм	3110
Транспортная ширина, мм	2820
Транспортная высота, мм	1480
Длина, мм	3600
Грузоподъемность, кг	1380
Дорожный просвет, мм, не менее	320
Ширина колеи, мм	2100
Масса накопителя, кг, не более	1240
Привод рабочих органов	от гидросистемы трактора
Обслуживающий персонал, чел.	1 тракторист-машинист

В результате проведения испытаний установлено, что оснащение пресс-подборщика накопителем тюков позволяет накапливать тюки и осуществлять их выгрузку от места начала прессования через 250–300 м, формируя, независимо от плотности массы в валках, упорядоченный ряд на краю поля или в другом месте. На одном гектаре поля компактно укладывается 27 тюков в виде полосы длиной 64 м.

Вместе с тем при перемещении пресс-подборщика с накопителем увеличиваются нагрузка на трактор и расход топлива с 1,36 л/т до 1,56 л/т – на 15 %.

Эффективность применения накопителя НТ-3 определена путем сравнения потребных затрат на уборку грубых кормов (соломы) при использовании в хозяйствах разных комплексов машин.

Перечень технологических операций, комплексы машин, показатели их работы и структура себестоимости приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Перечень операций и эффективность применения комплексов машин для уборки соломы

Технологическая операция	Марка трактора	Марка машины	Производительность, т/ч	Расход топлива, л/т	Стоимость работ, руб.
Комплекс 1. Пресс-подборщик тюковый ПТ-800 + самоходный погрузчик «Амкодор 332С4» + платформа для перевозки тюков ПТК-10-2 + самоходный погрузчик «Амкодор 332С4» со стогометателем для скирдования					
Подбор и прессование соломы	«Беларус 3022ДЦ.1»	ПТ-800	15,6	1,36	16,53
Подбор и погрузка тюков	–	«Амкодор 332С4»	16,3	1,02	4,08
Транспортировка тюков	«Беларус 1221.2»	ПТК-10-2	7,9	0,92	8,08
Скирдование тюков	–	«Амкодор 332С4»	16,3	1,02	4,08
Всего расходов по комплексу				4,32	32,78
Комплекс 2. Пресс-подборщик тюковый ПТ-800 с накопителем тюков + самоходный погрузчик «Амкодор 332С4» + платформа для перевозки тюков ПТК-10-2 + самоходный погрузчик «Амкодор 332С4» со стогометателем для скирдования					
Подбор и прессование соломы с группированием тюков	«Беларус 3022ДЦ.1»	ПТ-800 + накопитель	15,6	1,56	18,73
Подбор и погрузка тюков	–	«Амкодор 332С4»	20,3	0,51	2,82
Транспортировка тюков	«Беларус 1221.2»	ПТК-10-2	11,7	0,51	5,29
Скирдование тюков	–	«Амкодор 332С4»	16,3	1,02	4,08
Всего расходов по комплексу				3,60	30,93
<i>Согласно расчетам, при нормативной загрузке в 150 часов годовой объем работ составляет 2340 тонн; эффективность применения нового комплекса 32,78 руб./т – 30,93 руб./т = 1,85 руб./т; годовой экономический эффект 1,85 руб./т x 2340 т = 4329,0 руб.; окупаемость новой машины 19000 руб. / 4329,0 руб. = 4,4 года; удельная экономия топлива 4,32 л/т – 3,6 л/т = 0,72 л/т; годовая экономия топлива 0,72 л/т x 2340 т = 1685 л.</i>					

Заключение

Снизить затраты на процесс прессования и уборки с полей грубых кормов и соломы позволяет применение накопителя тюков с тюковыми пресс-подборщиками. За один проход агрегата осуществляются группирование, упорядоченная укладка тюков на поле, что снижает в несколько раз количество переездов уборочного комплекса при подборе тюков, обеспечивается снижение расхода топлива, не переуплотняется почва, снижаются затраты на процесс прессования и уборки кормов.

Литература

1. Шпаар, Д. Производство грубых кормов / Д. Шпаар, Г. Херманн. – Торжок: ООО «Вариант», 2002. – С. 47–55.
2. Короткевич, А. В. Технологии и машины для заготовки кормов из трав и силосных культур: учеб. пособие / А. В. Короткевич. – Минск: Ураджай, 1991. – С. 47–55.
3. Hay and Forage Baling Equipment // John Deere [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.deere.com/en/hay-forage/baling/>. – Дата доступа: 02.03.2018.

А. А. Романович, А. Д. Быцко

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: nastia.01.02.1986@gmail.com

ЭКСТРУДИРОВАННЫЕ ЗЕРНОВЫЕ КОРМА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ

В статье приведены сведения о возможности применения для кормления животных различных видов экструдированных зерновых кормов.

Ключевые слова: зерновые корма, экструдирование, измельчение, денатурация.

A. A. Romanovich, A. D. Bytsko

Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: nastia.01.02.1986@gmail.com

EXTRUDED GRAIN FEED, APPLICABLE FOR FEEDING ANIMALS

The article gives information on the possibility of using different types of extruded grain for feeding animals

Keywords: grain feed, extruding, grinding, denaturizing.

Введение

Для обработки зерна с целью «раскрытия» крахмала на практике используют различные технологии. Термический способ (например, инфракрасное излучение, обработка горячим воздухом) заключается в использовании таких факторов влияния, как температура и длительность воздействия. При гидротермическом способе (например, тостировании) дополнительно используется влага. Комбинация гидротермических процессов (факторы влияния: температура, влага, длительность воздействия) с механической обработкой (факторы воздействия: давление и срезающее усилие) представляет собой технологию экструдации.

Основная часть

Экструдирование – это особый способ обработки сырья, при котором зерно поддается механическому воздействию (измельчению) в винтовой части экструдера. Этот процесс происходит под воздействием высокой температуры (около 150 °С) и давления. Далее измельченная разогретая масса под высоким давлением попадает под влияние низкого давления. В результате резкого перепада происходит «взрыв» – готовый продукт увеличивается в объеме, приобретает пористую структуру.

В процессе экструдирования на сырье происходит несколько видов воздействия:

– *тепловое* – влияние высоких температур (до 200 °С) улучшает питательные и вкусовые качества. Это положительно влияет на пищеварительный тракт животных, минимизирует уровень токсичных и других опасных веществ, кроме того, высокое давление и температура полностью уничтожают болезнетворные микроорганизмы в зерне. Это позволяет перерабатывать даже залежавшееся и частично порченное сырье;

– *измельчение и смешивание* – зерно подвергается интенсивному измельчению до полной однородности, все ингредиенты тщательно смешиваются, образуя единую питательную массу на выходе;

– *денатурация* – в результате разрыва на клеточном уровне происходит изменение структуры белка. Вследствие этого питательные вещества становятся максимально доступными. К при-

меру, крахмал распадается на несколько компонентов, в результате чего ценные протеины в разы быстрее и легче усваиваются организмом животных.

Комплексное использование нескольких видов воздействия позволяет получить на выходе высокопитательный, легкоусвояемый продукт. В нем сохраняются незаменимые аминокислоты и витамины, благодаря кратковременному воздействию применяемых процессов.

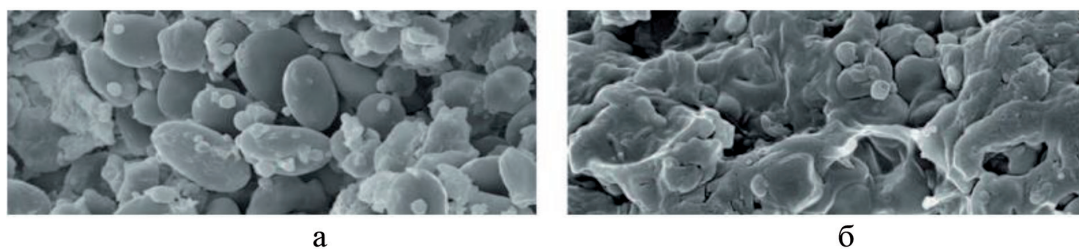
Для того чтобы понять, как происходит «раскрытие» крахмала в зерне, необходимо взглянуть на его морфологию и химическую структуру. Зерновые содержат, в зависимости от вида, от 40 до 60 процентов крахмала. По химическому строению крахмал можно разделить на амилозу и амилопектин.

Амилоза (от 20 до 30 % общего крахмала в зерновых культурах) состоит из связанных молекул глюкозы, которые в этих соединениях образуют длинные извилистые цепи спиралевидной формы.

Амилопектин (от 70 до 80 % крахмала) – это разветвленный полисахарид, в котором связаны от 2000 до 200000 молекул глюкозы.

Соотношение амилозы к амилопектину, длина цепей и степень разветвления цепей глюкозы значительно влияют на технические свойства различных видов зерновых и переваримость крахмала.

В эндосперме зерновки крахмал находится в форме отдельных гранул, величина которых составляет от 2 до 200 $\mu\text{м}$. Эти зерна крахмала очень хорошо различимы под электронным микроскопом (рисунок 1). Они являются довольно стабильными, благодаря внутренним водородным связям.



а

б

а – необработанные; б – экструдированные

Рисунок 1. – Зерновые под микроскопом

Разветвленные молекулярные цепи амилопектина могут создавать в этих гранулах вместе с неразветвленными молекулами амилозы полукристаллические и кристаллические области. Эти жесткие органические структуры не расщепляются в воде и в природной, неизмельченной форме имеют значительное сопротивление расщеплению посредством энзимов [1].

Благодаря интенсивной механически-гидротермической обработке зерновых, эти структуры изменяются до молекулярного уровня, крахмал «раскрывается». Главный эффект – значительное увеличение поверхностной площади гранулы крахмала и обширное расщепление амилопектина и амилозы. Изменение структуры тоже очень хорошо видно под микроскопом. Типичные зерна крахмала после обработки разрушаются и по большей части сплавляются в плоские ареалы, напоминающие растопленный пластик.

Для кормления некоторых видов животных очень важно, чтобы, наряду с размером и формой крахмальных зерен, можно было варьировать их внутреннее строение (кристаллические, аморфные, желеподобные области) и вид зерновых.

Каждая из растительных культур, применяемых в питании животных, имеет свою ценность и особенность. При экструдировании полезные свойства увеличиваются в разы. Что дает его применение для различных видов зерновых – рассмотрим ниже.

Экструдированный ячмень (рисунок 2а). Содержит 114 г сырого протеина, 4,2 г лизина, энергетический обмен составляет 13,6 МДж. Отличается исключительными показателями вкусовых качеств. При кормлении поросят наблюдается повышение переваривания и усвоения питательных веществ до 12 %. Вводится до 50 % в состав стартерного комбикорма.



а – ячмень; б – пшеница; в – кукуруза; г – горох; д – соя; е – соевый жмых; ж – смесь из гороха и сои;
з – смесь гороха и кукурузы

Рисунок 2. – Применение экструдирования для различных видов зерновых

Экструдированная пшеница (рисунок 2б). Ценный энергетический ингредиент с пониженным уровнем клетчатки (до 1,5 %). Имеет в составе высокие уровни лизина и протеина. Это способствует улучшению работы пищеварительного тракта. Часто комбинируется с ингредиентами с высоким уровнем клетчатки (отруби, шрот подсолнуха и др.). В зерновую смесь рекомендовано вводить не более 45 %.

Экструдированная кукуруза (рисунок 2в). Содержит около 40 г протеина, 2,7 г лизина. Богата незаменимыми аминокислотами (особенно метионином). Отличается низким уровнем клетчатки и высоким показателем обменной энергии. Преимущественно используется в стартерных комбикормах с уровнем введения до 40 %. Это дает высокие показатели энергии роста. При кормлении молодняка способствует быстрейшему переходу к сухой пище.

Экструдированный горох (рисунок 2г). Ценный высокопротеиновый продукт (15,5 г лизина), содержит большое количество аминокислот и углеводов в легкодоступной форме. Хороший источник белка для молодняка на откорме. Помогает экономить на рационах, благодаря полной замене корма животного происхождения. Отличается высокими вкусовыми характеристиками и ароматом. Рекомендуются вводить до 30 % в общую кормовую смесь. С помощью повышенного ввода в рацион можно увеличить мясную продуктивность.

Экструдированная соя (рисунок 2д). Один из самых ценных компонентов в составе комбикормов с высоким уровнем белков. Содержит 29 г лизина и около 350 г сырого протеина. В данном продукте идеально сбалансированы незаменимые жиры и аминокислоты. Общая рекомендованная доза ввода составляет 10–30 %. Эффективна при откорме поросят, положительно влияет на репродуктивные способности свиноматок. В сочетании с подсолнечным жмыхом способствует увеличению удоев у коров, благодаря поступлению в организм защищенных жира и протеина. Они расщепляются в тонком кишечнике, отдавая питательные компоненты непосредственно на выработку молока. Отмечается улучшение производственных показателей (до 20 %). Ее применение позволяет на 20–30 % снизить расходы на корм животного происхождения.

Соевый жмых (рисунок 2е). После экструдирования этот продукт представляет собой большую питательную ценность. Характеризуется высоким содержанием белка и аминокислот (26 г лизина). Подходит для кормления большинства домашних животных (свиньи, КРС, птица). Используется как на начальных стадиях, так и на заключительных в качестве откорма. Идеальный корм при выращивании мясных пород животных. Способствует быстрому набору мышечной и мясной ткани, активному наращиванию массы. Наблюдается увеличение энергии роста. Его применение позволяет экономить на кормах, поскольку соевый жмых эффективен при замене пищи животного происхождения. Уровень введения в корм составляет 10–20 %.

Смесь из гороха и сои (рисунок 2ж). Характеризуется наличием в составе высокого уровня аминокислот и протеина. Является ценным источником доступных углеводов и жиров. Отличается хорошими вкусовыми и ароматическими параметрами. Применяется для всех групп свиноводческого комплекса. Ввод в общий состав комбикормов – до 30 %. Дает быстрые результаты прироста при кормлении молодняка.

Смесь экструдированных гороха и кукурузы (рисунок 2з). Является высокопротеиновой энергетической добавкой в рацион молодняка (особенно поросят). Уровень введения – до 50 %. Позволяет экономить на кормах ввиду наличия высокого уровня протеинов и легкого усвоения. Отличается хорошими вкусовыми качествами, способствует повышению съедания основной еды. Потребление смеси позволяет в короткие сроки приучить молодняк (особенно поросят) к прикорму и к последующему отказу от пищи животного происхождения [2].

Заключение

Таким образом, применение кормов, полученных в результате экструдирования, имеет ряд преимуществ:

- высока усвояемость корма – около 95 % легко усваивается животными в сравнении с дробленным зерном (до 40 %). После экструдирования усвояемость бобовых культур (соя, горох, вика и др.) увеличивается до 10 раз;
- минимальные затраты ресурсов – обрабатывать зерно можно без предварительного сортирования и просушивания. В сырье должна отсутствовать земля, солома, камни и т. д. Экструдированию подвергают даже лежавшее несколько лет в зернохранилище отсыревшее зерно. Обработка отходов зернового производства (гречневая шелуха и др.) позволяет получить питательный корм для свиней, овец и коз;
- хорошее поедание животными за счет приятного хлебного вкуса и аромата.

Литература

1. Официальный Интернет-портал Soft-agro [Электронный ресурс] / Soft-agro. – Киев, 2018. – Режим доступа: <https://soft-agro.com>. – Дата доступа: 02.06.2018.
2. Официальный Интернет-портал «ШМ-Агро» [Электронный ресурс] / «ШМ-Агро». – Дзержинск, 2018. – Режим доступа: <https://шчодры.бел>. – Дата доступа: 02.06.2018.

УДК 631 363:636.085

Поступила в редакцию 05.09.2018
Received 05.09.2018

А. А. Романович

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: nastia.01.02.1986@gmail.com*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГИДРОДИСПЕРГАТОРА

В статье обоснован выбор рабочих органов гидродиспергатора для измельчения зерновых кормов, приведены теоретические исследования по определению параметров его измельчающих рабочих органов.

Ключевые слова: зерно, гидродиспергатор, измельчение, решето, кавитация, гидроудар.

A. A. Romanovich

*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: nastia.01.02.1986@gmail.com*

THEORETICAL STUDIES OF THE PARAMETERS OF THE MILLING WORKING BODIES OF THE HYDRODISPERSER

The article substantiates the choice of the working organs of a hydrodisperser for grinding grain forages, and theoretical studies are carried out to determine the parameters of its grinding working organs.

Keywords: grain, hydrodisperser, grinding, sieve, cavitation, hydraulic shock.

Введение

В Республике Беларусь ежегодно убирается свыше 4 млн т зерна на фуражные цели. Более половины убираемого урожая – повышенной влажности (20–40 %), что определяет огромный объем работ по приведению его в стойкое для хранения состояние. Сушка влажного зерна характеризуется высокими капитальными вложениями, значительными энерго- и трудозатратами.

В последние годы все большее распространение получает технология консервирования плющеного зерна ранних стадий спелости. Это сравнительно новый, перспективный способ подготовки фуража к скармливанию, так как влажное плющенное консервированное зерно хорошо поедается и лучше усваивается животными. Плющение позволяет улучшить вкусовые качества зерна и повысить питательную ценность углеводного и протеинового комплексов. При этом часть сырого протеина и аминокислот преобразуется в более простые соединения, что улучшает использование белковых веществ [1].

Однако, как показали проведенные в РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» исследования, переваримость консервированного зерна составляет 60–65 %, чего явно недостаточно [1]. С целью повышения переваримости и усвояемости консервированного плющеного зерна необходимо провести исследования по изысканию наиболее рентабельного способа его дальнейшей переработки.

Основная часть

В мировой практике известны методы и технологии обработки зернового сырья с целью повышения его переваримости и усвояемости.

В последние годы, главным образом за рубежом, широко применяются экструдирование, экспандирование и другие виды термомеханической обработки зернофуража [2].

Экструдирование предусматривает два вида воздействия на зерно: механическое и влаготепловое. Подлежащее экструзии сырье доводят до влажности 12–16 % и в некоторых случаях измельчают, а затем подают в экструдер, где под действием высокого давления (2,8–2,9 МПа) и трения зерновая масса разогревается до 120–150 °С. Затем, в результате быстрого перемещения ее из зоны высокого давления в зону атмосферного, происходит «взрыв», в результате чего масса вспучивается и образуется продукт микропористой структуры [3].

Вследствие деструкции целлюлозно-лигнинных образований и желатинизации крахмала значительно улучшается его кормовая ценность [3]. Наряду с положительными качествами экструдирование имеет и проблемные стороны. Тепловая обработка зерна происходит при температуре 120–150 °С, и при таких режимах работы частично разрушаются незаменимые кислоты, некоторые витамины, требуются большие затраты энергии.

Экспандирование – процесс, основанный на гидротермической обработке корма под давлением. Принцип действия экструдеров и экспандеров одинаков – в шнековом рабочем органе продукт разогревается, уплотняется и выпрессовывается. Однако режимы обработки существенно различаются [4].

В экструдерах продукт разогревается только за счет трения при движении по виткам шнека и активного перемешивания под большим давлением. В экспандере обработка проводится при более высокой влажности (до 26 %), разогрев осуществляется не только за счет трения, но и за счет ввода пара, в результате чего обработка зерна происходит в менее жестких условиях, с большей производительностью и с меньшими затратами электроэнергии, чем при экструдировании [4].

В основе термовструдирования лежит кратковременная (5–15 с) высокотемпературная (350–600 °С) обработка зерна в потоке горячего воздуха. При термовструдировании используют высокие температуры и на порядок меньше времени на обработку зерна за счет сверхинтенсивного подвода тепла к зерну в специально организованном режиме теплового удара. В этом случае отпадает необходимость в искусственном увлажнении зерна, а используется только внутренняя естественная влага. Зерна злаков в процессе термовструдирования сами становятся миниатюрными высокоскоростными «котлами варки» под давлением [3].

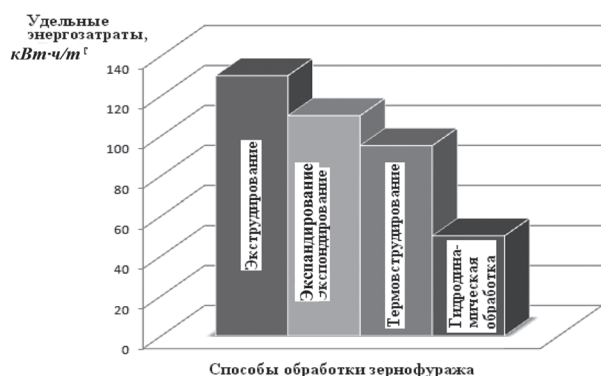


Рисунок 1. – Гистограмма удельных энергозатрат при наиболее распространенных способах обработки зерна

лированных насадках за счет гидродинамических процессов. Под действием энергии гидравлических ударов и ударных волн от схлопнувшихся кавитационных пузырьков осуществляются разрушение зерна и нагрев жидкозерновой массы. Влаготепловая обработка позволяет осуществить также и обеззараживание зернового сырья, инактивацию антипитательных факторов (ингибиторов трипсина, глюкозидов, микотоксинов и т. п.) и преобразование питательных веществ в легкоусвояемые формы [5].

На рисунке 1 приведена гистограмма удельных энергозатрат при наиболее распространенных способах обработки зернофуража [5].

Из гистограммы, изображенной на рисунке 1, видно, что гидродинамический способ обработки зернофуража является не только наиболее щадящим по отношению к витаминам и незаменим аминокислотам, содержащимся в необработанном сырье, но и наиболее энергоэффективным, так как разрушение зерна осуществляется за счет энергии гидравлических ударов и ударных волн от захлопнувшихся кавитационных пузырьков.

Кавитация и связанные с ней физические явления вызывают ряд эффектов, некоторые из них, например разрушение и диспергирование твердых тел, эмульгирование жидкостей, обязаны своим происхождением ударам при схлопывании пузырьков и микропотокам вблизи них. Импульсы давления, возникающие в кавитационных пузырьках, обуславливают также мгновенные разрывы микроорганизмов и простейших, находящихся на твердых предметах и в водной среде. Пузырьки схлопываются во время полупериодов сжатия, создавая кратковременные импульсы давления с образованием точечных температур, способные разрушать даже весьма прочные материалы. Если кавитационные пузырьки захлопываются вблизи твердого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению поверхности рядом находящегося твердого тела [6]. Вода, получившая порцию энергии в виде серии возмущений давления, начинает постепенно нагреваться. Если в воду добавить животный или растительный белок, то происходит интенсивная реакция его гидратации – соединение молекул воды с биополимером, прекращение ее самостоятельного существования и превращение в часть этого белка.

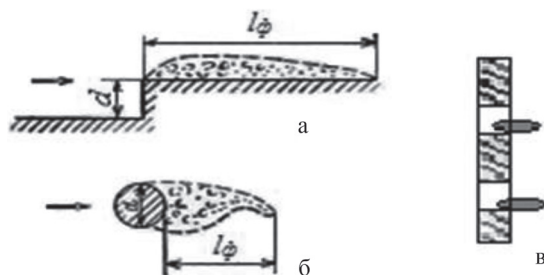
Явление кавитации возникает в жидкости при понижении в ней давления до предела, при котором происходят разрывы потока. Наступление кавитации характеризуется появлением мельчайших парогазовых пузырьков, которые при соответствующем развитии кавитации образуют в потоке кавитационные пульсирующие каверны – факелы кавитации (рисунок 2).

В связи с этим была выдвинута гипотеза о необходимости установки кавитатора, состоящего из двух рабочих органов. Один из них должен увеличивать давление смеси до порогового значения, чтобы образованные ранее пузырьки переросли в пульсирующие каверны и при последующем резком сбросе давления начали захлопываться, создавая кратковременные импульсы давления, способные разрушить частицы зернофуража, находящегося рядом.

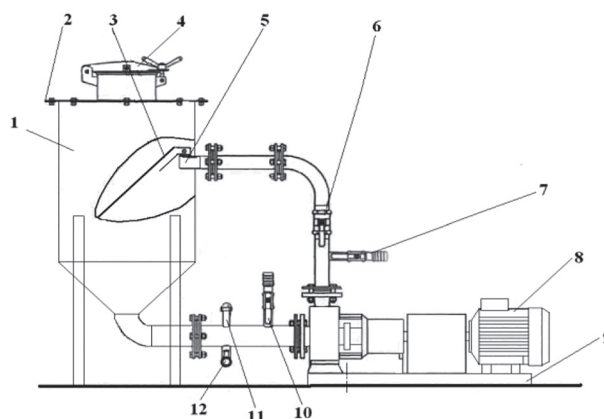
Второй рабочий орган должен разделять поток обрабатываемой смеси на множество мелких струй, что, в свою очередь, позволит увеличить количество парогазовых пузырьков.

Термовстреливание зернобобовых позволяет значительно нейтрализовать ингибиторы трипсина и химотрипсина. Вместе с тем, как показала практика, организовать подвод тепла к зерну в летящем потоке достаточно сложно, а из-за высоких температур происходит частичное разрушение незаменимых аминокислот и витаминов. Поэтому такой способ пока не получил распространения [3, 4].

Представляет интерес малоизученная гидротермическая механизированная обработка зерна, которая осуществляется с помощью различных установок. В таких установках обработка зерна осуществляется в водной среде без доступа кислорода в специально спрофи-



а – при обтекании выступа;
б – при обтекании цилиндра;
в – при обтекании отверстий
Рисунок 2. – Факелы кавитации



1 – емкость; 2 – крышка; 3 – решето; 4 – люк;
5 – ускоряющий патрубок; 6, 7 – краны; 8 – насос;
9 – рама; 10, 12 – патрубки; 11 – термоматчик
Рисунок 3. – Схема экспериментальной установки
гидродиспергатора

В результате поисковых исследований в качестве рабочих органов гидродинамической установки, создающих эффект кавитации, были выбраны решето и конический патрубок (рисунок 3).

Конический патрубок предназначен для увеличения давления жидкости до порогового значения, после которого, попадая в область атмосферного давления (в емкость аппарата), парогазовые пузырьки начинают захлопываться, разрушая при этом зерновые компоненты смеси.

Функция решета заключается в создании дополнительных течений в сплошном потоке жидкости (усиленного турбулентного течения) и частичном механическом разрушении измельчаемых частиц. Струя кормосмеси выходит из ускоряющего патрубка и ударяется о решето, в результате чего возникает сила, которая может разрушить частицы зернофуража. Однако из-за сил трения, возникающих при движении струи внутри среды, движущейся со значительно меньшей скоростью, эта сила будет со временем уменьшаться. Поэтому для наиболее эффективной работы аппарата необходимо найти расстояние, на котором требуется установить решето.

Струя кормосмеси воздействует на фронтальную поверхность решета с силой, равной

$$R = \rho Q_v v_4 \sin \varphi, \quad (1)$$

где φ – угол наклона решета, град.; ρ – плотность кормосмеси, кг/м³; Q_v – подача, м³/с; v_4 – скорость струи кормосмеси в момент соударения с решетом.

Так как сила действия равна по модулю и противоположна по направлению силе противодействия, то и решето воздействует на кормосмесь с такой же силой.

Сила, необходимая для разрушения зерна, будет равна:

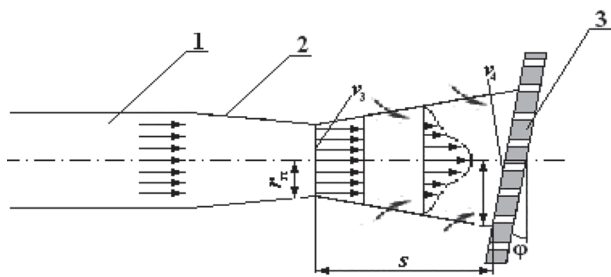
$$R_z = \frac{\sigma}{k} S_{ст}, \quad (2)$$

где σ – разрушающее контактное напряжение, для зернофуража $\sigma = 30 \cdot 10^6$ Па; k – безразмерный коэффициент, учитывающий влажность зернофуража и степень его обработки; $S_{ст}$ – площадь струи, м², определяется по формуле:

$$S_{ст} = \pi r_{ст}^2, \quad (3)$$

где $r_{ст}$ – радиус струи кормосмеси, м.

Струя кормосмеси, вытекающая из конического патрубка, движется в общей массе кормосмеси, находящейся в бункере гидродиспергатора, постепенно расширяясь (рисунок 4). Хотя струя кормосмеси имеет ярко выраженную границу, через нее в струю вовлекаются новые частицы, масса струи растет при уменьшении ее скорости, а следовательно, и ударной силы.



1 – трубопровод; 2 – ускоряющий патрубок; 3 – решет
Рисунок 4. – Схема движения струи кормосмеси

Радиус струи на расстоянии s от начального сечения [7] равен:

$$r_{ст} = \left(3,4 \frac{as}{r_{п}} + 1 \right) r_{п}, \quad (4)$$

где $r_{п}$ – радиус ускоряющего патрубка, м; a – константа, принимаемая обычно 0,07...0,08, принимаем $a = 0,07$; s – расстояние от ускоряющего патрубка до решетки.

Тогда сила, необходимая для разрушения зерна, будет равна:

$$R_3 = \frac{\sigma \pi r_{п}^2}{k} \left(3,4 \frac{as}{r_{п}} + 1 \right)^2. \quad (5)$$

Так как для разрушения зернофуража необходимо, чтобы R_3 была равна R , то приравняем правые части уравнений (1) и (5), подставим значение константы a и упростим полученное выражение:

$$\frac{\sigma \pi r_{п}^2}{k} \left(0,2 \frac{s}{r_{п}} + 1 \right)^2 = \rho Q v_4 \sin \varphi, \quad (6)$$

где φ – угол наклона решетки, град.

Так как струя кормосмеси, выходя из ускоряющего патрубка, движется внутри кормосмеси, постепенно замедляясь, то движение ее подчиняется законам кинематики для равнозамедленного движения. Кроме того, согласно теореме о потере кинетической энергии на удар, «если в какую-либо вязкую жидкую среду, движущуюся со своей скоростью, вбивается другая жидкость с большей скоростью, то потеря кинетической энергии жидкости равна кинетической энергии потерянных скоростей» [7].

При одинаковых геометрических высотах и одинаковой плотности ρ смешивающихся жидкостей справедливо равенство:

$$P_4 - P_3 = \rho v_4 (v_3 - v_4), \quad (7)$$

где P_3 – давление транспортируемой массы на выходе из ускоряющего патрубка, Па; ρ – плотность кормосмеси, кг/м³; v_3 – скорость транспортируемой массы на выходе из ускоряющего патрубка, м/с; v_4 – скорость транспортируемой массы в момент столкновения с решетом, м/с; P_4 – давление, обеспечивающее разрушение зернофуража, Па, определяется по формуле:

$$P_4 = \frac{\sigma}{k}, \quad (8)$$

где σ – разрушающее контактное напряжение, для зернофуража $\sigma = 30 \cdot 10^6$ Па; k – безразмерный коэффициент, учитывающий влажность зернофуража и степень его обработки.

В уравнении (7) неизвестной величиной является v_4 , поэтому выразим ее из уравнения (6) и, подставив в (7), упростим:

$$\frac{\sigma}{k} - P_3 = \frac{\sigma \pi r_{п}^2 \left(0,2 \frac{s}{r_{п}} + 1 \right)^2}{k Q v \sin \varphi} \left(v_3 - \frac{\sigma \pi r_{п}^2 \left(0,2 \frac{s}{r_{п}} + 1 \right)^2}{k \rho Q v \sin \varphi} \right). \quad (9)$$

В этом выражении искомой величиной является s – расстояние от ускоряющего патрубка до решетки. Из уравнения (9) видно, что значение расстояния s будет зависеть от технических характеристик выбранного насоса, а также от физико-механических свойств кормосмеси.

Заключение

Таким образом, гидродинамический способ обработки зернофуража является не только наиболее щадящим по отношению к витаминам и незаменимым аминокислотам, содержащимся в необработанном сырье, но и наиболее энергоэффективным, так как разрушение зерна осуществляется за счет энергии гидравлических ударов и ударных волн от схлопнувшихся кавитационных пузырьков в гидродиспергаторе, одним из рабочих органов которого является решето. Функция решета заключается в создании дополнительных течений в сплошном потоке жидкости (усиленного турбулентного течения) и в частичном механическом разрушении измельчаемых частиц. Струя кормосмеси ударяется о решето, в результате чего возникает сила, которая может разрушить частицы зернофуража. Однако из-за сил трения, возникающих при движении струи внутри среды, движущейся со значительно меньшей скоростью, эта сила будет со временем уменьшаться. Поэтому в статье была получена зависимость для определения расстояния, на котором требуется установить решето для наиболее эффективной работы аппарата. Из полученного уравнения видно, что значение расстояния s будет зависеть от технических характеристик выбранного насоса, а также от физико-механических свойств кормосмеси.

Литература

1. Энергетическая эффективность технологии измельчения влажного зерна / А. В. Китун [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. ст. – Гродно, 2009. – Ч. 1. – С. 42–45.
2. Машины и аппараты для пищевых производств: в 2 кн. Кн. 2 / С. Т. Антипов [и др.]. – М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.
3. Алешкин, В. Р. Механизация животноводства / В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
4. Механизация технологических процессов / Н. Н. Белянчиков [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 400 с.
5. Рекомендации по заготовке и использованию плющеного зерна повышенной влажности / сост.: П. И. Бурдук [и др.]. – Жодино, 2007. – 24 с.
6. Идельчик, Е. И. Справочник по гидросопротивлениям / Е. И. Идельчик. – М.: Наука, 1992. – 354 с.
7. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

УДК 636.2.085:678.057.3

Поступил в редакцию 01.07.2018
Received 01.07.2018

**В. Ф. Радчиков¹, В. И. Передня², А. И. Пунько³, А. Н. Кот¹, В. П. Цай¹,
Г. В. Бесараб¹, О. Ф. Ганущенко⁴, С. Л. Шинкарева¹**

¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»
г. Жодино, Минская обл., Республика Беларусь
e-mail: labkrs@mail.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagrotech@tut.by

³УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: punko@tut.by

⁴УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины»
г. Витебск, Республика Беларусь
e-mail: rio_vsavm@tut.by

ЭКСТРУДИРОВАНИЕ – ВАЖНЫЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОВЯДИНЫ

Использование в рационах молодняка крупного рогатого скота 5 % экструдированного пищевого концентрата способствует увеличению среднесуточных приростов бычков на 7 % и снижению затрат кормов на получение прироста на 6 %, увеличению прибыли на 11 %.

Ключевые слова: бычки, корма, экструдированный пищевой концентрат, прирост, затраты кормов, пеларварность.

V. F. Radchikov¹, V. I. Perednya², A. I. Punko³, A. N. Kot¹, V. P. Tzai¹, G. V. Besarab¹,
O. F. Ganushenko⁴, S. L. Shinkareva¹

¹RUE «Scientific and practical center of the National academy of sciences of Belarus for Animal husbandry»
Zhodino, Minsk region, Republic of Belarus
e-mail: labkrs@mail.ru

²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by

³EE «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: punko@tut.by

⁴EE «Vitebsk state academy for veterinary medicine»
Vitebsk, Republic of Belarus

EXTRUDING AS IMPORTANT FACTOR OF IMPROVING EFFICIENCY OF FEED FOR BEEF PRODUCTION

5 % of extruded feed concentrate in diets for young cattle contributes to increase in the average daily weight gain of steers by 7 % and decrease in feed costs for weight gain by 6 %, increase in profit by 11 %.

Keywords: steers, feed, extruded feed concentrate, weight gain, feed costs, digestibility.

Введение

В связи с недостаточным производством сельскохозяйственные предприятия вынуждены закупать основные белковые корма в регионах ближнего и дальнего зарубежья, что приводит к перерасходу денежных средств. В то же время приготовление комбикормов и кормовых добавок из местных источников сырья позволяет более полно и рационально использовать зернобобовые, масличные культуры, вторичные продукты пищевой промышленности и др. [1–8].

Производство комбикормов в хозяйствах экономически выгодно и перспективно. При этом имеется возможность быстрее и эффективнее внедрять последние достижения науки и передовой опыт в организации биологически полноценного кормления животных, всецело учитывать особенности объемистой части рациона. Это позволяет полностью удовлетворить потребности животных в различных нормируемых элементах питания и повысить коэффициент полезного действия кормов, а также лучше использовать различного рода обогатители и дополнительные источники кормов [9–14].

Основная часть

Одним из источников энергетического сырья могут служить семена льна. Благодаря высокому содержанию в них жиров, обеспечивается высокая энергетическая ценность рационов. В 1 кг льносемена содержится от 15,0 до 20,0 МДж обменной энергии. По содержанию лизина белок льносемена уступает только соевому шроту, а по уровню остальных незаменимых аминокислот близок к одному из самых полноценных протеинов – белку куриного яйца [15].

В связи с этим разработана технология получения экструдированного пищевого концентрата (ЭПК) на основе льносемена и крупки, содержащего в 1 кг 1,54 к. ед., 15,6 МДж обменной энергии, 266 г жира, 70 г сахара.

Цель работы – изучить эффективность скормливания экструдированного обогатителя бычкам на откорме.

Для опытов подобраны бычки средней живой массой 322–328 кг в возрасте 13 месяцев. Продолжительность опыта составила 120 дней.

В физиологическом опыте изучались влияние комбикормов с разными нормами ввода ЭПК на показатели рубцового пищеварения, переваримость питательных веществ, баланс азота и минеральных элементов, биохимический состав крови.

Состав и питательная ценность рационов, которые использованы в научно-хозяйственном опыте, приведены в таблице 1, из которой следует, что в состав суточного рациона бычков входили: комбикорм – 3,5 кг, сенаж – 16,0–16,4 кг, патока – 0,7 кг.

Таблица 1. – Состав и питательность рационов подопытных животных

Корма и питательные вещества	Группа			
	I	II	III	IV
Комбикорм, кг	3,5	3,5	3,5	3,5
Сенаж разнотравный, кг	16,0	16,2	16,4	16,1
Патока, кг	0,7	0,7	0,7	0,7
В рационе содержится:				
кормовых единиц	8,5	8,54	8,6	8,52
сухого вещества, г	9,7	9,8	10,0	9,6
обменной энергии, МДж	80	83	86	81,4
сырого протеина, г	1120	1135	1140	1133
расщепляемого протеина, г	773	760	730	736
нерасщепляемого протеина, г	347	375	410	397
переваримого протеина, г	700	717	729	720
сахара, г	675	685	695	690
жира, г	302	330	341	325
кальция, г	45	47	48	46
фосфора, г	24	26	28	25

Содержание обменной энергии в сухом веществе составило в контрольной группе 8,2 МДж, во II опытной – 8,5 МДж, в III – 8,6 МДж, в IV опытной – 8,4 МДж.

В расчете на 1 кормовую единицу в I группе приходилось 82 г переваримого протеина, а во II, III, IV опытных группах 8 г, 85 и 85 г соответственно.

Сахаро-протеиновое отношение в рационах подопытных животных составило 0,8–0,9. Уровень нерасщепляемого протеина от сырого протеина составил: в контрольной группе – 31 % (347 г); во II опытной – 33 % (375 г), в III – 36 % (410 г), IV – 35 % (397 г). Содержание клетчатки в сухом веществе рациона в подопытных группах находилось на уровне 20–22 %. Отношение кальция к фосфору составило 1,8–2:1.

Различия в составе комбикормов заключаются в том, что в комбикорма для бычков II, III и IV опытных групп введен экструдированный пищевой концентрат в количестве 5, 10 и 15 % по массе взамен части ячменя.

Изучение процессов рубцового пищеварения показало, что во всех группах реакция среды содержимого рубца (pH) находилась практически на одинаковом уровне, с колебаниями в пределах 6,3–6,8.

В рубцовой жидкости бычков опытных групп, потреблявших в составе комбикормов ЭПК в количестве 5, 10 и 15 % по массе, отмечено увеличение содержания азота на 14, 21 и 15 %.

Обогащение комбикорма КР-3 ЭПК в разном количестве способствовало снижению количества аммиака в рубце опытных животных на 6–12 %, что свидетельствует о снижении расщепления протеина и улучшении его использования микроорганизмами для синтеза белка своего тела, причем в III группе разница оказалась достоверной.

В физиологическом опыте наилучшей переваримостью практически всех питательных веществ отличались животные, получавшие с комбикормом КР-3 экструдированный пищевой концентрат в количестве 5 % по массе.

Использование ЭПК позволило повысить переваримость сухого вещества на 6,3 %, органического вещества – на 5,8, протеина – на 5,4, жира – на 5,5, клетчатки – на 3,2, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – на 3,0 %.

В физиологическом опыте бычки подопытных групп съедали разное количество кормов, в связи с чем поступление азота в организм оказалось различным. Так, молодняк II, III и IV опытных групп потреблял его соответственно на 0,4, 2,0 и 1,8 % больше, чем контрольной. Отмеченное увеличение поступления азота с кормом и меньшее выделение с калом способствовало повышению обеспеченности молодняка III группы переваренным азотом на 6,4 г ($P < 0,05$) и на 2,9 и 3,4 г – бычков II и IV групп соответственно.

Большее выделение азота с мочой молодняком опытных групп привело к увеличению различий в отложении азота в теле до 0,7; 2,9 и 1,0 г соответственно во II, III и IV группах. Причем разница между бычками III группы и контролем оказалась достоверной.

В крови телят, получавших ЭПК в количестве 5 % по массе в составе комбикорма, отмечено повышение содержания белка на 7,5 % по сравнению с контрольной группой ($P < 0,05$).

В крови животных, получавших добавку в количестве 10 и 15 % по массе в составе комбикорма, выявлено повышение концентрации эритроцитов относительно молодняка I группы на 2,2–2,4 %.

Введение в рацион бычков ЭПК способствовало снижению уровня мочевины в крови опытных животных на 6,5–14,9 % ($P < 0,05$).

Как показывают результаты опыта по изучению интенсивности роста животных в связи с применением в их рационах комбикормов, содержащих разное количество ЭПК, наиболее целесообразно использовать его в норме 5 % по массе (таблица 2).

Таблица 2. – Живая масса и затраты кормов

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Живая масса, кг				
в начале опыта	320,0	325,0	328,0	322
в конце опыта	426,2	438,5	438,4	432,2
Валовой прирост, кг	106,2	113,5	110,4	110,2
Среднесуточный прирост, г	885 ± 10,4	946 ± 12,5	920 ± 9,5	918 ± 11,3
Затраты кормов на 1 ц прироста, ц к. ед.	8,5	8,0	8,2	8,3

Введение добавки ЭПК в количестве 5 % по массе в состав комбикорма КР-3 позволило получить среднесуточный прирост 946 г, что на 7 % выше, чем в контроле ($P < 0,05$).

Включение в состав комбикорма КР-3 ЭПК в количестве 5 и 15 % оказало меньшее ростостимулирующее действие на животных.

Животные, получавшие комбикорма с ЭПК в количестве 5 % по массе, затрачивали кормов меньше на 6 %.

Себестоимость прироста снизилась во II опытной группе на 10 %. При использовании иных норм добавки этот показатель снижался в меньшей степени.

Снижение себестоимости прироста бычков, в состав комбикорма которых вводилась добавка в количестве 5 % по массе, позволило получить дополнительную прибыль в расчете на голову за опыт на 11 % больше, чем в контрольном варианте.

В результате контрольного убоя подопытных бычков, проведенного в конце опыта, установлено, что животные II, III и IV опытных групп, потреблявшие ЭПД в количестве 5, 10 и 15 % по массе в составе комбикорма, по массе туш превосходили сверстников контрольной группы. Убойный выход у опытных животных повысился на 1,6–2,0 процентных пункта.

В средней пробе мяса содержалось 18,5–20,1 % белка, 8,4–9,4 жира и 0,3–1,0 % золы. В длиннейшей мышце спины отношение количества триптофана к оксипролину составило 4,4–4,5, или на 7–10 % выше, чем в контрольной группе.

Заключение

Включение в рацион молодняка крупного рогатого скота 5 % экструдированного пищевого концентрата способствует активизации микробиологических процессов в рубце, что приводит к снижению количества аммиака на 12 %, увеличению уровня общего азота на 21 %, повышению переваримости сухих, органических веществ, протеина, жира и клетчатки на 3,0–6,3 %, улучшению использования азота на 3,3 %, увеличению среднесуточных приростов бычков на 7 % и снижению затрат кормов на получение прироста на 6 %, повышению прибыли на 11 %.

Литература

1. Сапсалева, Т. Л. Использование рапса и продуктов его переработки в кормлении крупного рогатого скота / Т. Л. Сапсалева, В. Ф. Радчиков // Новые подходы, принципы и механизмы повышения эффективности производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 5–6 июня 2014 г. / ГНУ Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции Россельхозакадемии, Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2014. – С. 28–31.
2. Эффективность использования минеральных добавок из местных источников сырья в рационах телят / В. Ф. Радчиков [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси. – Жодино, 2010. – Т. 45. – № 2. – С. 185–191.
3. Новые сорта зерна крестоцветных и зернобобовых культур в рационах ремонтных телок / В. Ф. Радчиков [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51. – № 2. – С. 64–68.
4. Радчиков, В. Ф. Скармливаем жом – деньги бережем / В. Ф. Радчиков, В. П. Цай, В. К. Гурин // Белорусское сельское хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 58.
5. Сыворотка молочная казеиновая в кормлении молодняка крупного рогатого скота / А. М. Глинова [и др.] // Новые подходы, принципы и механизмы повышения эффективности производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 5–6 июня 2014 г. / ГНУ Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции Россельхозакадемии, Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2014. – С. 26–28.
6. Жом в кормлении крупного рогатого скота / В. Ф. Радчиков [и др.] // Сахар. – 2016. – № 1. – С. 52–55.
7. Трансформация энергии рационов бычками в продукцию при использовании сапропеля / В. Ф. Радчиков [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси. – Жодино, 2014. – Т. 49. – № 2. – С. 148–158.
8. Яцко, Н. А. Местные источники энергии и белка в рационах племенных телок / Н. А. Яцко, В. Ф. Радчиков, В. К. Гурин, В. П. Цай // Ученые записки УО ВГАВМ. – Витебск: УО «Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины», 2011. – Т. 47. – № 1. – С. 471–474.
9. Шейко, И. П. Продуктивность бычков и качество мяса при повышенном уровне энергии в рационе / И. П. Шейко, И. Ф. Горлов, В. Ф. Радчиков // Зоотехническая наука Беларуси. – Жодино, 2014. – Т. 49. – № 2. – С. 216–223.
10. Радчиков, В. Ф. Физиологическое состояние и продуктивность ремонтных телок при использовании в рационах местных источников белка, энергии и биологически активных веществ / В. Ф. Радчиков, В. Н. Куртина, В. К. Гурин // Зоотехническая наука Беларуси. – Жодино, 2012. – Т. 47. – № 2. – С. 207–214.
11. Особенности рубцового пищеварения нетелей при скармливании рационов в летний и зимний периоды / В. П. Цай [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы повышения продуктивности животных и конкурентоспособности продукции животноводства в современных экономических условиях АПК РФ: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина». – Ульяновск, 2015. – Т. 1. Серия кормопроизводство, кормл. с.-х. животных. – С. 300–303.
12. Новые комбикорма-концентраты в рационах ремонтных телок 4–6-месячного возраста / С. И. Кононенко [и др.] // Сб. науч. тр. Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – Краснодар, 2014. – Т. 3. – С. 128–132.
13. Энергетическое питание молодняка крупного рогатого скота: монография / В. Ф. Радчиков [и др.]; РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству». – Жодино, 2014.
14. Высококачественная говядина при использовании продуктов переработки рапса в кормлении бычков / В. Ф. Радчиков [и др.] // Инновации и современные технологии в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. по материалам междунар. науч.-практ. Интернет-конференции (4–5 февраля). – Ставрополь: Агрус, 2015. – С. 300–308.
15. Экструдированный обогатитель на основе льносемени и ячменной крупки в рационах телят / В. Ф. Радчиков [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2015. – № 1. – С. 92–97.

УДК 624.954

Поступила в редакцию 24.08.2018
Received 24.08.2018

Э. В. Дыба

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

ОЦЕНКА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ БУНКЕРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КОРМОВ МЕТОДОМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

В статье приводятся результаты выполненных исследований по оценке работы устройства очистки бункеров для хранения кормов методом регрессионного анализа.

Ключевые слова: бункер, манипулятор, давление, насадка, очистка, сопло, устройство, макетная установка, загрязнение.

EVALUATION OF THE WORK OF THE DEVICE OF CLEANING OF BUNKERS FOR STORAGE OF FORAGES BY METHOD OF THE REGRESSION ANALYSIS

Results of the executed researches on evaluation of the work of the device of cleaning of bunkers for storage of forages by method of the regression analysis are given in article.

Keywords: bunker, manipulator, pressure, nozzle, cleaning, device, model installation, pollution.

Введение

В АПК Республики Беларусь на животноводческих, свиноводческих и птицеводческих фермах и комплексах для хранения зерна, комбикормов или кормовых добавок используются более 2,5 тыс. металлических бункеров (силосов) различной вместимости [1]. В процессе их эксплуатации внутри хранилища накапливаются остатки корма, которые со временем в результате биологических изменений становятся источником размножения и дальнейшего распространения зерновых вредителей, а также патогенной микрофлоры, мха, плесени. Из-за появления источников загрязнений, их постоянного контакта с хранимым материалом значительно снижается кормовая ценность последнего, а при попадании в организм животного такой корм становится одной из причин заболеваний пищеварительной системы, нарушения обмена веществ.

Микозы и микотоксикозы наносят животноводству ощутимый экономический ущерб, связанный с большой потерей поголовья животных, снижением продуктивности и качества продукции [2, 3].

Для предупреждения образования физико-биологических загрязнений внутри бункеров для хранения кормов и снижения уровня бактериологической обсемененности из-за развития микроорганизмов и патогенной микрофлоры необходимо регулярно проводить внутреннюю очистку и дезинфекцию применяемого емкостного оборудования.

Технологическая очистка внутренней поверхности силоса необходима для обеспечения требуемых условий для правильной эксплуатации измерительных приборов (датчиков температуры, влажности, уровня), также она способствует повышению взрывобезопасности оборудования.

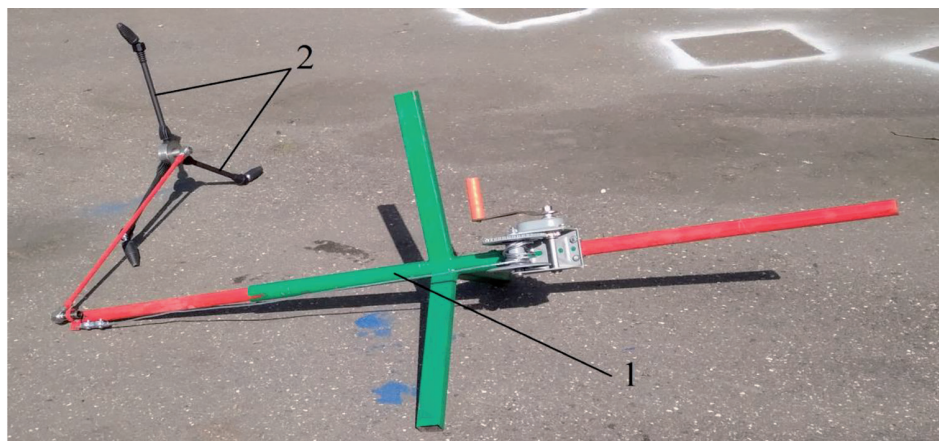
Особо необходимо отметить актуальность данной работы в свете требований технического регламента Таможенного союза ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна», в котором отражены обязательные для применения и исполнения требования к зерну и связанные с ними требования к процессам производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации в целях защиты жизни и здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений. Аналогичные требования изложены и в проекте технического регламента Таможенного союза «О безопасности кормов и кормовых добавок», который вступит в действие в ближайшее время.

Нарушение правил и изменение условий хранения кормов является одной из причин ухудшения их качества, что делает корма непригодными для скормливания в натуральном виде.

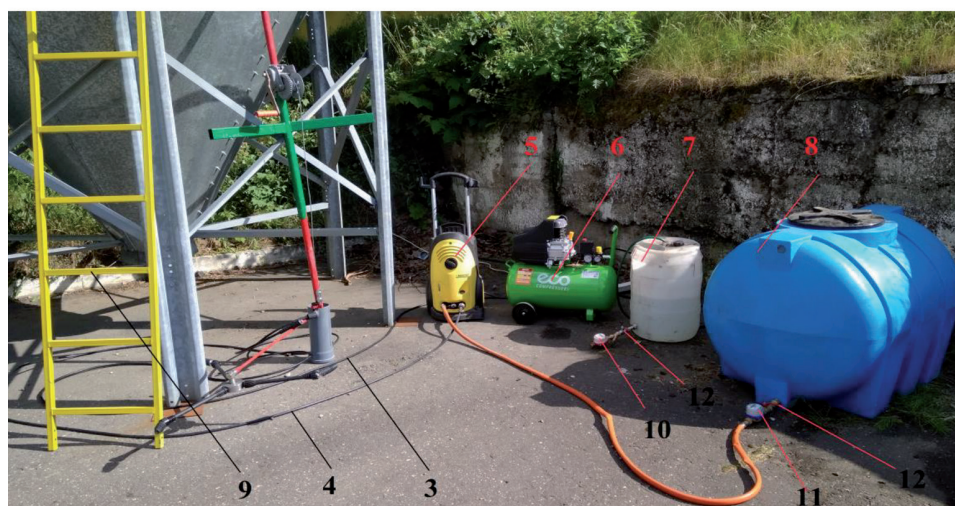
Таким образом, выполнение исследований по данному научному проекту направлено на обеспечение сохранности качества кормов, находящихся в емкостных хранилищах, за счет эффективной очистки внутренней поверхности бункера от физико-биологических загрязнений, продления срока эксплуатации оборудования.

С этой целью лабораторией механизации и автоматизации технологических процессов в свиноводстве и птицеводстве РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в рамках выполнения задания 4.25 «Исследование процесса внутренней очистки бункеров для хранения кормов на животноводческих фермах от физико-биологических загрязнений с обоснованием конструктивно-кинематических параметров устройства обработки» подпрограммы «Механизация и автоматизация процессов в АПК» ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 годы, разработана макетная установка устройства обработки

бункеров для хранения кормов (рисунок 1), предназначенная для очистки и дезинфекции внутренней поверхности бункеров (силосов) от остатков кормов, патогенной микрофлоры, мха, плесени и прочих вредоносных начал.



а



б

а – манипулятор со сменными пневмогидравлическими насадками; б – общий вид макетной установки

1 – манипулятор; 2 – пневмогидравлические насадки; 3 – шланг высокого давления подключения пневматической магистрали; 4 – шланг высокого давления подключения гидравлической магистрали; 5 – мойка высокого давления; 6 – компрессор; 7 – емкость для химического раствора; 8 – резервуар для оmyивающей жидкости; 9 – лестница; 10 – счетчик расхода химического раствора; 11 – счетчик расхода оmyивающей жидкости; 12 – кран шаровой

Рисунок 1. – Устройство очистки бункеров для хранения кормов

Основным критерием работоспособности устройства обработки бункеров является качество очистки внутренней поверхности силосов, которое характеризуется площадью очищенной поверхности. Поэтому исследование качества очистки внутренней поверхности силосов, которое характеризуется площадью очищенной поверхности, в зависимости от изменения давления подачи очищающей жидкости, угла наклона сопла и количества насадок является актуальной научной задачей.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлось устройство очистки бункеров для хранения кормов. Программой исследований предусматривалось изучить влияние основных конструктивных и кинематических параметров устройства (давление подачи оmyивающей жидкости, угол наклона сопла

щелевой насадки и количество насадок) на качество (эффективность) очистки внутренней поверхности бункеров от загрязнений с целью обоснования их рациональных параметров.

Исследования проводились при очистке бункеров БСК-15 в производственных условиях. Внутреннюю поверхность бункеров по высоте разбивали на участки, равные 0,2 м. Затем проводили очистку поверхности при заданных параметрах настройки макетной установки. Эффективность очистки определяли прямым подсчетом площади очищенной поверхности. При подсчете площади очистки контур пятна обводили через прозрачную полиэтиленовую пленку, а затем, накладывая пленку на миллиметровую бумагу, считали площадь, заключенную в контуре, нанесенном на полиэтиленовую пленку. Затем определяли площадь очищенной поверхности бункера путем вычета из общей площади обрабатываемого участка площади оставшихся пятен.

Для изучения комплексного влияния конструктивных и кинематических параметров макетной установки устройства обработки бункеров для хранения кормов на качество очистки внутренней поверхности бункеров (силосов) применили методы физического моделирования и математической теории планирования эксперимента.

Основной задачей планирования эксперимента является получение статистической математической модели объекта исследования в виде полинома (уравнения регрессии) чаще всего первой или второй степени [4–9]. Уравнение регрессии позволит оценить влияние воздействующих факторов x_i на качество (эффективность) очистки внутренней поверхности бункеров (силосов) y :

$$y = b_0 + \sum_i^k b_i x_i + \sum_{i>j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=j}^k b_{ij} x_i^2, \quad (1)$$

где x_i, x_j – кодовое обозначение факторов; b_0 свободный член, равный выходу при $x_i = 0$; b_i – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие на влияние того или иного фактора на изучаемый объект; b_{ij} – коэффициент регрессии соответствующих факторов двойного взаимодействия.

В качестве критерия оптимизации рассматривалась площадь очищенной внутренней поверхности бункеров (силосов) $S_{оч}$, характеризующая эффективность и качество очистки бункеров. Данный критерий предполагает, что после очистки бункеров на их внутренней поверхности не должны присутствовать остатки кормов и другие загрязняющие вещества.

В процессе очистки внутренней поверхности бункеров важное влияние на площадь очищенной поверхности оказывают следующие факторы: давление подачи очищающей жидкости ($P_{ж}$, МПа), угол наклона сопла (α , град.) и количество насадок (n , шт.).

Уровни варьирования факторов были определены из следующих соображений. Пределы изменения давления подачи очищающей жидкости, исходя из технической характеристики аппарата высокого давления, ограничены от 3 до 15 МПа. Изменение давления подачи жидкости осуществляют регулировочным маховиком, а контроль давления – по манометру. Поэтому данные значения давления (3–15 МПа) приняты в качестве нижнего и верхнего уровней варьирования фактора соответственно.

В манипуляторе в распределяющую шайбу вкручиваются сменные пневмогидравлические насадки с поворотным соплом. Угол наклона сопла по технической характеристике изменяется в пределах от 0 до 45 градусов. Минимальный угол, при котором происходит вращение механизма очистки, составляет 5 градусов. Установка угла наклона сопла насадки осуществляется с помощью транспортира. За нижний и верхний уровни варьирования фактора приняты значения угла наклона сопла, равные 5 и 45 градусам соответственно.

Из приведенного ранее обзора и анализа [10–16] следует, что для обеспечения качественной очистки внутренней поверхности бункеров количество насадок, при котором расход очищающей жидкости достигает минимального значения, не превышает пяти штук. Как отмечалось ранее, пневмогидравлические насадки с поворотным соплом вкручиваются в распределяющую шайбу, поэтому для проведения исследований были изготовлены три распределяющие шайбы с 1, 3 и 5 выходами (рисунок 2).

Уровни варьирования факторов и кодовые обозначения переменных приведены в таблице 1.

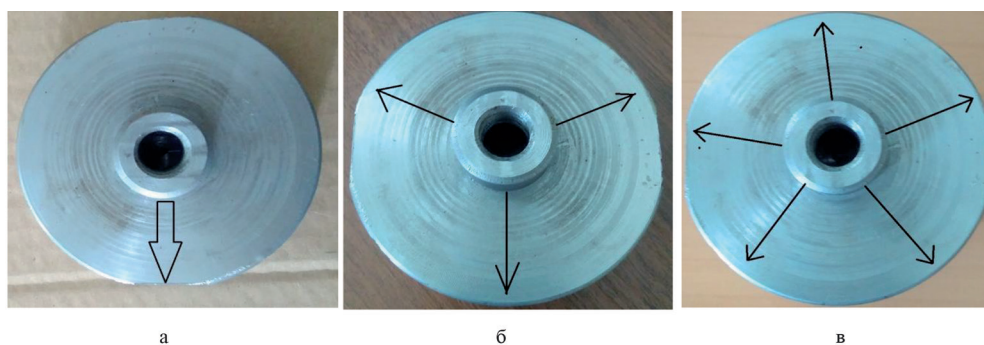


Рисунок 2. – Экспериментальные образцы распределяющих шайб с 1 (а), 3 (б) и 5 (в) выходами

Таблица 1. – Уровни варьирования факторов и их кодовое обозначение

Кодовое обозначение фактора	Давление подачи очищающей жидкости, ($P_{ж}$)	Количество насадок, (n_n)	Угол наклона сопла, (α)
	X_1	X_2	X_3
Размерность	<i>МПа</i>	<i>шт.</i>	<i>град.</i>
Верхний уровень	15	5	45
Базовый уровень	9	3	25
Нижний уровень	3	1	5
Интервал варьирования	6	2	20

Результаты исследований

Площадь очищенной внутренней поверхности бункеров (силосов) в зависимости от исследуемых параметров изменяется по параболическим кривым. Это послужило основанием предположить, что факторное пространство описывается уравнением регрессии в виде полинома второй степени, который имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3. \quad (2)$$

Для получения уравнения регрессии второго порядка проводился анализ с целью выбора метода планирования эксперимента, в результате которого было предложено реализовать некомпозиционный план по методу Бокса-Бенкина [17–20]. Выбранный план Бокса-Бенкина имеет тип 3^k . В данном плане выбранные переменные варьируются на трех уровнях: +1, 0, –1, что упрощает и удешевляет эксперимент по сравнению с центральными композиционными ротатбельными планами второго порядка, где предусматривается использование каждого фактора на пяти уровнях [4–9].

Таким образом, по результатам расчета было получено уравнение регрессии второго порядка, которое имеет вид:

$$y_{S_{i\div}} = 1,31 - 0,19x_1 + 0,04x_2 + 0,11x_3 + 0,14x_1^2 - 0,09x_2^2 - 0,3x_3^2 - 0,06x_1x_2 - 0,06x_1x_3. \quad (3)$$

Подставив в уравнение (3) натуральные значения факторов x_1 , x_2 , x_3 , получим функцию отклика в натуральных показателях:

$$S_{оч} = 0,8 - 0,074P_{ж} + 0,2n_n + 0,05\alpha + 0,004P_{ж}^2 + 0,023n_n^2 + 0,0008\alpha^2 - 0,0005P_{ж}\alpha - 0,005P_{ж}n_n. \quad (4)$$

При анализе уравнения регрессии второго порядка (3) установлено, что адекватность уравнения в кодированном виде при уровне значимости 0,05 % говорит о том, что погрешность вычислений при реализации полученных моделей на практике в установленном диапазоне варьирования факторов не превысит 5 %.

На основании реализации эксперимента и проверки воспроизводимости опытов $G = 0,259 \leq G_{0,05(15)} = 0,335$ получена полиномиальная адекватная $S_{\Delta U} = 0,023 \leq S_{y0} = 0,049$ модель влияния конструктивных и кинематических параметров макетной установки на площадь очищаемой внутренней поверхности бункера. Уравнение (3) определяет характер и степень влияния факторов (x_1 , x_2 и x_3) на площадь очищаемой внутренней поверхности бункера. Графическая интерпретация уравнения регрессии представляет собой поверхности отклика и их двумерные сечения (рисунок 3, 4 и 5).

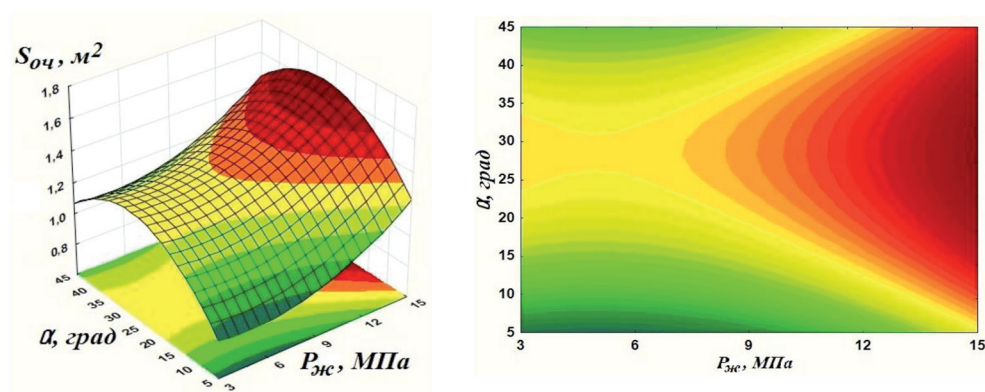


Рисунок 3. – Поверхность отклика и ее двумерное сечение $S_{оч} = f(P_{жс}; \alpha)$

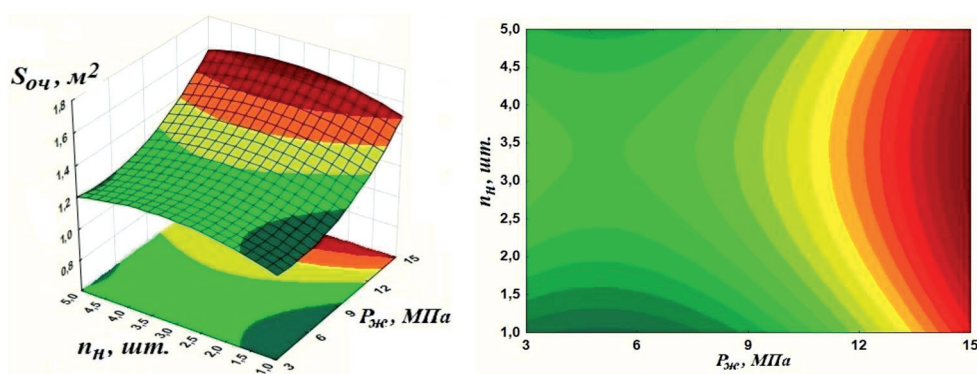


Рисунок 4. – Поверхность отклика и ее двумерное сечение $S_{оч} = f(P_{жс}; n_n)$

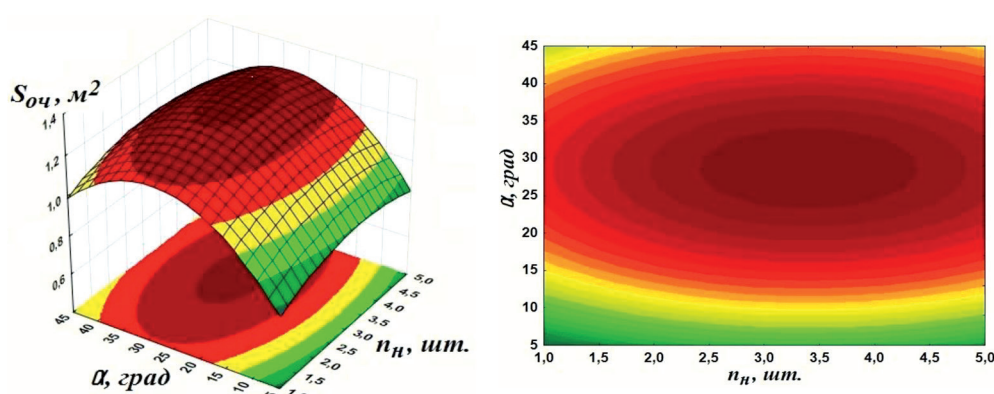


Рисунок 5. – Поверхность отклика и ее двумерное сечение $S_{оч} = f(n_n; \alpha)$

Знак «—» перед b_i в уравнении (3) указывает на то, что изменение x_i вызывает увеличение площади очистки. Величина коэффициентов парных взаимодействий b_j говорит о том, что действие одного из рассматриваемых факторов незначительно зависит от уровня, на котором находится

другой фактор. Так как b_j имеет отрицательный знак, то площадь очистки увеличивается в тех случаях, когда оба фактора x_i и x_j находятся на базовых уровнях. Анализ полученного уравнения регрессии (3) и поверхностей отклика (рисунки 3–5) позволил выявить, что из варьируемых факторов наибольшее влияние на площадь очищаемой поверхности оказывает количество насадок, затем – давление подачи очищающей жидкости и в меньшей мере – угол наклона сопла. Вытянутость эллипса показывает преобладание одного фактора над другим, степень влияния его на площадь очищаемой поверхности. Анализ двумерных сечений показывает, что центры эксперимента находятся в исследуемой зоне, что позволяет установить оптимальные параметры для различных сочетаний факторов [4–9].

Уравнение регрессии, полученное в результате реализации факторного эксперимента, позволяет установить значение факторов (количество насадок, давление подачи очищающей жидкости, угол наклона сопла), при которых достигается максимальный эффект при очистке внутренней поверхности бункеров (силосов).

Для определения значений факторов, при которых функция (3) достигает экстремума (в данном случае максимума), необходимо взять частные производные по x_i и, приравняв к нулю, решить полученную систему уравнений:

– в закодированном виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = -0,19 + 0,28x_1 - 0,06x_2 - 0,06x_3; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0,04 + 0,18x_2 - 0,06x_1; \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 0,11 - 0,9x_3 - 0,06x_1; \end{cases} \quad (5)$$

– в натуральном виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial S_{оч}}{\partial P_{жс}} = -0,074 + 0,008P_{жс} - 0,0005\alpha - 0,005n_n; \\ \frac{\partial S_{оч}}{\partial n_n} = 0,2 + 0,046n_n - 0,005P_{жс}; \\ \frac{\partial S_{оч}}{\partial \alpha} = 0,05 + 0,0016\alpha - 0,0005P_{жс}. \end{cases} \quad (6)$$

Затем полученные значения факторов подставляли в уравнения регрессии (3) и (4) и определяли коэффициенты вариации, сравнивали полученные данные.

Заключение

Согласно проведенному анализу, рациональными конструктивными и кинематическими параметрами устройства очистки бункеров, при которых обеспечивается высокая эффективность очистки внутренней поверхности бункеров (силосов), являются следующие значения: угол наклона сопла $\alpha = 25\text{--}30$ град., давление подачи очищающей жидкости $P_{жс} = 12\text{--}15$ МПа и количество насадок $n_n = 3$ шт.

Литература

1. Наличие сельскохозяйственной техники, машин, оборудования и энергетических мощностей в Республике Беларусь на 1 января 2017 года. Статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2017 – 56 с.
2. Мачихина, Л. И. Научные основы продовольственной безопасности зерна / Л. И. Мачихина, Л. В. Алексеева, Л. С. Львова. – М.: «ДеЛи принт», 2007. – С. 143–145.
3. Лугарев, А. Л. Особенности температурного режима периферийных участков зерновой насыпи ячменя, хранящегося в металлическом элеваторе / А. Л. Лугарев, Л. В. Алексеева, Л. И. Тихонова // Труды ВНИИЗ. – М., 1981. – Вып. 96. – 96 с.
4. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов: учеб. пособие / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Ленинград: Колос, 1972. – 199 с.

5. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 338 с.
6. Хайлис, Г. А. Исследование сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 169 с.
7. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных / Г. Н. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
8. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
9. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
10. Apparatus for cleaning large containers (аппарат для чистки больших емкостей) DE102009035046 (A1): пат. Германии, МПК⁷ B08B9/0813; B08B9/0936 – Автор: Pragst Bernd (Германия). – Дата публикации: 03.02.2011.
11. Silo cleaning process (способ очистки силоса): пат. USA № 4,764,221, МПК⁷ B08B 1/00 / Авторы: Wesley D. Hartwigsen; Alan D. – Дата публикации: 16.08.1988.
12. Vorrichtung zur Innenreinigung eines Silos (устройство для внутренней очистки силоса): пат. Германии DE102014114145 (A1), МПК⁷ B08B9/08; B08B9/093 / Автор: Pragst Bernd (Германия). – Дата публикации: 29.08.2014.
13. Reinigungsvorrichtung (устройство очистки): пат. Германии DE 202012104022 (A1), МПК⁷ B08B9/08 / Автор: Лоббе Индустрисервис ГмбХ & Ко (Германия). – Дата публикации: 19.10.2012.
14. Internal cleaning device for silos has trolley on fixed guide which can be fitted to longitudinal axis of container (внутренняя очистка устройств для силосов на неподвижных направляющих, которые могут быть установлены на продольной оси): пат. Германии DE 10256560, МПК⁷ B08B9/093 / Автор: Pragst Bernd (Германия). – Дата публикации: 04.12.2002.
15. Юдин, В. М. Применение современных ресурсосберегающих технологий очистки машин и оборудования в сельском хозяйстве / В. М. Юдин. – М.: Информагротех, 1998. – 48 с.
16. Дегтерев, Г. П. Механизм очистки загрязненных поверхностей молочного оборудования / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. – 1999. – № 7. – 35 с.
17. Христофорова, И. А. Проведение активного эксперимента при разработке состава шихты для производства керамических изделий: метод. указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Статистические методы исследования шихт в стекольной промышленности» / И. А. Христофорова. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000. – 24 с.
18. Каледина, Н. Б. Влияние параметров печатного процесса на липкость краски / Н. Б. Каледина, Д. М. Медяк // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2011. – № 9 (147). – С. 23–27.
19. Голубцова, Е. С. Влияние температуры и времени спекания, марки порошка и количества добавки диоксида иттрия на теплопроводность нитрида алюминия / Е. С. Голубцова, Б. А. Каледин, Н. Б. Каледина // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 88–90.
20. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования: учеб.-метод. комплекс / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

УДК 637.116.2

Поступила в редакцию 05.09.2018
Received 05.09.2018

С. Н. Бондарев, А. В. Китун

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: seregabondarev1991@yandex.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ ПОЛОСТИ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

Рассмотрен вопрос определения основных геометрических параметров пористой полости, расположенной в сосковой резине по высоте тела соска животного.

Ключевые слова: сосковая резина, доильный стакан, пористая полость, эластичность, коэффициент жесткости, адаптивная деформация.

S. N. Bondarev, A. V. Kityn

*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: seregabondarev1991@yandex.ru*

DETERMINATION OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE POROUS CAVITY OF THE NIPPLE RUBBER OF THE MILKING MACHINE

The question of determination of the basic geometrical parameters of the porous cavity located in the nipple rubber on height of a body of a nipple of an animal is considered.

Keywords: nipple rubber, milking glass, porous cavity, elasticity, stiffness coefficient, adaptive deformation.

Введение

В процессе машинного доения при наступлении такта «сжатие» происходит сжатие соска сосковой резиной. Ввиду ее цилиндрической формы и физико-механических свойств сжатие происходит только с двух сторон, при этом происходит сдавливание тела соска в двух направлениях, а не обжатие его по всему диаметру. Также стоит учесть то, что сосковая резина по всей своей длине имеет одинаковую толщину и жесткость, а соски вымени у каждого животного различны по конфигурации и длине, что приводит к неполноценному копированию рельефа соска вымени, слабому массирующему эффекту и снижению молокоотдачи животного [1, 2].

Основная часть

Для обеспечения более полного копирования рельефа сосков вымени животных независимо от их размеров и форм авторами была предложена (рисунок 1) сосковая резина 2 с наружной 3 и внутренней 5 стенками, между которыми по высоте тела соска 1 выполнена пористая полость 4, заполненная газообразным веществом, при этом внутренняя стенка 5 сосковой резины 2 имеет большую эластичность, чем наружная 3 [1].

Внутренняя стенка имеет большую эластичность для более полного охватывания соска и копирования его рельефа независимо от его конфигурации. В то же время чем больше эластичность внутренней стенки сосковой резины – способность деформироваться при внешнем воздействии с последующим принятием начальных размеров после снятия нагрузки, тем меньше ее жесткость – способность противостоять деформации при внешнем воздействии. Для более адаптивной деформации под конфигурацию соска и обеспечения релаксационного воздействия на вымя животного внутренний слой сосковой резины, который взаимодействует с соском, рекомендуется выполнить с жесткостью, равной жесткости соска вымени животного. Для этого определим жесткость соска вымени животного в процессе доения.

В процессе доения сосок вымени животного подвергается растяжению из-за воздействия силы вакуума, с помощью которой происходит выдаивание молока из соска. Из закона Гука при растяжении-сжатии формула по определению силы вакуума, с помощью которой происходит растяжение соска вымени, примет вид:

$$F_{\text{вак}} = k_c \cdot \Delta l, \quad (1)$$

где k_c – коэффициент жесткости соска, Н/м; Δl – удлинение соска в процессе доения, м.

Зная величину вакуумметрического давления, при котором происходит доение, а также поперечную площадь подсосковой камеры сосковой резины, в которой происходит выдаивание молока, можем определить силу вакуума, с помощью которой происходит процесс удлинения соска:

$$F_{\text{вак}} = P_{\text{вак}} \cdot S_{\text{п.к.}}, \quad (2)$$

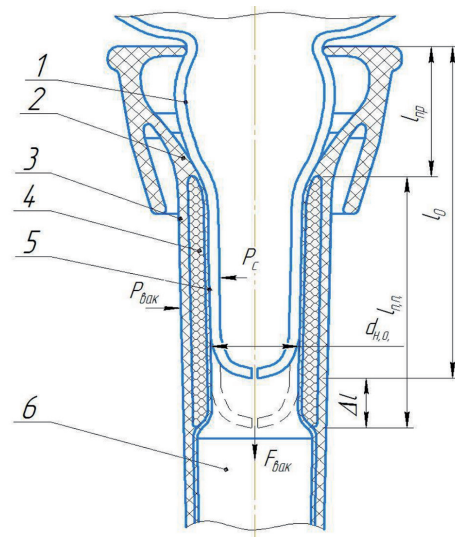
где $P_{\text{вак}}$ – величина вакуумметрического давления при доении, Па; $S_{\text{п.к.}}$ – площадь подсосковой камеры в поперечном сечении, м².

Откуда площадь подсосковой камеры в поперечном сечении определим по формуле:

$$S_{\text{п.к.}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{с.р.}}^2}{4}, \quad (3)$$

где $d_{\text{с.р.}}$ – внутренний диаметр сосковой резины, м.

В процессе доения под действием вакуума происходит не только выдаивание молока из соска, но также и удлинение последнего.



- 1 – сосок вымени животного; 2 – сосковая резина; 3 – наружный жесткий слой сосковой резины; 4 – пористая полость; 5 – внутренний эластичный слой сосковой резины; 6 – подсосковая камера

Рисунок 1. – Расчетная схема к определению параметров сосковой резины с пористой полостью

Так как сосок в поперечном сечении имеет кольцеобразную форму (рисунок 1), определим относительное удлинение соска как стержня переменного сечения, подверженного растяжению со стороны силы $F_{\text{вак}}$ [3]:

$$\Delta l = \frac{F_{\text{вак}} \cdot l_0}{E_c \cdot S_c}, \quad (4)$$

где S_c – площадь соска вымени, подверженная силе вакуума, м^2 ; E_c – модуль упругости тканей соска, Па ; l_0 – длина соска до начала доения, м .

Так как стенки сосковой резины во время доения плотно обжимают тело соска, то растягивающему воздействию силы вакуума подвергается только нижнее основание соска, которое сообщается с подсосковой камерой 6 (рисунок 1). Вследствие этого формула по определению площади соска вымени, подверженной силе вакуума, примет вид:

$$S_c = \frac{\pi \cdot d_{\text{н.о.}}^2}{4}, \quad (5)$$

где $d_{\text{н.о.}}$ – диаметр нижнего основания соска, м .

Подставив значения формул (2), (3) и (5) в (4), после преобразований получим:

$$\Delta l = \frac{P_{\text{вак}} \cdot d_{\text{с.р.}}^2 \cdot l_0}{E_c \cdot d_{\text{н.о.}}^2}. \quad (6)$$

Определив удлинение соска и величину силы вакуума, выразим из формулы (1) значение коэффициента жесткости соска вымени:

$$k_c = \frac{F_{\text{вак}}}{\Delta l}. \quad (7)$$

Так как для более адаптивной деформации внутренней стенки сосковой резины в зависимости от рельефа соска и улучшенного релаксационного воздействия на вымя жесткость внутреннего слоя должна равняться жесткости соска, в таком случае формула для определения жесткости внутренней эластичной стенки сосковой резины примет вид:

$$k_{\text{в.с.}} = k_c = \frac{F_{\text{вак}}}{\Delta l}. \quad (8)$$

Внутренняя эластичная стенка сосковой резины имеет форму тонкостенной оболочки, в таком случае ее жесткость также можно определить по формуле [4]:

$$k_{\text{в.с.}} = \frac{E_{\text{в.с.}} \cdot \delta_{\text{в.с.}}}{12(1 - \mu_{\text{в.с.}}^2)}, \quad (9)$$

где $E_{\text{в.с.}}$ – модуль упругости резины внутренней стенки сосковой резины, Па ; $\delta_{\text{в.с.}}$ – толщина стенки внутреннего эластичного слоя сосковой резины, м ; $\mu_{\text{в.с.}}$ – коэффициент Пуассона внутреннего эластичного слоя сосковой резины.

Так как жесткость внутреннего эластичного слоя уже определена, то выразим из формулы (9) необходимую толщину стенки внутреннего эластичного слоя сосковой резины, который будет обладать жесткостью, равной жесткости соска:

$$\delta_{\text{в.с.}} = \frac{k_{\text{в.с.}} \cdot 12(1 - \mu_{\text{в.с.}}^2)}{E_{\text{в.с.}}}. \quad (10)$$

Внутренняя стенка сосковой резины имеет большую эластичность для более полного охвата соска и копирования его рельефа независимо от его конфигурации, в таком случае длина внутренней эластичной стенки должна равняться длине соска вымени, с учетом его удлинения в процессе доения, но без учета длины присоска сосковой резины:

$$l_{\text{в.с.}} = l_c - l_{\text{пр}} = l_0 + \Delta l - l_{\text{пр}} = l_0 + \frac{P_{\text{вак}} \cdot d_{\text{с.р.}}^2 \cdot l_0}{E \cdot d_{\text{н.о.}}^2} - l_{\text{пр}}, \quad (11)$$

где $l_{\text{пр}}$ – длина присоска сосковой резины, м .

Во время такта «сжатие» за счет разности давлений в межстенной и подсосковой камерах происходит сжатие соска сосковой резиной. Давление обжатия передается от наружного жесткого слоя 3 (рисунок 1) на пористую полость 4, которая, частично сжимаясь и амортизируя резкое сжатие, передает усилие на внутренний эластичный слой 5.

Формула по определению силы обжатия пористой полости примет вид:

$$F_{\text{обж}} = \frac{E_{\text{п.п.}} \cdot S_{\text{п.к.}} \cdot \mu_{\text{п.п.}} \cdot \delta_{\text{сж}}}{2 \cdot \delta_{\text{п.п.}}}, \quad (12)$$

где $E_{\text{п.п.}}$ – модуль упругости пористой полости, Па; $\mu_{\text{п.п.}}$ – коэффициент Пуассона для пористой полости; $\delta_{\text{сж}}$ – толщина пористой полости в сжатом состоянии, м; $\delta_{\text{п.п.}}$ – толщина пористой полости в нейтральном положении, м.

Также силу обжатия соска вымени сосковой резиной можно определить по формуле [5]:

$$F_{\text{обж}} = \frac{E_{\text{с.р.}} \cdot S_{\text{п.к.}} \cdot \mu \cdot \delta_{\text{сж}}}{2 \cdot \delta}, \quad (13)$$

где μ – коэффициент Пуассона сосковой резины; $S_{\text{п.к.}}$ – площадь подсосковой камеры сосковой резины, контактируемой с соском, м²; $E_{\text{с.р.}}$ – модуль упругости сосковой резины, Па; $\delta_{\text{сж}}$ – толщина сжатого соска, м; δ – толщина соска до сжатия, м.

Так как сила обжатия сосковой резины $F_{\text{обж}}$ уже определена формулой (13), то, приравняв два этих выражения и выразив $\delta_{\text{п.п.}}$, получим формулу для определения толщины пористого слоя сосковой резины:

$$\delta_{\text{п.п.}} = \frac{E_{\text{п.п.}} \cdot \mu_{\text{п.п.}} \cdot S_{\text{п.к.}} \cdot \delta_{\text{сж}}}{2 \cdot F_{\text{обж}}} = \frac{2 \cdot E_{\text{п.п.}} \cdot \mu_{\text{п.п.}} \cdot \delta}{E_{\text{с.р.}} \cdot \mu}. \quad (14)$$

За счет герметичности пористой полости и сжатия сосковой резины от срединной части к основаниям часть объема пористой полости перетекает от нижнего основания соска к его срединной части, обеспечивая тем самым более равномерное и безболезненное обжатие соска по всей его высоте при увеличенной площади его контакта с сосковой резиной.

Пористая полость для более адаптивной деформации и релаксационного воздействия должна располагаться по высоте тела соска, также как и внутренний эластичный слой, а так как их длины равны, то формула по определению длины пористой полости примет вид:

$$l_{\text{п.п.}} = l_{\text{в.с.}} = l_0 + \Delta l - l_{\text{пр}} = l_0 + \frac{P_{\text{вак}} \cdot d_{\text{с.р.}}^2 \cdot l_0}{E \cdot d_{\text{н.о.}}^2} - l_{\text{пр}}. \quad (15)$$

Заключение

1. Выполнение в сосковой резине по высоте тела соска вымени животного пористой полости обеспечит равномерное и безболезненное сжатие соска по всей высоте контакта его с сосковой резиной.

2. Выполнение внутреннего эластичного слоя одинаковой жесткости с соском позволит обеспечить наибольшую адаптацию сосковой резины во время сжатия под рельеф соска животного вне зависимости от их геометрических размеров и форм.

3. Анализ формул (8)–(10) показал, что толщина внутреннего эластичного слоя напрямую зависит от его жесткости и физико-механических свойств соска вымени животного.

4. Для обеспечения бесстрессового доения и полноценной стимуляции молокоотдачи длина пористой полости сосковой резины должна соответствовать средней длине сосков у животных в дойном стаде, с учетом их удлинения в процессе доения, но без учета длины присоска сосковой резины.

5. Как показывает аналитическая зависимость (14), толщина пористой полости сосковой резины главным образом зависит от физико-механических свойств ее материала и силы сжатия сосковой резины.

Литература

1. Доильный стакан: пат. 647877 Рос. Федерации; МПК A01J5/08 / А. В. Китун, С. Н. Бондарев, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик, Б. К. Салаев, В. А. Эвиев, В. Л. Барышев; заявитель Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова – № 2017110587, заявл. 29.03.2017, опубл. 21.03.2018 // Офиц. бюл. / Федер. служба интел. собств. – 2018. – № 9. – С. 145.
2. Бондарев, С. Н. Методика подбора сосковой резины для дойного стада / С. Н. Бондарев, А. В. Китун // Агро-панорама. – 2016. – № 6. – С. 39–42.
3. Подскребко М. Д. Сопротивление материалов: учебник / М. Д. Подскребко. – Минск: Высшая школа, 2007. – 797 с.
4. Лизин, В. Т. Проектирование тонкостенных конструкций / В. Т. Лизин, В. А. Пяткин. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1994. – 383 с.
5. Бондарев, С. Н. Определение величины вакуума в присоске сосковой резины доильного аппарата / С. Н. Бондарев, А. В. Китун, В. И. Передня // Агропанорама. – 2018. – № 3. – С. 45–48.

УДК 621.43

Поступила в редакцию 11.10.2018
Received 11.10.2018

В. Е. Тарасенко¹, А. А. Жешко²

*¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

*²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: trs9@yandex.ru; azeshko@gmail.com*

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В статье приводятся результаты выполненных исследований по обоснованию режимов работы дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: дизельный двигатель, самоходная сельскохозяйственная машина, режим работы, теплонапряженные системы.

V. E. Tarasenko¹, A. A. Zheshko²

*¹Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus*

*²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: trs9@yandex.ru; azeshko@gmail.com*

JUSTIFICATION OF THE OPERATION MODES OF THE TRACTORS ENGINE AND SELF-PROPELLED AGRICULTURAL MACHINES

Results of the researches on justification of operating modes of the tractors engine and self-propelled farm vehicles are given in article.

Keywords: diesel engine, self-propelled farm vehicle, operating mode, heat-stressed systems.

Введение

Снижение удельного расхода топлива на протяжении длительного периода времени является одной из основных задач развития и модернизации автотракторных ДВС. В настоящее время внедрение электронных систем управления подачей топлива позволило осуществлять гибкое изменение цикловой подачи, оптимальное регулирование угла опережения впрыска топлива, обеспечивать заданную внешнюю скоростную характеристику дизеля и др. Однако проводимая высокотехнологичная модернизация топливных систем должна дополняться комплексом компьютерного моделирования как рабочих процессов ДВС, так и режимов их работы с целью обеспечения эффективного функционирования топливной системы в реальных условиях эксплуатации.

Серьезным препятствием на пути повышения эффективности двигателей и других агрегатов рассматриваемых машин является их теплонапряженность. Даже при работе на оптимальном нагрузочном режиме доля полезного использования теплоты, получаемой при сгорании топлива в двигателе, составляет 35–42 %. Тепловые потери, уносимые отработавшими газами и охлаждающей системой, сопоставимы с полезно используемой долей теплоты. Они возрастают при работе двигателя на частичных нагрузках.

Основной задачей при разработке теплонапряженных систем является принятие таких параметров радиатора, расхода жидкости и потока воздуха, чтобы обеспечивалось условие теплового баланса при передаче теплоты. Непременным при этом, в отличие от проектирования других агрегатов и узлов машин, является проведение *теплового расчета*. Тепловой расчет проводится по математическим моделям на основе законов таких наук, как термодинамика, теплопередача, гидродинамика и аэродинамика.

Построение внешних скоростных характеристик дизелей мобильных сельскохозяйственных машин

Руководствуясь массивом данных, полученных при испытании дизелей мобильных сельскохозяйственных машин (DEUTZ BF 6M 1013FC трактора «Беларус-3022», DEUTZ TCD 2013 L06 4V трактора «Беларус-3522», D-260.4S3A трактора «Беларус-2022.4», D-262.S2 трактора «Беларус-3022» и зерноуборочного комбайна КЗС-1218), построены соответствующие скоростные характеристики с целью дальнейшего их исследования и анализа (рисунки 1–4).

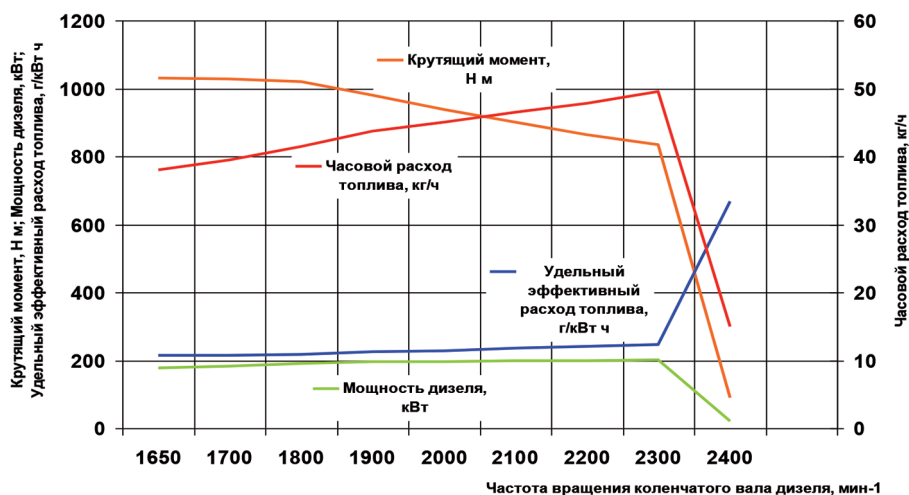


Рисунок 1. – Внешняя скоростная характеристика дизеля DEUTZ BF 6M 1013FC

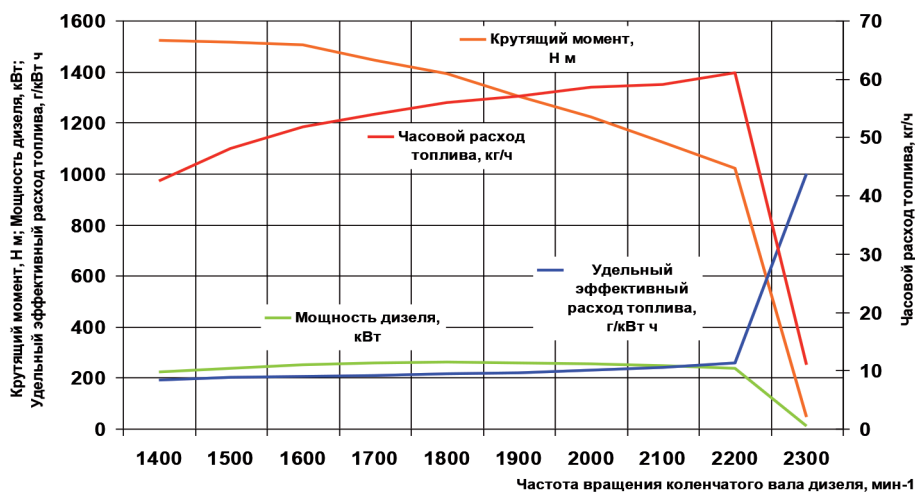


Рисунок 2. – Внешняя скоростная характеристика дизеля DEUTZ TCD 2013 L06 4V

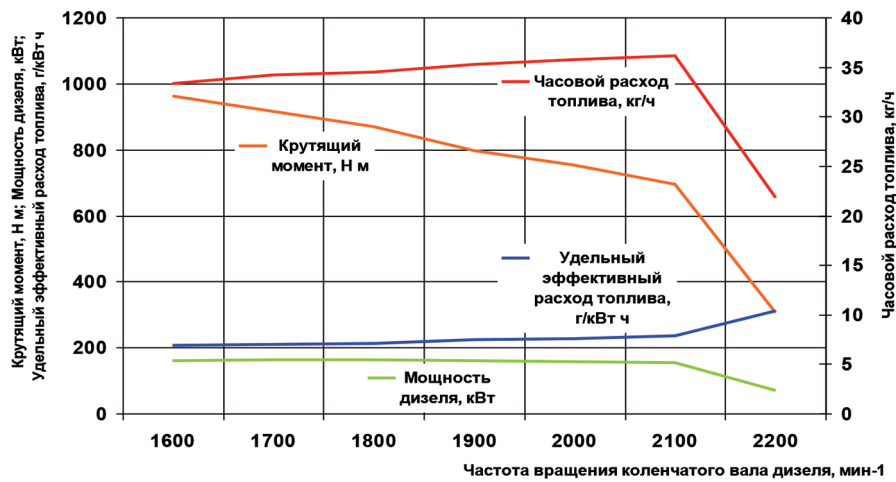


Рисунок 3. – Внешняя скоростная характеристика дизеля D-260.4S3A

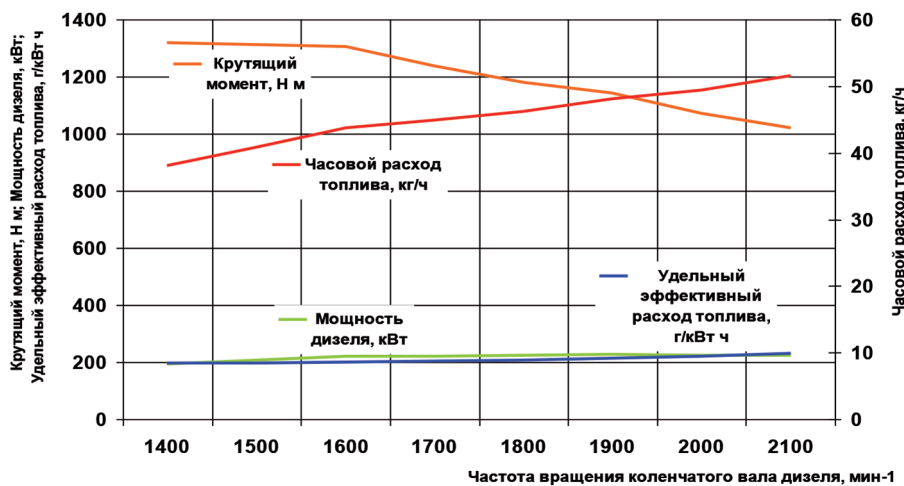


Рисунок 4. – Внешняя скоростная характеристика дизеля D-262.S2

Полученные скоростные характеристики рассматриваемых дизелей свидетельствуют о том, что максимальная мощность достигается на режимах, граничащих с номинальными. С целью определения мощности дизелей во всех диапазонах частоты вращения коленчатого вала сформированы интерполяционные полиномы Лагранжа для каждого дизеля в отдельности в функции $N_e = f(n)$:

– для дизеля DEUTZ TCD 2013 L06 4V получаем:

$$P(x) = -\frac{1}{19200000000}x^4 + \frac{1}{2400000}x^3 - \frac{689}{480000}x^2 + \frac{2809}{1200}x - 1184; \quad (1)$$

– для дизеля D-260.4S3A получаем:

$$P(x) = -\frac{11}{400000000000}x^5 + \frac{203}{800000000}x^4 - \frac{22421}{24000000}x^3 + \frac{137221}{80000}x^2 - \frac{9423211}{6000}x + 573845; \quad (2)$$

– для дизеля BF 6M 1013FC получаем:

$$P(x) = -\frac{277}{10080000000000}x^5 + \frac{19327}{720000000000}x^4 - \frac{210733}{201600000}x^3 + \frac{584201}{288000}x^2 - \frac{6591139}{3360}x + \frac{3782412}{5}; \quad (3)$$

– для дизеля Д-262.S2 получаем:

$$P(x) = -\frac{239}{2520000000000}x^5 + \frac{10303}{126000000000}x^4 - \frac{100939}{360000000}x^3 + \frac{6020627}{12600000}x^2 - \frac{1415889}{3500}x + 136267. \quad (4)$$

Полученные интерполяционные полиномы дизелей в функции $N_e = f(n)$ позволяют определять эффективную мощность и крутящий момент в диапазоне эксплуатационных нагрузок.

Определение количества теплоты, поступающей в систему охлаждения дизеля, и количества теплоты, уносимой с отработавшими газами, на различных режимах работы

Опираясь на значения параметров (N_e – эффективная мощность двигателя, $кВт$; G_T – часовой расход топлива, $кг/ч$; g_e – удельный эффективный расход топлива, $г/кВт·ч$; M_k – крутящий момент на коленчатом валу двигателя, $Н·м$; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, $мин^{-1}$), вытекающие из построенных скоростных характеристик рассматриваемых дизельных двигателей (рисунки 1–4), определены составляющие теплового баланса при различной частоте вращения коленчатого вала двигателя. В результате создана возможность оценки теплоиспользования и, соответственно, выбора двигателя с точки зрения достижения максимальной эффективной составляющей по тепловому балансу.

Известно, что тепловой баланс дизеля состоит из следующих составляющих:

$$Q_T = Q_e + Q_V + Q_M + Q_G + Q_{ост}, \quad (5)$$

где Q_T – количество теплоты, образующейся при сгорании топлива, $кДж$; Q_e – количество теплоты, эквивалентной эффективной мощности, $кДж$; Q_V – количество теплоты, поступающей в систему охлаждения, $кДж$; Q_M – количество теплоты, поступающей в систему смазки, $кДж$; Q_G – количество теплоты, уносимой отработавшими газами, $кДж$; $Q_{ост}$ – остаточный член теплового баланса, $кДж$.

Полное количество теплоты ($кДж/с$), выделяющейся при сгорании топлива, равно:

$$Q_T = 2,8 \cdot 10^{-4} H_T G_T,$$

где H_T – низшая теплотворная способность топлива (для дизельного топлива $H_T = 42700$ $кДж/кг$).

При составлении теплового баланса в относительных единицах полная теплота сгоревшего топлива принимается за единицу или в процентах – за 100 %.

Известно, что в полезную эффективную работу превращается только часть теплоты сгорания топлива Q_e , по значению она эквивалентна эффективной мощности дизеля [1, 2]. При принятых единицах рассмотрения теплового баланса это утверждение можно записать в виде:

$$Q_e = N_e.$$

Количество теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость системы охлаждения, учитывается составляющей теплового баланса Q_V и определяется по формуле:

$$Q_V = G_V c_{pV} \rho_V (T_{V2} - T_{V1}), \quad (6)$$

где G_V – расход охлаждающей жидкости, $м^3/ч$. Значения расхода ОЖ известны на номинальном режиме при номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля (таблица 1); при отличных режимах работы расход ОЖ будем определять пропорционально снижению частоты вращения коленчатого вала; c_{pV} – средняя теплоемкость охлаждающей жидкости, $кДж/(кг·К)$; ρ_V – плотность охлаждающей жидкости, $кг/м^3$ (таблица 1).

Таблица 1. – Принятые физические свойства охлаждающей жидкости (антифриза)

T, K	$t, ^\circ C$	$P \cdot 10^3, бар$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	$\rho, кг/м^3$	$\beta^t, 1/K$	$c_p, Дж/(кг \cdot K)$	$\lambda, Вт/(м \cdot K)$	$\alpha \cdot 10^6, м^2/с$	Pr
213	-60	—	2371,0	1143	6,15	2390	0,315	0,115	20600
233	-40	2,5	222,4	1129	6,22	2542	0,317	0,11	2020
273	0	7,2	14,6	1102	6,38	2847	0,329	0,105	139
293	20	16,7	6,3	1089	6,45	2999	0,337	0,103	61,2
313	40	50,4	3,3	1076	6,5	3151	0,343	0,101	32,7
333	60	133,6	2,0	1062	6,58	3303	0,359	0,101	19,8
353	80	309,8	1,3	1048	6,65	3455	0,361	0,0994	13,1
373	100	647,9	0,99	1034	6,75	3608	0,363	0,0973	10,2
393	120	1261,2	0,78	1011	6,92	3760	0,362	0,0953	8,18

В тракторных дизелях теплопередача в охлаждающую жидкость СО составляет 20–25 % от полной теплоты сгорания топлива [1, 2, 3]. Это количество теплоты от горячих газов сгоревшего топлива поступает через стенки цилиндров в охлаждающую жидкость. В дизеле имеется вторичный источник теплоты – работа трения элементов дизеля (поршень-гильза, вкладыши – валы, подшипники др.), на которую затрачивается часть энергии введенного топлива. Принимается, что составляющие теплоты трения при работе дизеля переходят в теплоту, поступающую в охлаждающую жидкость и масло. При снятии теплового баланса теплота трения отдельно не выделяется.

Потери теплоты в масло Q_M выделяются отдельной составляющей дизелей, у которых охлаждение масла осуществляется воздушно-масляным радиатором. Для дизелей, у которых в блок встроен ЖМТ, эта составляющая входит в состав теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость. Теплота, поступающая в масло, определяется по формуле:

$$Q_M = G_M c_{PM} \rho_M (T_{M2} - T_{M1}),$$

где G_M – расход масла через масляный радиатор, $м^3/ч$; c_{PM} – средняя теплоемкость масла, $кДж/(кг \cdot K)$; ρ_M – плотность масла, $кг/м^3$; T_{M2}, T_{M1} – температура масла на входе в масляный радиатор и выходе из него, $^\circ C$.

Относительная составляющая потерь теплоты в масло составляет для дизелей 4–8 % от общего количества теплоты сгорания топлива.

Потери теплоты с отработавшими газами Q_G определяются по приближенной формуле в предположении, что количество газов равно сумме количества поступившего в цилиндры воздуха и топлива:

Таблица 2. – Свойства отработавших газов в зависимости от температуры

$t, ^\circ C$	$\rho, кг/м^3$	$c_p, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda^t, Вт/(м \cdot K)$	$\alpha \cdot 10^6, м^2/с$	$\mu \cdot 10^6, Па \cdot с$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	Pr
0	1,295	1,042	2,28	16,90	15,8	12,20	0,72
100	0,950	1,068	3,13	30,80	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	4,01	48,90	24,5	32,30	0,67
300	0,617	1,122	4,84	69,90	28,2	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	94,30	31,7	60,38	0,64
500	0,457	1,135	6,56	121,10	34,8	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	150,90	37,9	93,61	0,62
700	0,363	1,239	8,27	183,80	40,7	112,10	0,61
800	0,330	1,264	9,15	219,70	43,4	131,80	0,60
900	0,301	1,290	10,00	258,00	45,9	152,50	0,59
1000	0,275	1,306	10,90	303,40	48,4	174,30	0,53
1100	0,257	1,323	11,75	345,50	50,7	197,10	0,57
1200	0,240	1,340	12,62	392,40	53,0	221,00	0,56

$$Q_{\Gamma} = (G_{\text{вт}} + G_{\text{т}}) c_{\text{пг}} \rho_{\Gamma} (T_{\Gamma} - T_{\text{окр}}), \quad (7)$$

где $G_{\text{вт}}$, $G_{\text{т}}$ – количество, соответственно, воздуха и топлива, поступивших в цилиндры дизеля при сгорании топлива, $\text{м}^3/\text{ч}$; $c_{\text{пг}}$ – средняя теплоемкость отработавших газов, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; ρ_{Γ} – плотность отработавших газов, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_{Γ} и $T_{\text{окр}}$ – температура отработавших газов и окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$.

С отработавшими газами в дизеле удаляется до 25–35 % теплоты, выделяющейся при сгорании топлива [1, 2, 3]. Значения параметров отработавших газов, необходимые в дальнейших расчетах, представлены в таблице 2 в диапазоне температур от 0 до 1200 $^{\circ}\text{C}$, значения параметров воздуха, поступающего в цилиндры дизеля, приняты по справочным данным [2, 3, 4].

Остаточный член теплового баланса определяется по разности между расчетным количеством теплоты, поступившим в цилиндры дизеля при сгорании топлива, и суммой определенных при испытании составляющих:

$$Q_{\text{ост}} = Q_{\text{т}} - \sum_1^n Q_i.$$

Расчет составляющих теплового баланса

В расчетах, учитывая современные требования к дизельному топливу, принято $H_{\text{т}} = 42700 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Теплоемкость антифриза и воздуха не являются величинами постоянными, плотность антифриза находится в пределах от 1011 до 1143 $\text{кг}/\text{м}^3$, его же теплоемкость – в пределах от 2390 до 3760 $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$. Данные параметры зависят от соответствующей температуры.

Проводить расчеты с учетом такой изменчивости параметров антифриза и воздуха затруднительно, и, как правило, принимаются постоянные величины (для антифриза плотность равна 1025 $\text{кг}/\text{м}^3$, для воздуха – 1,120 $\text{кг}/\text{м}^3$, теплоемкость антифриза равна 3,675 $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$, воздуха – 1,005 $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$). Однако в дальнейшем расчете указанные параметры принимались в соответствии с величиной температуры.

Установившийся режим работы дизеля предполагает достижение температуры антифриза порядка 100 $^{\circ}\text{C}$ и выше. Нами используются значения $T_{\text{в2}}$ и $T_{\text{в1}}$, а именно температура антифриза на выходе из дизеля и температура на входе в дизель (входе в радиатор и выходе из него).

$$T_{\text{в2}} = 93...108 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{в1}} = 87...94 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$G_{\text{в}}$ – расход охлаждающей жидкости, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Тракторы «Беларус» выпускаются в диапазоне мощности от 26,5 до 261 кВт и состоят из базовых моделей и модификаций [5, 6]. Для тракторов «Беларус» системы охлаждения можно разделить на модули по мощности применяемых двигателей:

- модуль А: дизели мощностью в диапазоне 26,0–66 кВт ;
- модуль В: дизели мощностью в диапазоне 70–90 кВт ;
- модуль С: дизели мощностью в диапазоне 96–161 кВт ;
- модуль D: дизели мощностью в диапазоне 186–261 кВт .

Таблица 3. – Составляющие модулей систем охлаждения тракторов «Беларус»

Наименование составляющих	Основные рабочие параметры по модулям			
	A	B	C	D
Жидкостный насос (производительность), $G_{\text{п}}, \text{л}/\text{мин}$	130			
		180		
			250	
				450
Вентилятор (производительность), $G_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{ч}$	4600			
		6600		
			9600	
				16000

В нашем случае трактор «Беларус-2022.4» относится к модулю С, а тракторы «Беларус-3022» и «Беларус-3522» – к модулю D. «Беларус-2022.4» – 250 л/мин; «Беларус-3022» – 350 л/мин; «Беларус-3522» – 450 л/мин.

Составляющие модулей систем охлаждения тракторов «Беларус» приведены в таблице 3.

Результаты определения составляющих теплового баланса рассматриваемых дизелей отражены на рисунках 5–8.

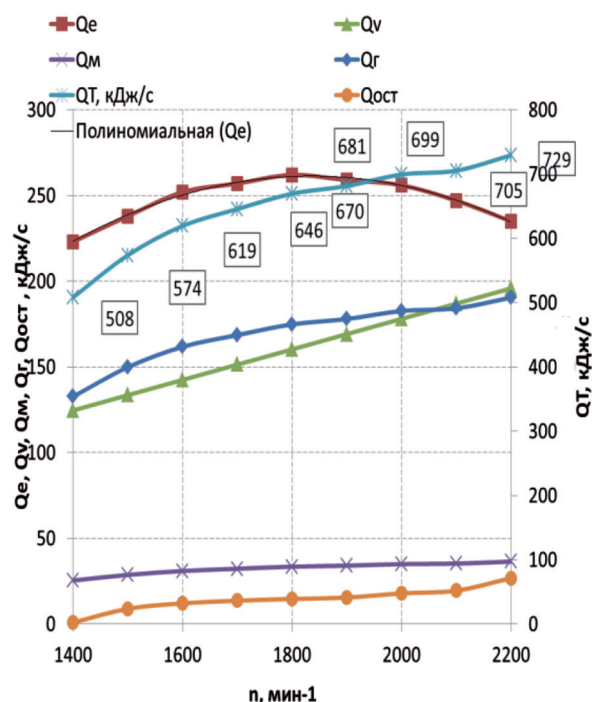


Рисунок 5. – Распределение составляющих теплового баланса дизеля DEUTZ TCD 2013 L06 4V в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля – 101 °С)

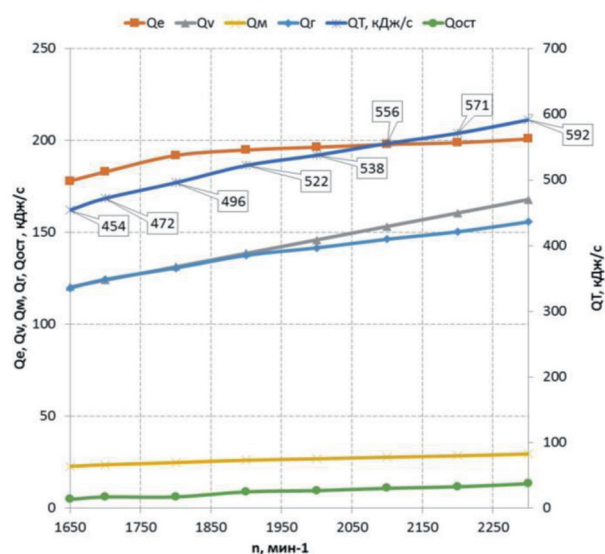


Рисунок 6. – Распределение составляющих теплового баланса дизеля DEUTZ BF 6M 1013FC в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля – 103 °С)

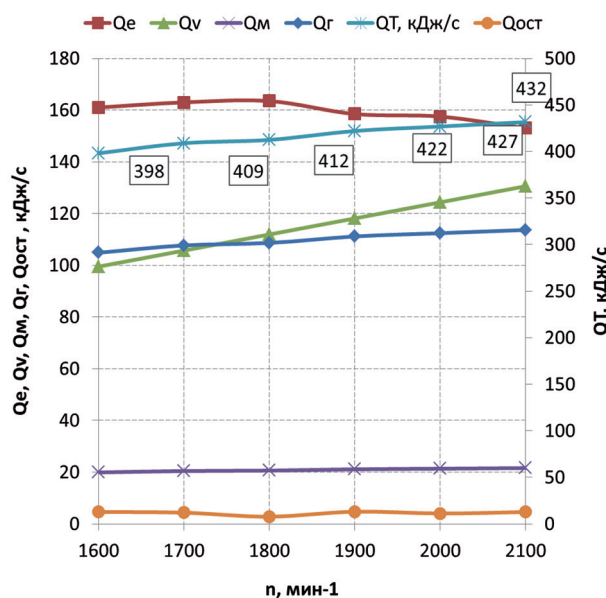


Рисунок 7. – Распределение составляющих теплового баланса дизеля Д-260.4S3A в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля – 102 °С)

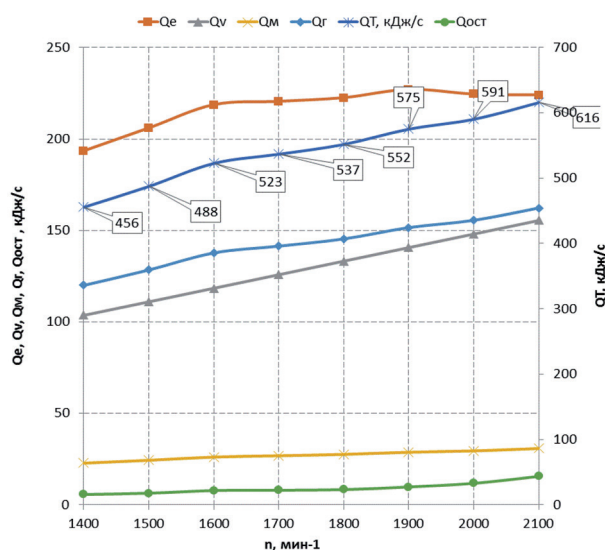


Рисунок 8. – Распределение составляющих теплового баланса дизеля Д-262.S2 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля – 99 °С)

Более наглядными и традиционно применяемыми при анализе составляющих теплового баланса являются графические построения в виде диаграмм с накоплением. С этой целью представлено распределение составляющих теплового баланса дизеля DEUTZ TCD 2013 L06 4V в виде диаграммы с накоплением (рисунок 9).

Полученные зависимости позволяют отметить, что наиболее эффективным по использованию теплоты сгорания топлива является дизель Д-262.S2, у которого эффективная составляющая равна 36 % (порядка 220–227 кДж/с). При этом для данного дизеля характерно наименьшее тепловыделение в систему охлаждения (25 %).

С целью определения полезной работы каждым из рассматриваемых дизелей мобильных сельскохозяйственных машин и выявления наиболее эффективного из них выполнено интегрирование составленных путем интерполяции уравнений в пределах представленных на графиках частот, что позволило получить площадь фигур, ограниченных кривыми составляющих теплового баланса (Q_e). Расчеты проведены применительно к диаграммам теплового баланса с накоплением (рисунки 10–13).

Для двигателя DEUTZ TCD 2013 L06 4V

$$\int_{1400}^{2200} Q_e dn = \int_{1400}^{2200} (-0,0002n^2 + 0,7377n - 415,59) dn = 202\,883 \text{ кДж}.$$

Аналогично проведены вычисления для определения функции и площади криволинейной трапеции, ограниченной данной функцией, для двигателей:

– DEUTZ BF 6M 1013FC:

$$\int_{1650}^{2300} Q_e dn = \int_{1650}^{2300} (-0,5 \cdot 10^{-7} n^2 + 0,3013n - 131,07) dn = 301\,470 \text{ кДж}.$$

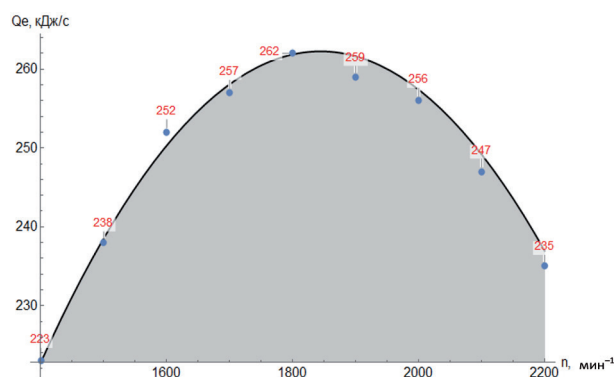


Рисунок 10. – Графическая интерпретация результатов вычисления площади криволинейной трапеции, ограниченной функцией Q_e , для двигателя DEUTZ TCD 2013 L06 4V

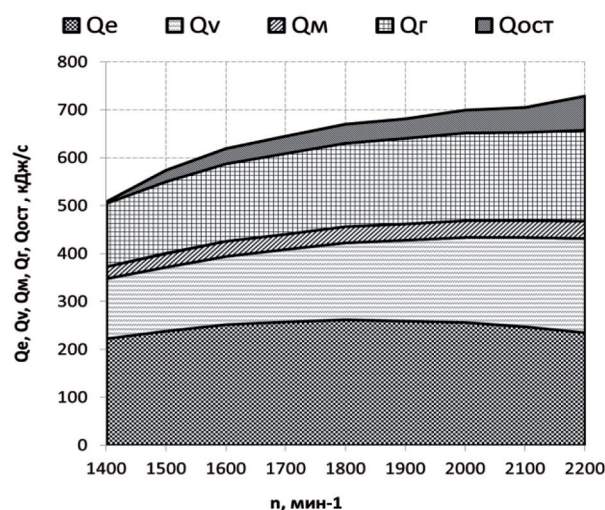


Рисунок 9. – Распределение составляющих теплового баланса дизеля DEUTZ TCD 2013 L06 4V в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля – 101 °С)

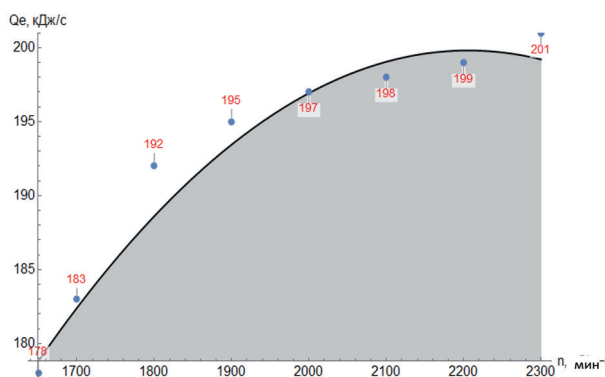


Рисунок 11. – Графическая интерпретация результатов вычисления площади криволинейной трапеции, ограниченной функцией Q_e , для двигателя DEUTZ BF 6M 1013FC

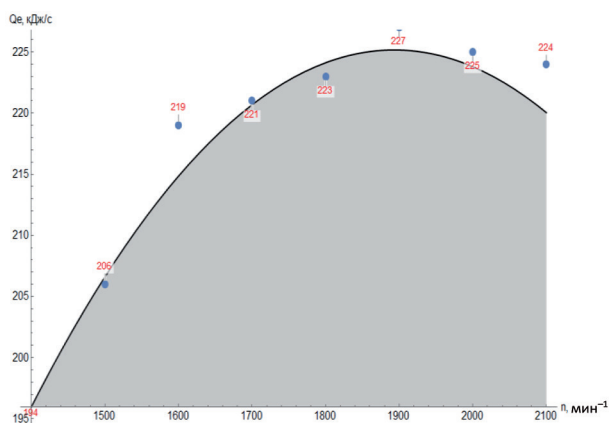


Рисунок 12. – Графическая интерпретация результатов вычисления площади криволинейной трапеции, ограниченной функцией Q_e , для двигателя D-262.S2

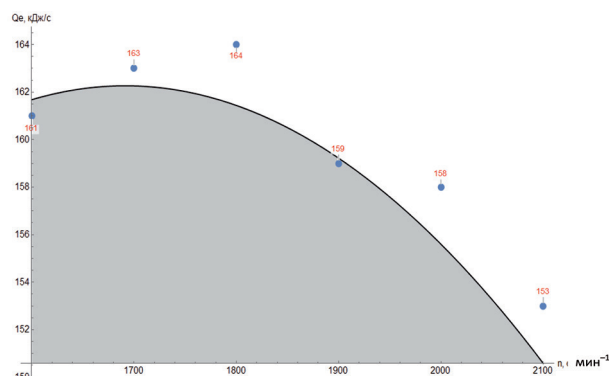


Рисунок 13. – Графическая интерпретация результатов вычисления площади криволинейной трапеции, ограниченной функцией Q_e , для двигателя D-262.S2

– D-262.S2:

$$\int_{1400}^{2100} Q_e dn = \int_{1400}^{2100} (-0,0001n^2 + 0,4544n - 208,99) dn = 193\,114 \text{ кВт/с}.$$

– D-262.S2:

$$\int_{1600}^{2200} Q_e dn = \int_{1600}^{2200} (-0,5 \cdot 10^{-7} n^2 + 0,2368n - 41,368) dn = 261\,014 \text{ кВт/с}.$$

Согласование параметров теплонапряженных систем и дизеля

Обеспечение тепловой эффективности теплонапряженных систем предполагает, что система разработана в соответствии с законами теплопередачи и при отсутствии возмущающих факторов обеспечивает заданный тепловой режим дизеля в заданных условиях. При невыполнении указанных условий спроектировать работоспособную систему не представляется возможным, требуются технические решения повышения тепловой эффективности для обеспечения заданного теплового состояния дизеля. Например, охлаждающая поверхность радиатора ниже требуемой, в этом случае $Q_F < Q_V$. Обеспечить заданный тепловой режим дизеля можно при выборе другого радиатора – с большей поверхностью охлаждения или интенсификацией теплопередачи охлаждающих поверхностей радиатора, то есть увеличением коэффициента теплопередачи k_T .

Проектирование теплонапряженных систем на первоначальном этапе предполагает предварительный расчет системы и согласование ее параметров с параметрами и показателями выбранного дизеля. Этот этап проектирования включает шаги, представленные на блок-схеме (рисунок 14) алгоритма выбора и согласования дизеля. Цель согласования состоит в том, чтобы параметры и показатели принимаемого дизеля позволили обеспечить баланс передаваемой теплоты от дизеля в охлаждающую жидкость и разработать эффективную систему для вновь проектируемой сельскохозяйственной машины.

Предложенная последовательность выбора и согласования дизеля проектируемой машины позволяет на этом этапе выполнить работы, обеспечивающие разработку эффективной теплонапряженной системы.

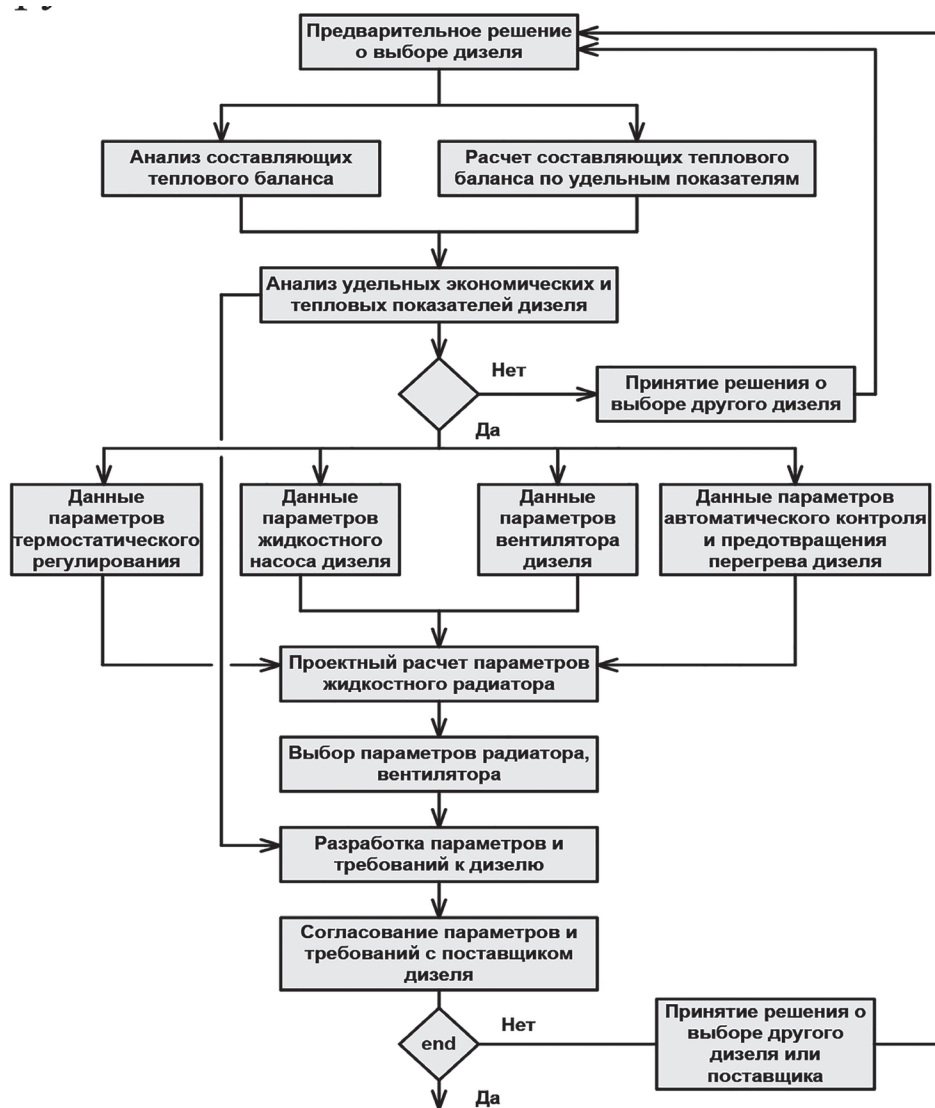


Рисунок 14. – Блок-схема алгоритма выбора и согласования дизеля при проектировании теплонеприжатых систем

Заключение

На основании данных, полученных при испытании дизелей мобильных сельскохозяйственных машин (DEUTZ BF 6M 1013FC, DEUTZ TCD 2013 L06 4V, D-260.4S3A, D-262.S2), построены соответствующие скоростные характеристики. Выполнен их анализ.

При обработке экспериментальных данных методом Лагранжа определены интерполяционные полиномы дизелей DEUTZ TCD 2013 L06 4V, DEUTZ BF 6M 1013FC, D-260.4S3A и D-262.S2 в функции $N_e = f(g_e)$ и $M_k = f(n)$.

Выполнен расчет количества теплоты, поступающей в систему охлаждения (СО) дизелей ряда тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, а также количества теплоты, уносимой с отработавшими газами на различных режимах работы. Построены диаграммы теплового баланса, в том числе с накоплением.

В целях определения полезной работы каждым из рассматриваемых дизелей мобильных сельскохозяйственных машин и выявления наиболее эффективного из них выполнено интегрирование полученных путем интерполяции уравнений в пределах представленных на графиках частот, что позволило получить площадь фигур, ограниченных кривыми составляющих теплового баланса (Q_e). Расчеты проведены применительно к диаграммам теплового баланса с накоплением.

Предложена последовательность выбора и согласования дизеля проектируемой машины, которая позволяет выполнить работы, обеспечивающие разработку эффективной теплонапряженной системы.

Литература

1. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах: монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Якубович, А. И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 473 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов: учеб. для вузов: в 3 кн. / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – Кн. 1. – 479 с.
4. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М.: Высш. Школа, 1971. – 344 с.
5. Системный выбор энергетических параметров колесных тракторов: справочник / А. И. Бобровник [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2011. – 104 с.
6. Тракторы BELARUS [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>. – Дата доступа 24.05.2018.
7. Турчак, Л. И. Основы численных методов / Л. И. Турчак. – М.: Наука, 1987. – 318 с.
8. Мудров, А. Е. Численные методы для ЭВМ на языках Бэйсик, Фортран, Паскаль / А. Е. Мудров. – Томск: МП «РАСКО», 1991. – 272 с.
9. Бахвалов, Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.: Наука, 1987. – 600 с.

УДК 621.43

Поступила в редакцию 25.04.2018
Received 25.04.2018

В. Е. Тарасенко¹, А. А. Жешко²

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: belagromech@tut.by

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Эффективной в создании теплонапряженных систем для параметрического ряда мобильных сельскохозяйственных машин является разработка модульных систем. Модульный ряд теплонапряженных систем на примере параметрического ряда тракторов «Беларус» позволяет осуществить глубокую унификацию систем и обеспечить значимую экономию финансовых средств на этапах производства и в процессе эксплуатации.

Предложена методология проектирования, которая объединила новые научные положения в этом направлении. Методология проектирования систем дополнена морфологическим методом разработки структурных схем и конструкций, и, что особенно существенно, предложена нормативная (численная) оценка сложности системы, позволяющая проводить сравнительную оценку разрабатываемых систем относительно базовых. Морфологический метод и модульный принцип в своей совокупности являются новым эффективным направлением в создании перспективных систем мобильных сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: теплонапряженная система, компонент, структура, матрица, признак, модуль, производительность.

DEVELOPMENT OF THE SCHEME AND CONSTRUCTION OF HEAT-SUPPRESSED SYSTEMS OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINES

Effective in the creation of heat-stressed systems for the parametric series of mobile agricultural machines is the development of modular systems. A modular series of heat-stressed systems, using the example of the BELARUS range of tractors, allows for deep unification of systems and significant financial savings at the production and operational stages.

A design methodology was proposed that combined new scientific positions in this direction. The methodology of system design is complemented by the morphological method of developing structural schemes and designs, and, what is especially important, a normative (numerical) estimation of the complexity of the system is proposed, allowing comparative evaluation of the developed systems in comparison with the baseline ones. The morphological method and the modular principle in their totality are a new effective direction in creating promising systems of mobile agricultural machinery.

Keywords: heat-stressed system, component, structure, matrix, feature, module, performance.

Введение

Теплонапряженные системы (ТС) двигателей мобильных сельскохозяйственных машин относятся к техническим устройствам, обеспечивающим безотказную работу техники в эксплуатации. Недооценка ТС в функционировании, даже незначительные упущения в проектировании, приведут к значимым потерям и в производстве, и в эксплуатации. Доработка и совершенствование системы потребуют новых финансовых средств. Поэтому разработка и создание ТС должны выполняться на достаточном научном и техническом уровне с использованием современных методологий проектирования.

ТС состоит из отдельных компонентов различного функционального назначения и различной степени конструкционной сложности. ТС является термодинамической системой, при функционировании которой обеспечиваются отвод теплоты и охлаждение работающего двигателя. Каждый компонент из составляющих структурной схемы ТС функционально неизменен, но конструктивно может иметь множество технических решений. В зависимости от принятых возможных технических решений составляющих и формируется конструкция системы [1, 2]. Структурная схема и конструкция системы также имеют множество решений, оценить которые, сопоставить с имеющимися или возможными вариантами решений весьма сложно. Разработчику ТС приходится перебирать множество возможных конструкторских решений, увязывать их между собой, создавать и принимать решение о сложности конструкции.

Наука о ТС сегодня включает, с одной стороны, всю сумму научных фундаментальных и прикладных знаний ученых-теоретиков, а с другой – эмпирический опыт создания и разработки новых систем заводских конструкторов. Следует признать, что отсутствие методологии оценки сложности конструкции ТС затрудняет проведение научно обоснованного прогнозирования ее развития как на ближайшую, так и на более отдаленную перспективу. В этой связи представляется необходимым систематизировать достаточно большой массив теоретических и эмпирических знаний в области проектирования ТС, а также в области теории термодинамики, теплотехники, деталей машин и создать рабочие модели, программы, которые позволили бы в автоматизированном режиме решать многие из прикладных задач при проектировании ТС. Новые методы проектирования с использованием компьютерных технологий создают возможности во много раз сократить сроки разработки новых конструкций, однако до настоящего времени нет математических моделей, алгоритмов формирования и оценки схем ТС.

Материалы и методы исследований

Цель исследования – разработка методологии проектирования, позволяющей проводить сравнительную оценку разрабатываемых систем.

Материалы и методы. Рассмотрим один из вариантов подобных решений. Структурно ТС можно рассматривать как составляющую мобильных сельскохозяйственных машин, состоящую

из множества компонентов ($s_{1j}, s_{2j}, s_{3j}, \dots, s_{ij}$) отдельных классов. Одни составляющие по функциональным признакам являются базовыми, обеспечивают работу ТС как термодинамической системы, другие являются составляющими базовых компонентов или обеспечивают связь между базовыми составляющими и двигателем. К числу базовых относятся также теплоносители, обеспечивающие отвод теплоты от цилиндров двигателя, перенос ее к радиатору и рассеивание ее в окружающую среду. Каждый из компонентов придает ТС некоторое утверждение, которое может считаться функцией этого составляющего. Это позволяет записать:

$$SC = s_{1j} s_{2j} s_{3j} \dots s_{ij}$$

Все составляющие между собой имеют функциональные и структурные связи. Примем, что функциональная связь определяется назначением составляющего компонента, структурная – его компоновочным построением в машине.

Принципиальная схема жидкостной ТС мобильной сельскохозяйственной машины (рисунок 1) включает следующие компоненты: источник тепловой энергии, жидкостный контур по переносу тепловой энергии от источника, воздушный контур, взаимодействующий с жидкостным контуром и рассеивающий тепловую энергию в окружающую среду [3]. Совместно с компонентами ТС двигателя функционируют и другие составляющие, обеспечивающие охлаждение смазочного масла, наддувочного воздуха, теплоносителя кондиционера, а также работу отопителя кабины.

ТС является техническим устройством, которое тепловую энергию от цилиндров двигателя отводит в окружающую среду, обеспечивая его охлаждение. ТС функционально включается в состав силового агрегата мобильной сельскохозяйственной машины.

При рассмотрении принципиальной схемы (рисунок 1) выделим базовые составляющие компоненты – это источник энергии, жидкостный тракт, воздушный контур и другие, принятые для последующего рассмотрения. Базовые компоненты независимы, могут иметь различный принцип действия, различное конструктивное исполнение.

Составляющие базовых компонентов определяют их конструктивное исполнение, являются отдельными простейшими элементами или состоят из нескольких деталей. При рассмотрении

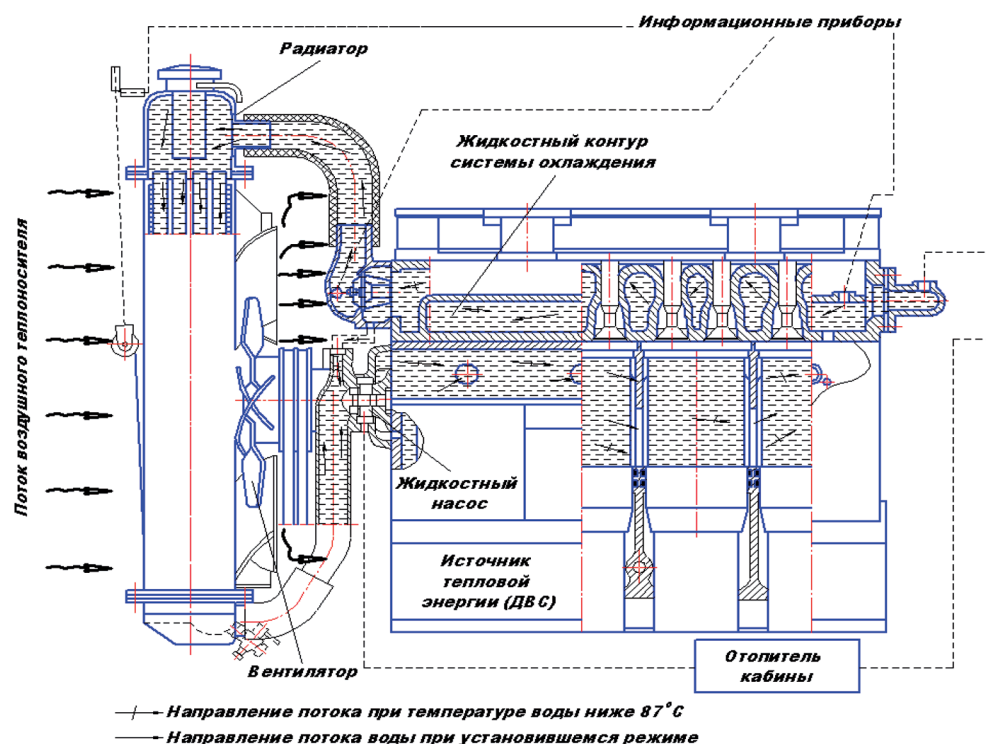


Рисунок 1. – Принципиальная схема жидкостной теплонапряженной системы двигателя мобильной сельскохозяйственной машины

Таблица 1. – Матрица компонентов теплонапряженной системы

Базовые компоненты, <i>i</i>		Возможное исполнение компонентов /разряд сложности, <i>j</i>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тип системы	Воздушная		Жидкостная прочотная	Жидкостная проточно-замкнутая	Жидкостная испарительная	Жидкостная термосифонная	Жидкостная принудительная	Жидкостная комбинированная		Жидкостно-воздушная
2	Теплоноситель	Воздух	Масло	Вода		Антифриз	Тосол		Фреон		
3	Расширительный контур			Расширительный бачок	Конденсационный бачок	Деаэрационный бачок	Компенсационный бачок		Расширительная емкость, встроенная в верхний бачок радиатора		
4	Регулирование потока жидкости		Термостат с жидким наполнителем	Термостат с твердым наполнителем		Насос с регулируемой подачей					
5	Насос жидкостный		Коилевой, $\eta = 0,12-0,25$	Вихревой $\eta = 0,30-0,45$	Шестеренчатый	Поршневой $\eta = 0,90-0,96$		Центробежный $\eta = 0,55-0,78$			
6	Радиатор жидкостный	Трубчатый	Трубчато-ребристый	Пластинчатый		Трубчато-ленточный	Трубчато-пластинчатый				Тепловая труба
7	Материал охлаждающих поверхностей	Сталь	Чугун	Мель	Алюминиевый сплав	Латунь				Металло-керамика	Комбинированный
8	Компоновка радиаторов		Водяной	Водяной + масляный двигателя		Жидкостный + масляный двигателя + трансмиссии	Жидкостный + масляные двигателя + кондиционера		Водяной + ОНВ + кондиционера		
9	Вентилятор		Центробежный		Осевой				Эжекторное устройство		
10	Привод вентилятора	Шестеренчатый	Ременной	Электрический двигатель	Гидрообъемная передача	Ременной с фрикционной муфтой	Ременной с вязкостной муфтой	Ременной с электромагнитной муфтой	Ременной с гидромуфтой	Шестеренный с гидромуфтой	
11	Регулирование потока воздуха		Шторка		Жалюзи	Переменный угол атаки лопастей вентилятора	Отключаемый вентилятор электромагнитной муфтой	Отключаемый вентилятор фрикционной муфтой	Отключаемый вентилятор вязкостной муфтой	Отключаемый вентилятор гидромуфтой	
12	Охладитель масла	Радиатор кожухотрубный воздушного масляный	Радиатор трубчатый стальной воздушного масляный	Радиатор трубчатый из алюминиевой оребренной трубы воздушного масляный	Радиатор трубчато-ленточный	Радиатор трубчато-пластинчатый	ЖМТ, встроенный в бачок радиатора	ЖМТ из круглой оребренной трубы, встроенный в блок двигателя	ЖМТ из плоских оребренных труб, встроенный в блок двигателя	ЖМТ пластинчатый, встроенный в блок двигателя	

составляющих базовых компонентов примем в качестве квалификационного признака возможное конструктивное исполнение по принципу действия, количества составляющих элементов (деталей) и расположим их последовательно в порядке увеличения сложности принципа действия и конструкции. Базовые компоненты расположим последовательно в порядке их функциональных связей. Проведя указанное построение, получим матрицу (таблица 1), содержащую базовые компоненты и возможные их составляющие j [4]. В целом матрица содержит компоненты множества различных конструкций ТС.

Предлагаемая матрица составлена по результатам изучения и анализа конструкций ТС двигателей внутреннего сгорания от первых образцов до ТС, применяемых на мобильных сельскохозяйственных машинах в настоящее время. В матрицу также включены технические решения, не применяемые в настоящее время, но которые, по мнению авторов, могут быть использованы в конструкции ТС в будущем. Между отдельными составляющими возможных исполнений компонентов оставлены пробелы, которые могут быть заполнены новыми элементами. В основу построения матрицы принят квалификационный признак, оценивающий сложность конструкции отдельно взятого составляющего компонента, совокупность которых и составляет сложность конструкции ТС в целом.

Таким образом, таблица 1 представляет матрицу структурных компонентов ТС с базовыми компонентами i_1, i_2, \dots, i_n и возможными конструктивными их исполнениями j_1, j_2, \dots, j_m . Принимаемое техническое решение ТС обозначим S_{ij} , где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ и $j = 1, 2, 3, \dots, m$, и представим их возможное множество в виде:

$$\begin{aligned} &S_{11}S_{12}S_{13}\dots S_{1m}; \\ &S_{21}S_{22}S_{23}\dots S_{2m}; \\ &\dots\dots\dots \\ &S_{n1}S_{n2}S_{n3}\dots S_{nm}. \end{aligned}$$

Приняв конструктивное исполнение по каждому базовому компоненту, составим формулу ТС в общем виде:

$$SC = S_{1j} + S_{2j} + S_{3j} + \dots + S_{ij} = \sum_{i=1}^n S_{ij}. \quad (1)$$

Приведенная матрица структурных комбинаций при конструировании ТС создает возможность формирования структуры системы, ее описания и нормативного анализа.

Положенный в основу построения матрицы компонентов ТС метод, называемый морфологическим, достаточно разработан и широко используется при разработке структуры и проведении анализа различных объектов и машин. Применение его при создании технических изделий описано в работах Фрица Цвикки [5]. Сущность метода состоит в делении объекта на отдельные части, каждая из которых имеет несколько возможных решений, общее решение получается при взятии одного конкретного решения по каждому составляющему и равно числу возможных комбинаций [4].

Очевидно, что новые прогрессивные решения не могут быть разработаны без системного анализа существующих и возможных конструктивных исполнений ТС. Морфологический метод позволяет изучить каждую из возможных структур объекта, принять наиболее рациональный ее вариант, решить поставленную задачу системным методом. Формула ТС (1) позволяет разрабатывать структурные схемы, проводить их анализ и оценку, выполнять обоснованный выбор составляющих компонентов.

Для конкретизации изложенного выше, используя приведенную матрицу компонентов (таблица 1), составим структурную формулу ТС двигателя трактора модели «Беларус-80.1». Опишем его ТС следующим образом:

- тип охлаждающей системы – жидкостная;
- теплоноситель – вода;
- регулирование потока жидкости – термостат с жидким наполнителем;
- радиатор – трубчато-пластинчатый, латунный;

- нагнетатель жидкостного теплоносителя – жидкостный насос, центробежный;
- нагнетатель воздушного теплоносителя – вентилятор;
- привод вентилятора – клиноременной;
- регулирование потока воздуха – шторка;
- охладитель масляный – воздушно-масляный радиатор из оребренной алюминиевой трубы.

Структурная формула ТС трактора модели «Беларус-80.1», состоящая из приведенных компонентов, представляется в виде:

$$SC_{TR}(S_{1.8}, S_{2.3}, S_{4.2}, S_{5.7}, S_{6.6}, S_{7.5}, S_{8.3}, S_{9.4}, S_{10.2}, S_{11.2}, S_{12.3}) \quad (2)$$

Формула (2) в совокупности с матрицей представляет перечень принятых составляющих компонентов, описывает в общем виде структуру и особенности конструкции ТС.

Проведя анализ этой формулы, представляется возможным решать задачи, стоящие при разработке ТС. По характеристикам принятых компонентов составляются описание, техническая характеристика, разрабатывается техническое задание проектируемой ТС, а также возможно проводить нормативную оценку, например, сложности конструкции, ее стоимости. Решение данных задач рационально путем разработки базы данных компонентов ТС, что позволит разработку ТС проводить с использованием методов компьютерного проектирования.

Рассмотрим нормативную оценку сложности конструкции ТС. Каждый из компонентов в матрице располагается, согласно его принципу работы и конструктивной сложности, и чем выше разряд, тем выше группа сложности. В качестве нормативной оценки сложности конструкции предлагается отношение численного значения разряда (j) к численному значению условного обозначения базового компонента (i), условно назовем его коэффициентом ранжирования составляющего компонента:

$$k_s = \frac{j}{i}.$$

В качестве нормативного коэффициента сложности конструкции ТС примем сумму коэффициентов ранжирования:

$$\hat{i} = \sum_{i=1}^n k_{si}. \quad (3)$$

На основании расчетов коэффициентов ранжирования ТС трактора модели «Беларус-80.1», описываемой формулой (2), коэффициент сложности конструкции ТС, рассчитанный по формуле (3), будет равен $\xi = 14,565$. Предположим, что проведена модернизация ТС: в качестве жидкостного теплоносителя применена низкозамерзающая жидкость, для исключения выброса которой в окружающую среду система дополнена расширительным контуром. Формула модернизированной ТС примет вид:

$$SC_{TR}(S_{1.8}, S_{2.6}, S_{3.3}, S_{4.2}, S_{5.7}, S_{6.6}, S_{7.5}, S_{8.3}, S_{9.4}, S_{10.2}, S_{11.2}, S_{12.3}),$$

и коэффициент сложности конструкции модифицированной ТС будет оцениваться $\xi = 17,065$. Модернизация системы сделала ее более сложной, коэффициент сложности системы увеличился на $\Delta\xi = 2,5$.

Для примера составим формулу некоей гипотетической ТС жидкостно-воздушного типа нового, «интеллектуального» поколения, теплоносителем которой является антифриз, расширительный контур встроен в верхний бачок радиатора, жидкостный насос – центробежный с регулируемой подачей, радиатор – трубчато-пластинчатый со встроенным в бачок жидкостно-масляным теплообменником (ЖМТ) охлаждения масла двигателя, вместо вентилятора применено эжекторное устройство. Формула такой ТС имеет вид:

$$SC_{TR}(S_{1.10}, S_{2.5}, S_{3.8}, S_{4.5}, S_{5.7}, S_{6.6}, S_{7.5}, S_{8.10}, S_{9.10}, S_{11.4}, S_{12.6}).$$

Расчетный коэффициент сложности описанной конструкции ТС $\xi = 22,756$.

Морфологический метод построения ТС на основе разработанной матрицы позволяет при проектировании провести также сравнительную стоимостную оценку разрабатываемой конструкции. Рассчитав коэффициент сложности конструкции ТС, стоимость которой, например, известна, определяются затраты единицы коэффициента сложности по формуле:

$$\sigma_C = \frac{C}{\xi}, \quad (4)$$

где C – стоимость затрат на изготовление ТС, руб.

Стоимость затрат на единицу коэффициента сложности конструкции σ_C по ряду известных моделей систем позволяет определить среднестатистические, достаточно близкие к реальным, затраты, которые с достаточной точностью можно использовать для стоимостной оценки разрабатываемых и перспективных исполнений ТС. Из формулы (4) следует, что стоимость ТС равна:

$$C = \sigma_C \xi. \quad (5)$$

Матрица составляется на основе квалификационного признака в соответствии с поставленной задачей. Матрицу не следует считать неизменной, она может дополняться новыми базовыми составляющими и их компонентами. Следует отметить, что предложенная матрица субъективна, ее построение определяет разработчик. Однако матрица, разработанная и согласованная группой независимых специалистов, более объективна. Сравнительная оценка конструкции системы и ее возможных исполнений при принятом построении матрицы позволяет решать поставленные задачи проектирования, проводить сравнительную оценку конструкции и предполагаемой стоимости. Для решения задачи составляется множество исполнений, в каждое входит по одному варианту квалификационного признака из каждой строки матрицы. Анализ этого множества позволяет выбрать наилучший вариант исполнения. В качестве критериев выбора наилучшего варианта могут применяться критерии, отвечающие решению задачи, в том числе нормативной оценки конструкции варианта исполнения. Нормативными критериями могут быть технические, экономические, эргономические и другие показатели. Оценку варианта исполнения рационально проводить в сравнении, например, по базовому исполнению. Морфологический метод можно применить для разработки отдельно взятого компонента ТС, в том числе радиатора, вентилятора, жидкостного и воздушного контуров, разделив их на отдельные возможные составляющие и элементы [4].

Модульная система охлаждения (СО) параметрического ряда машин. Предложенный метод проектирования предполагает разработку СО отдельно взятой мобильной сельскохозяйственной машины заданной мощности двигателя. Для разработки СО параметрического ряда тракторов этот метод следует дополнить модульным принципом построения, предполагающим выбор составляющих компонентов для ряда тракторов в определенном диапазоне мощности.

Под модулем в конструкции мобильных сельскохозяйственных машин понимается совокупность агрегатов, узлов и деталей, обеспечивающих выполнение одного функционального процесса, действия. В модуле составляющие компоненты имеют функциональные и компоновочные связи. Под компоновочными связями понимается установка отдельных составляющих во взаимосвязи, например, на отдельной раме. Отдельные составляющие могут не иметь компоновочных связей, но иметь функциональную связь.

Модульный принцип построения способствует обеспечению технологической и производственной преемственности на этапе сборки машины. Положенный в основу построения машины модульный принцип позволит расширить возможности создания моделей и модификаций с наименьшими производственными и экономическими затратами. Преимуществом модульного построения являются широкие возможности компоновочных решений, повышение ресурса и существенное снижение эксплуатационных затрат, связанных с обслуживанием и ремонтом машины.

Моторная установка мобильной сельскохозяйственной машины может быть разделена на следующие модули: дизель, устройства очистки поступающего в цилиндры воздуха, выпуск и очистка отработавших газов, система охлаждения, внешнее строение. Все модули имеют функциональное назначение, в совокупной взаимосвязи обеспечивают функционирование дизеля в целом.

СО мобильной сельскохозяйственной машины можно рассматривать как отдельный модуль, включающий блок радиаторов (охлаждения дизеля, охладителя наддувочного воздуха (ОНВ), масляный и др.), вентиляторную установку (вентилятор, направляющий кожух), ЖМТ, жидкостный насос. Функциональное назначение модуля охлаждения – обеспечение заданного температурного режима дизеля, охлаждение наддувочного воздуха и т. д. Рассмотрим построение модульной СО на примере параметрического ряда тракторов «Беларус».

Тракторы «Беларус» выпускаются в диапазоне мощности от 26,5 до 261 кВт и состоят из базовых моделей и модификаций [6, 7, 8]. Представляется, что для тракторов «Беларус» СО можно разделить на модули по мощности применяемых двигателей:

модуль А: дизели мощностью в диапазоне 26,5–66 кВт;

модуль В: дизели мощностью в диапазоне 70–90 кВт;

модуль С: дизели мощностью в диапазоне 96–156 кВт;

модуль D: дизели мощностью в диапазоне 186–261 кВт.

Каждый модуль СО обеспечивает охлаждение дизелей в принятом диапазоне мощности.

Разработка СО мобильных сельскохозяйственных машин, обеспечивающих рентабельность у производителя, невозможна без системных критериев, в основе которых лежат типизация и унификация. Унификация позволяет сокращать сроки и затраты на проектирование, повышать производительность и снижать затраты на производство, повышать качество изделий за счет специализации и комплексной механизации производства, улучшать обслуживание и ремонт за счет взаимозаменяемости. Типизация – одно из направлений проектирования, позволяющее одними составляющими создавать изделия с различными техническими параметрами для параметрического ряда тракторов.

При разработке модульных СО машин рассматривается унификация «по горизонтали», то есть внутри принятого диапазона мощности, и «по вертикали» – между модулями других диапазонов мощности [9, 10].

Тракторы каждого диапазона мощности, как показывают расчеты, могут иметь модульные СО, включающие одного типоразмера жидкостный насос, вентилятор и радиатор. Параметры составляющих модулей СО тракторов «Беларус» приведены в таблице 2. Комплектация дизелей составляющими модулей представлена в таблице 3 [4, 6].

Таблица 2. – Составляющие модулей СО тракторов «Беларус»

Наименование составляющих	Основные рабочие параметры по модулям			
	A	B	C	D
Жидкостный насос (производительность), $G_v, \text{л/мин}$	130			
		180		
			250	
				450
Вентилятор (производительность), $G_w, \text{м}^3/\text{ч}$	4600			
		6600		
			9600	
				16000
Радиатор (поверхность охлаждения), $F, \text{м}^2$	15,0			
		23,0		
			25,0	
				36,0

СО рекомендуется оценивать коэффициентом использования поверхности радиатора, равным отношению отводимого количества теплоты для обеспечения заданного температурного режима дизеля к максимально возможной теплорассеивающей способности этого радиатора (ϵ_r), а также коэффициентами использования потока жидкости (ϵ_v) и потока воздуха (ϵ_w). Эти оценочные коэффициенты позволяют количественно оценить способность модулей СО отводить теплоту от двигателя [9, 10].

Таблица 3. – Комплектация дизелей составляющими модулей СО

Наименование составляющих	Применяемость дизелей по модулям охлаждающих систем			
	A	B	C	D
Жидкостный насос	Д-244/Д-242	Д-245.5S2/Д-245.2S3A	Д-260.2	Д-260.4/Д-260.4C
	Д-242C/Д-243	Д-245.5S3A	Д-260.2S2/Д-260.2S3A	Д-260.4S2/Д-260.4S3A
	Д-243.1/Д-243C	Д-245S2	Д-260.1S2/Д-260.1S3A	Д-260.4S3A/Д-260.4S3B
	Д-245.5/Д-245.5C		Д-260.4S3B	Д-262S2/BF06M1013FC
Вентилятор	Д-244/Д-242	Д-245.5S2/Д-245.2S3A	Д-260.2	Д-260.4/Д-260.4C
	Д-242C/Д-243	Д-245.5S3A	Д-260.2S2/Д-260.2S3A	Д-260.4S2/Д-260.4S3A
	Д-243.1/Д-243C	Д-245S2	Д-260.1S2/Д-260.1S3A	Д-260.4S3A/Д-260.4S3B
	Д-245.5/Д-245.5C		Д-260.4S3B	Д-262S2/BF06M1013FC
Радиатор жидкостный	Д-244/Д-242	Д-245.5S2/Д-245.2S3A	Д-260.2	Д-260.4/Д-260.4C
	Д-242C/Д-243	Д-245.5S3A	Д-260.2S2/Д-260.2S3A	Д-260.4S2/Д-260.4S3A
	Д-243.1/Д-243C	Д-245S2	Д-260.1S2/Д-260.1S3A	Д-260.4S3A/Д-260.4S3B
	Д-245.5/Д-245.5C		Д-260.4S3B	Д-262S2/BF06M1013FC

Для оценки составляющих предлагаемых модулей СО воспользуемся количественной оценкой параметров принятых жидкостных насосов, вентиляторов и радиаторов.

На рисунке 2 представлен ряд рекомендуемых для модулей жидкостных насосов, точками отмечены их производительности согласно таблице 2. Заштрихованные области графика представляют запас производительности жидкостных насосов по каждому модулю. Коэффициент использования, например, жидкостного насоса равен отношению расчетного значения производительности к производительности насоса модуля:

$$\varepsilon_V = \frac{G_V}{G_{V.M}}, \quad (6)$$

и находится в пределах: модуль А, $\varepsilon_V = 0,792\text{--}0,977$; модуль В, $\varepsilon_V = 0,843\text{--}1,014$; модуль С, $\varepsilon_V = 0,827\text{--}1,06$; модуль D, $\varepsilon_V = 0,827\text{--}0,986$.

Разность $(1 - \varepsilon_V)100\%$ следует рассматривать как коэффициент запаса жидкостного насоса по производительности. Как следует из графика (рисунок 2) и проведенных расчетов, некоторые 4- и 6-цилиндровые дизели не имеют запаса по производительности жидкостных насосов. Но, принимая во внимание характер протекания функции $Q_V = f(G_V)$, описывающей перенос теплоты

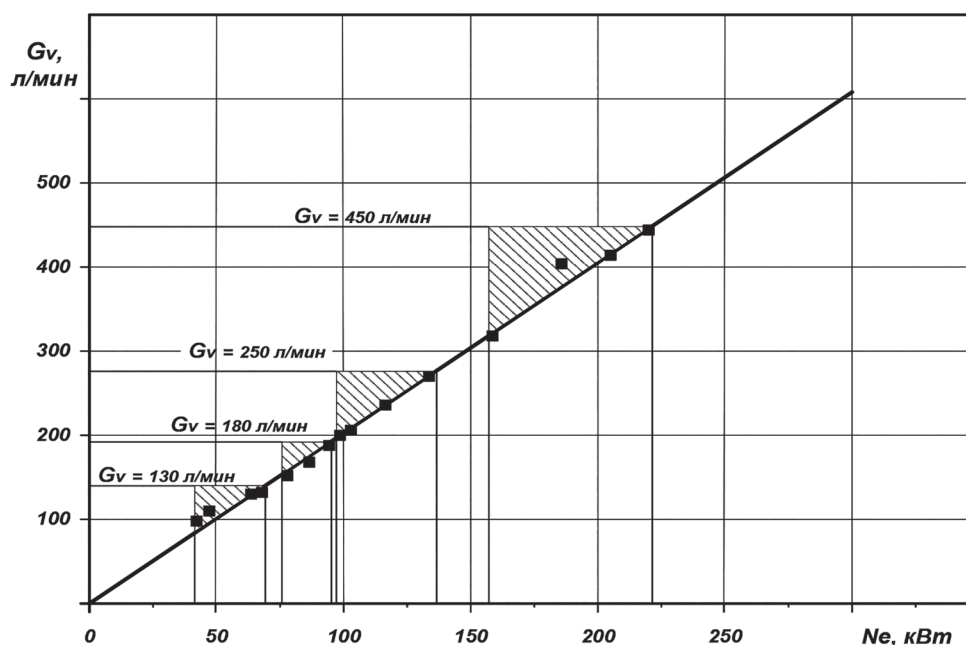


Рисунок 2. – Производительность жидкостных насосов параметрического ряда модулей систем охлаждения

охлаждающей жидкости в зависимости от производительности насоса, и ее влияние на теплопередачу, можно согласиться с производительностью жидкостных насосов и для этих дизелей.

Коэффициент использования вентиляторов $\varepsilon_W = G_W / G_{W,м}$ по модулям составляет: модуль А, $\varepsilon_W = 0,805–0,992$; модуль В, $\varepsilon_W = 0,827–0,922$; модуль С, $\varepsilon_W = 0,737–0,992$; модуль D, $\varepsilon_W = 0,704–0,997$.

При выполнении настоящего исследования построены графики рядов модульных радиаторов в функции охлаждающей поверхности в зависимости от мощности дизелей. Коэффициент использования поверхности радиаторов $\varepsilon_F = F_P / F_{P,м}$ по модулям равен: модуль А, $\varepsilon_F = 0,847–1,04$; модуль В, $\varepsilon_F = 0,813–0,978$; модуль С, $\varepsilon_F = 0,678–0,972$; модуль D, $\varepsilon_F = 0,703–0,997$.

Расчеты показывают, что СО с дизелями Д-243 и Д-245.5 не имеют запаса по охлаждающей поверхности радиаторов. Количественное значение недостающей поверхности охлаждения к охлаждающей поверхности принятого радиатора параметрического ряда составляет 2 и 4 %.

Таким образом, предлагаемые модули СО тракторов с рассматриваемыми дизелями по численным значениям параметров – производительности жидкостных насосов, вентиляторов и радиаторов, обеспечивают расчетные значения и имеют достаточный запас.

Формирование СО приведенными составляющими модулей позволит СО тракторов выполнять унифицированными и типизированными, в том числе и «по вертикали», в рассмотренном диапазоне мощности.

Выводы

Предложен метод, использование которого позволяет разработчику на этапе выбора конструкции при проектировании выбрать компоненты, составить структурную схему ТС, описать ее, провести нормативную оценку и сопоставить с базовой или существующей системой. Дополнив матрицу новыми компонентами, разработанными на основе новых технических решений и принципов их функционирования, возможно осуществлять прогнозирование дальнейшего технического развития ТС. Морфологический метод на основе матрицы является всего лишь инструментом новых методов проектирования и прогнозирования развития технических систем.

Разработаны модули СО параметрического ряда тракторов «Беларус» при максимальном использовании типизированных и унифицированных составляющих компонентов.

Литература

1. Якубович, А. И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 473 с.
2. Тарасенко, В. Е. К вопросу проектирования системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 239–251.
3. Якубович, А. И. Исследование движения жидкости в каналах системы охлаждения двигателя / А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 1 (14). – С. 41–46.
4. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах: монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
5. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование / пер. с англ. Technological Forecasting for Decisionmaking NEW YORK, 1972. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.
6. Системный выбор энергетических параметров колесных тракторов: справочник / А. И. Бобровник [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2011. – 104 с.
7. Тракторы BELARUS. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>. – Дата доступа 24.06.2017.
8. Применение методов унификации и типизации при создании семейства колесных тракторов «Беларус» / И. Н. Усс [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 5. – С. 5–8.
9. Якубович, А. И. Определение поверхности охлаждения радиатора / А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 54–61.
10. Тарасенко, В. Е. Обеспечение температурного режима системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора совершенствованием жидкостного и воздушного контуров: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В. Е. Тарасенко. – Минск, 2009. – 179 л.

Л. Я. Степук, В. В. Микульский

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

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПАССИВНО-АКТИВНОГО СКРЕПЕРА К МОБИЛЬНЫМ НАВОЗООБОРОЧНЫМ МАШИНАМ

В статье приводится аналитическое доказательство ограниченного применения зарубежных машин с пассивными скреперами, изложены требования к последним для условий Беларуси, предложено пассивные отвалы оснастить открытыми винтовыми конвейерами, что позволит расширить сферу применения мобильных машин в условиях Республики Беларусь.

Ключевые слова: навозооборочная машина, пассивно-активный скрепер, расчет отвала скрепера.

L. J. Stepuk, V. V. Mikulski

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

ON THE ISSUE OF CREATING A PROMISING PASSIVE-ACTIVE SCRAPER FOR MOBILE MANURE COLLECTION MACHINES

The article provides analytical evidence of the limited use of foreign machines with sowing scrapers, outlines the requirements for the latter for the conditions of Belarus, suggests passive dumps to be equipped with open screw conveyors, which will expand the scope of mobile machines in the Republic of Belarus.

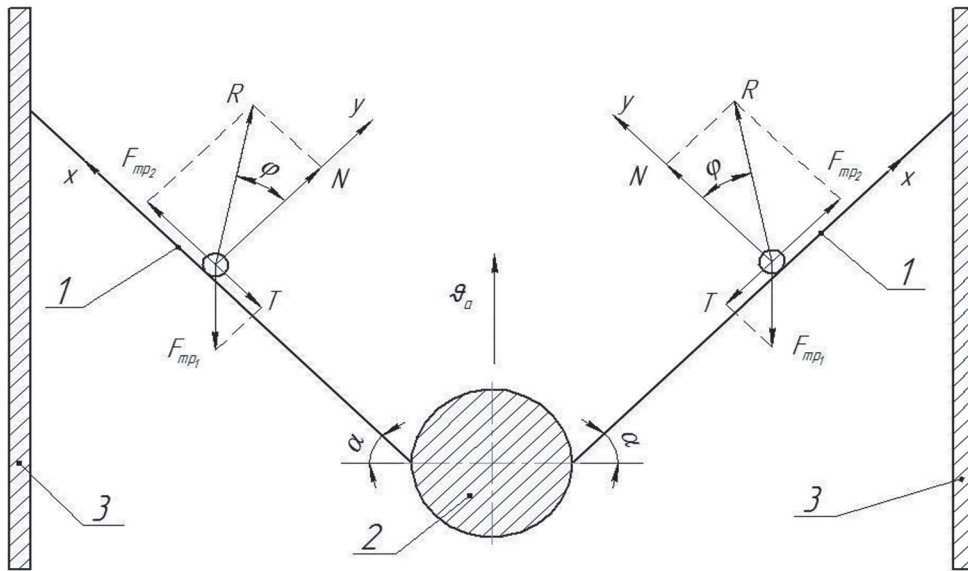
Введение

В статье «Новое направление в механизации удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов» [1] нами показано, что для условий Беларуси с широкой номенклатурой животноводческих предприятий по их назначению, размерам, системам содержания животных, средствам механизации производственных процессов, технологическим решениям животноводческих зданий, определяющих получение различных видов навоза (твердого, полужидкого, жидкого), рассмотренные ниже зарубежные мобильные машины Honey-Vac и Honey-Loader канадской фирмы Loewen работоспособны только на полужидком навозе. На белорусских молочно-товарных фермах и комплексах удаление полужидкого навоза из помещений осуществляют стационарными дельта-скреперными установками, а сменяемую подстилку более чем на 700 фермах страны удаляют бульдозером. Зарубежные аналоги на этих фермах неработоспособны. Поэтому главной проблемой при создании отечественного мобильного многофункционального агрегата является изыскание принципиально нового скреперного устройства, работоспособного на всех видах навоза, удаляемого из коровников. Покажем, что такая проблема действительно существует.

Основная часть

При движении машины по навозному каналу небольшая часть полужидкого навоза, находящегося между отвалами скрепера, поступает непосредственно к загрузочной горловине всасывающей трубы пневматической машины Honey-Vac [2] или к загрузочному отверстию вертикального элеватора машины Honey-Loader [3]. Остальная часть навоза соскребается отвалами с лотка канала и направляется к приемной горловине машины, при этом сужается поток с ширины захвата скрепера до диаметра всасывающей трубы.

Определим условие, при котором частицы навоза будут перемещаться движущимися отвалами в зону приемной горловины. Рассмотрим силы, действующие на частицу (рисунок 1).



1 – отвалы скрепера; 2 – всасывающая горловина загрузочной трубы; 3 – стенки навозного канала
Рисунок 1. – Силы, действующие на частицу навоза при перемещении ее скрепером в зону приемной горловины

На рисунке 1 видно, что при соприкосновении частицы с движущимся скребком на нее действуют следующие силы:

- сила трения частицы о дно навозного канала F_{mp1} ;
- сила трения частицы о рабочую поверхность отвала F_{mp2} ;
- сила нормальной реакции частицы на отвал N .

Очевидно, что для перемещения частицы в зону приемной горловины необходимо, чтобы сумма всех сил была также направлена в зону приемного транспортера.

Для этого расположим систему прямоугольных координат таким образом, чтобы ось абсцисс OX была направлена вдоль рабочей поверхности отвала скрепера, и спроецируем на нее все силы:

$$T - F_{mp2} = 0, \quad (1)$$

где T – сила, смещающая частицу материала вдоль рабочей поверхности отвала скрепера в зону приемной горловины и являющаяся составляющей силы F_{mp1} на ось OX . Она равна:

$$T = F_{mp1} \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где α – угол вхождения отвала в навозный канал, град.

Из формулы (1) следует, что перемещение частицы вдоль рабочей поверхности отвала скрепера в зоне приемной горловины будет обеспечено, с учетом формулы (2), при

$$F_{mp1} \cdot \sin \alpha > F_{mp2}. \quad (3)$$

Силу трения частицы о дно навозного канала определим по формуле:

$$F_{mp1} = P \cdot f_1, \quad (4)$$

где P – сила веса сдвигаемой отвалом частицы, H ; f_1 – коэффициент трения частицы о дно навозного канала.

Силу трения частицы о рабочую поверхность отвала определим по формуле:

$$F_{mp2} = N \cdot f_2, \quad (5)$$

где f_2 – коэффициент трения частицы о рабочую поверхность отвала.

Тогда, подставив формулы (4) и (5) в неравенство (3), получим:

$$N \cdot f_1 \cdot \sin \alpha > N \cdot f_2 \dots \quad (6)$$

Нормальную реакцию от давления частицы на отвал скрепера найдем из суммы сил, спроецированных на ось ординат OY (рисунок 1):

$$N = P \cdot f_1 \cdot \cos \alpha. \quad (7)$$

Подставив полученную формулу (7) в (6) и сделав некоторые преобразования, получим:

$$\operatorname{tg} \alpha > f_2. \quad (8)$$

Известно, что коэффициент трения f_2 частицы о дно навозного канала есть $\operatorname{tg} \varphi$, тогда окончательно получим:

$$\alpha > \varphi, \quad (9)$$

где φ – угол трения частицы о рабочую поверхность отвала скрепера, *град*.

Следовательно, для перемещения навоза по рабочей поверхности отвала скрепера в зону всасывания загрузочной трубы необходимо, чтобы угол, образуемый нормалью N к рабочей поверхности отвала и реакцией R , был больше угла трения о данную поверхность.

Конечно же, вполне возможно определить угол α и угол φ и выполнить условие (9), но это будет один единственный конкретный случай. Практически ширина навозных каналов на фермах и комплексах крупнорогатого скота в Беларуси устраивается в пределах от 2,4 до 3,2 м. Необходимо соответственно устанавливать и рабочую ширину захвата скрепера, что повлечет изменение и углов α , и углов φ . Кроме того, физико-механические свойства навоза на каждой ферме тоже не являются стабильными, одинаковыми.

Поэтому приведенные рассуждения являются методически верными, но могут не иметь практического применения. Тем не менее они абсолютно убеждают в неработоспособности зарубежных аналогов при удалении полужидкого навоза с солоmistыми, травянистыми включениями, а тем более при удалении периодически сменяемой подстилки из навозных каналов, нередко представляющей собой в зимних условиях смерзшиеся комья, получаемые из замерзших влажных соломенных тюков или рулонов, «измельченных» с помощью обычных топоров.

Дело в том, что теоретические рассуждения базировались на рассмотрении взаимодействия одной материальной точки с пассивным отвалом, причем без учета противодействующих сил со стороны противоположного отвала. В действительности же навоз, находящийся между двумя отвалами пассивного скрепера, при его движении по навозному каналу должен сужаться отвалами от ширины захвата (канала) до диаметра загрузочной всасывающей трубы. По мере приближения навоза к загрузочной трубе происходит процесс изменения потока массы и по ширине, и по высоте. А это может происходить только с хорошо текучим полужидким навозом. Математически описать данный процесс не представляется возможным, тем более перенести приведенные выше математические выкладки с материальной точкой на навозную массу.

Как показано выше, скрепер мобильного агрегата для удаления навоза из помещений является важнейшим рабочим органом, определяющим не только работоспособность агрегата в целом на полужидком навозе, сменяемой подстилке, но и качество уборки.

Очевидно, что скрепер многофункционального агрегата должен состоять из пассивных отвалов, оснащенных активными рабочими органами-питателями. Назначение пассивных отвалов – при движении агрегата соскребать навоз со всей ширины навозного канала, накапливая его впереди внутренних стенок. Назначение активных питателей – принудительно проталкивать накапливающийся навоз к загрузочному отверстию вертикального элеватора.

Учитывая то, что эксплуатироваться питатель будет в ограниченной зоне, он должен быть компактным, предельно просто устроенным и надежным в работе. В процессе работы агрегата сечение слоя убираемого навоза перед скрепером непрерывно изменяется. В связи с этим питатель должен работать в условиях различных режимов: перемещать навоз слоем различной высоты, самозагружаться по всей длине контакта с ним.

В результате изучения существующих питателей погрузочно-разгрузочных машин непрерывного действия, применяемых в различных отраслях народного хозяйства, установлено, что

в качестве питателя навозоуборочной машины приемлем винтовой питатель открытого типа (без кожуха), который наиболее полно удовлетворяет указанным выше требованиям.

На рисунке 2 показана принципиальная схема многофункционального агрегата для удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов, оборудованных перспективным скрепером, на рисунке 3 – скрепер, на рисунке 4 – пассивно-активный отвал.

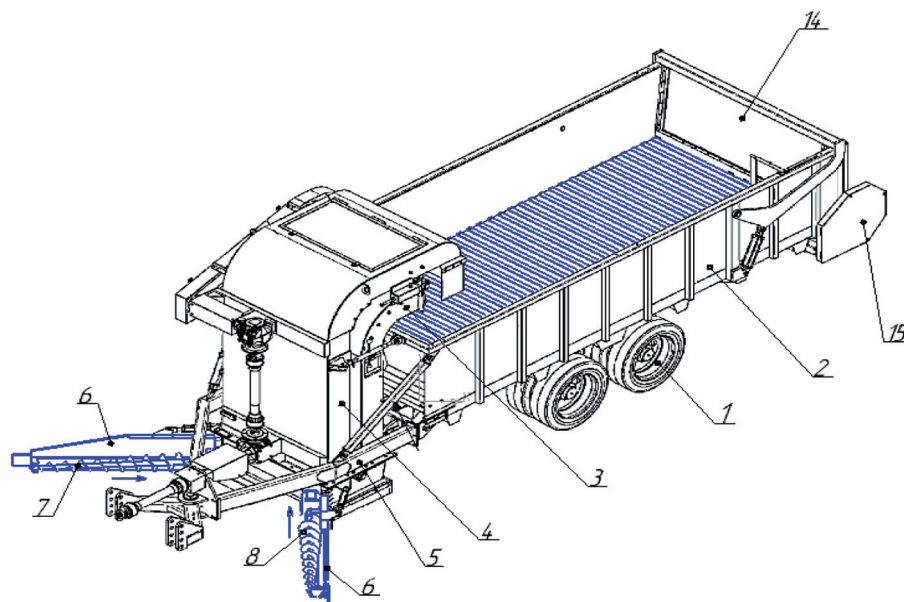


Рисунок 2. – Механическая машина для уборки навоза Honey Loader с пассивно-активным скрепером (фирма Loeven)

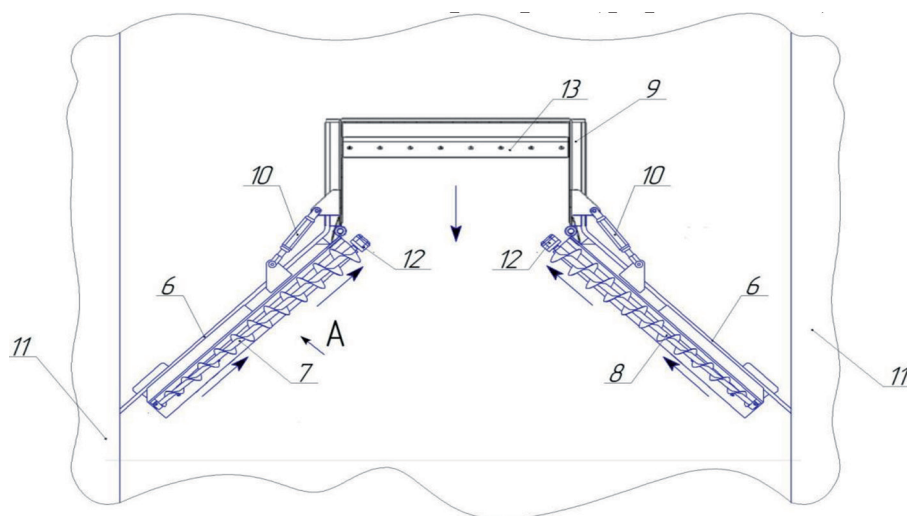


Рисунок 3. – Схема перспективного пассивно-активного скрепера

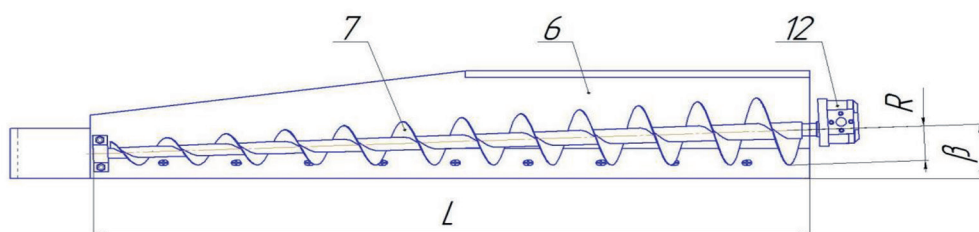


Рисунок 4. – Схема пассивно-активного отвала скрепера

Агрегат состоит из шасси 1, кузова 2, вертикального цепочно-планчатого элеватора, состоящего из подающей 3 и возвратной 4 ветвей, присоединенного талрепами к переднему борту кузова 2 и к прицепной снице 5, с нижней частью которого функционально закреплен скрепер, состоящий из двух пассивных отвалов 6 с присоединенными к ним с внутренней стороны правым 7 и левым 8 коническими винтами, большими диаметрами направленными к остову 9 скрепера (рисунок 3), а меньшими – к свободным концам пассивных отвалов 6, которые разводятся посредством гидроцилиндров 10 до ширины навозного канала. Причем винты закреплены на пассивных отвалах таким образом, что их оси расположены под углом β к горизонтали или по отношению к нижней горизонтальной грани отвала (рисунок 4), определяемым по выражению:

$$\beta = \arctg \frac{R}{L}. \quad (10)$$

Агрегат работает следующим образом. Заехав через въездные ворота в начало навозного канала, механизатор разводит пассивные отвалы 6 с винтами 7 и 8 с помощью гидроцилиндров 10 до соприкосновения с его стенками 11 (рисунок 3) и опускает загрузочное устройство вместе со скрепером до соприкосновения с дном канала. Далее механизатор включает гидромотры 12 привода винтов 7 и 8, соответствующую передачу трактора, и агрегат начинает движение по каналу. Слой навоза, находящийся в створе пассивных отвалов, сгребается со дна канала, сужается и одновременно увеличивается по высоте. При этом навоз перемещается подобно тому, как это делает бульдозер. При увеличивающейся высоте слоя вращающимися винтами 7 и 8 навоз подается к загрузочному отверстию подающей ветви цепочно-планчатого элеватора, где захватывается его планками 13 и по той же ветви транспортируется в кузов 2 агрегата. После заполнения кузова агрегат переезжает к навозохранилищу, механизатор открывает задний борт 14, включает привод донного транспортера 15 (рисунок 2) и выгружает содержимое кузова в хранилище.

Заключение

1. Показано, что пассивные скреперы известных зарубежных мобильных машин, удаляющих навоз из коровников, имеют ограниченное применение – работают только на удалении полужидкого навоза.
2. Для условий Беларуси востребована прифермская многофункциональная машина, способная удалять из коровников не только полужидкий навоз, но и сменяемую подстилку, убираемую в настоящее время бульдозером, очищать выгульные площадки с твердым покрытием, удалять остатки корма с кормовых столов.
3. Предложен вариант усовершенствования известного скрепера путем оснащения пассивных отвалов открытыми винтовыми конвейерами, делающими их работоспособными на всех перечисленных выше материалах.
4. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в 2019 году представит опытный образец многофункциональной машины с активно-пассивным скрепером на приемочные испытания.

Литература

1. Яковчик, С. Г. Новое направление в механизации удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов / С. Г. Яковчик, Л. Я. Степук, Н. Д. Лепешкин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018 – С. 118–123.
2. Пневматическая машина с лопастным подгребателем фирмы Nuhn // Nuhn Industries Ltd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuhn.ca/products/manure-tanks/alley-vac>. – Дата доступа: 12.06.2018.
3. Apparatus for collecting material from a surface: US8997 (B2). Loewen Welding & Manufacturing Ltd. (CA) – Appl. No. 13/335,321; Filed: December 22, 2011; Patented 04.07.2015.

И. И. Скорб¹, А. М. Волк²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: igor.bgatu@mail.ru

²УО «Белорусский государственный технологический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ЖИДКОГО НАВОЗА

Проведены экспериментальные исследования процесса гомогенизации жидкого навоза в замкнутом открытом канале мешалкой с лопастным рабочим органом и определены ее некоторые оптимальные параметры.

Ключевые слова: навоз, расслоение, влажность, гомогенизация, мешалка, лопасть.

I. I. Skorb¹, A. M. Volk²

¹Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: igor.bgatu@mail.ru

²Educational Establishment «Belarusian State Technological University»
Minsk, Republic of Belarus

EXPERIMENTAL STUDY OF DEVICES FOR HOMOGENIZATION OF LIQUID MANURE

Experimental studies of the process of homogenization of liquid manure in a closed open channel by a stirrer with a paddle working organ have been carried out and some of its optimal parameters have been determined.

Keywords: manure, stratification, moisture, homogenization, agitator, blade.

Введение

Гомогенизация навоза в каналах гидравлических систем является важной технологической операцией, обеспечивающей полноту уборки навоза из таких каналов и влияющей на микроклимат в животноводческом помещении [1].

При оптимизации конструкции мешалки для гомогенизации жидкого навоза необходимо рассматривать множество факторов. Поэтому для поиска этих параметров используем метод математического планирования эксперимента. Движение к оптимуму возможно, если выбрать один параметр оптимизации, а другие характеристики процесса принять в качестве ограничений [2].

Эффективность технологического процесса характеризуется двумя показателями – энергоемкостью процесса и качеством гомогенизации. Однако координаты экстремумов этих функций обычно не совпадают. Поэтому в качестве целевой функции целесообразно принять качество гомогенизации навоза, обеспечивающее его гидротранспортабельность с наименьшими затратами энергии.

Основная часть

С целью обоснования конструктивных и режимных параметров мешалки проведены экспериментальные исследования, программой которых предусматривались:

- выявление априорным ранжированием факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество гомогенизации навоза;
- проведение многофакторного эксперимента с использованием центрального композиционного ортогонального плана второго порядка 2³;

- обработка полученных экспериментальных данных;
- построение поверхностей отклика, отображающих зависимость количества сухого вещества в осадке от факторов, установленных в результате априорного ранжирования.

На первом этапе исследований определена область факторного пространства, в котором количество сухого вещества в навозе соответствует влажности 92 %, обеспечивающей гидротранспортабельность жидкого навоза.

Осуществлен отбор факторов, предположительно наиболее сильно влияющих на качество гомогенизации (таблица 1).

Таблица 1. – Факторы, влияющие на качество гомогенизации навоза

Обозначение факторов	Наименование фактора
1. Физико-механические свойства среды	
x_1	Влажность
2. Параметры экспериментальной установки	
x_2	Частота вращения мешалки
x_3	Угол установки лопастей мешалки
x_4	Количество лопастей
x_5	Диаметр мешалки

На основании поисковых опытов и анализа конструкции мешалки установлено, что такие факторы, как частота вращения винта ω (мин^{-1}), угол установки лопастей α (град.), количество лопастей z (шт.), являются наиболее значимыми и недостаточно изученными.

Для проведения многофакторного эксперимента целесообразно использовать центральный композиционный ортогональный план второго порядка 2^3 . Уровни варьирования факторов приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Кодирование варьируемых факторов

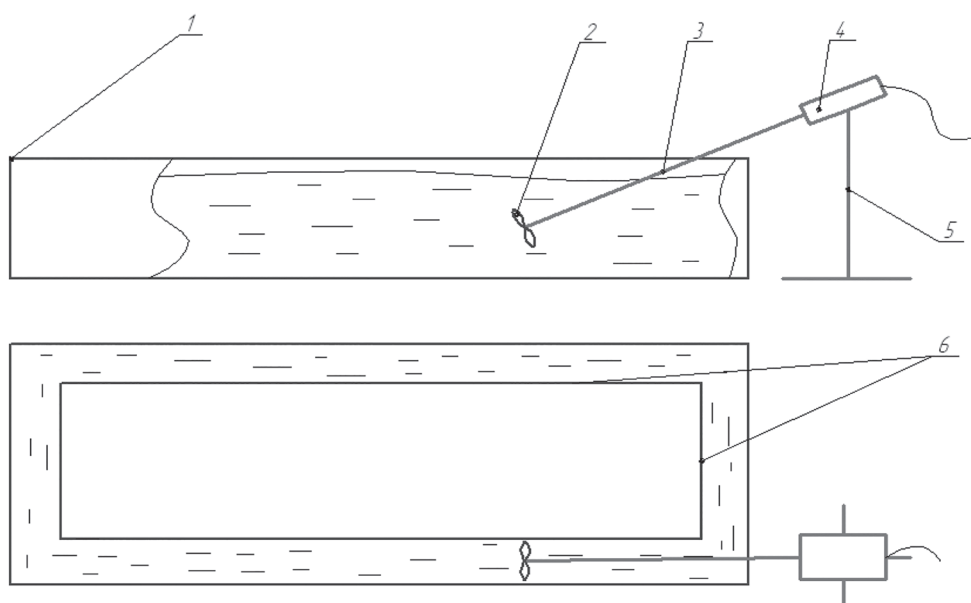
Показатель	Варьируемые факторы		
	ω , частота вращения мешалки, мин^{-1}	z , число лопастей мешалки, шт.	α , угол установки лопастей мешалки, град.
Кодовое обозначение факторов	x_1	x_2	x_3
Основные уровни ($x_i = 0$)	750	3	25
Интервалы варьирования	250	1	10
Нижние уровни ($x_i = -1$)	500	2	15
Верхние уровни ($x_i = +1$)	1000	4	35

Основой эксперимента является матрица, представленная в таблице 3 и содержащая условия проведения всех опытов в соответствии с намеченным планом.

Таблица 3. – Построение трехфакторного плана первого порядка

№ опыта	x_1	x_2	x_3	№ опыта	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1	5	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1	6	+1	-1	+1
3	-1	+1	-1	7	-1	+1	+1
4	+1	+1	-1	8	+1	+1	+1

Экспериментальные исследования выполнялись на специально изготовленной установке (рисунок 1).



1 – резервуар; 2 – мешалка; 3 – вал; 4 – электродвигатель; 5 – стойка; 6 – перегородка

Рисунок 1. – Схема лабораторной модельной установки

Установка создана с учетом основных законов теории подобия. При сохранении геометрического подобия выдерживалось и гидродинамическое.

Экспериментальная установка состоит из резервуара 1 (размером $2 \times 0,6 \times 0,3$ м), в котором имеются перегородки 6, на стойке 5 крепится электродвигатель 4 с валом 3, на конце которого крепится лопастная мешалка 2. Подставка имеет поворотную верхнюю часть, с помощью которой можно изменять угол наклона вала гомогенизатора в резервуаре. Изготовлено 28 экспериментальных насадок, отличающихся количеством лопастей, разным углом их атаки и диаметром.

Для измерения частоты вращения вала использовался электронный бесконтактный тахометр DeLaval VPR100.

Из литературных источников известно, что навоз становится гидротранспортабельным при влажности 92 % [2]. Для проведения исследований был изготовлен аналог жидкого навоза, в состав которого входили: вода, торфокрошка и силикатный клей, составляющий 5 % от всей массы. Готовый аналог жидкого навоза загружался в лабораторную установку и выдерживался 48 часов. За это время происходило его расслоение на нижний осадочный слой (осадок) и верхний слой (жидкая фракция). Измерения показали, что влажность нижнего осадочного слоя составила 78 %, верхнего – 99 %. Далее в смесь погружалась мешалка и осуществлялась гомогенизация.

Проведенный анализ конструкций существующих перемешивающих устройств и поисковые исследования показали, что для достижения требуемой равномерности диспергирования в качестве рабочего органа эффективно использовать лопастную мешалку. По сравнению с другими конструкциями мешалок (турбинной, фрезерной и т. д.) лопастная более активно воздействует на массу и создает наибольший гидравлический напор.

Все дальнейшие опыты по изучению диспергирования и энергоемкости процесса проводились с данным типом рабочего органа.

Таким образом, описанная установка позволяет проводить исследования процесса гомогенизации жидкого навоза.

Для построения и анализа регрессионной модели используем результаты опытов, полученных согласно плану полного трехфакторного эксперимента и композиционного плана (таблица 4).

Таблица 4. – Результаты экспериментов по линейному плану

№ опыта	y_1	y_2	y_3	№ опыта	y_1	y_2	y_3
1	3,9	3,5	3,6	5	3,0	3,1	3,3
2	3,1	3,1	3,0	6	2,7	2,9	2,7
3	3,2	3,3	3,2	7	3,4	3,2	3,3
4	3,4	3,6	3,1	8	2,4	2,3	2,4

Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась в соответствии с принятыми правилами теории вероятностей и математической статистики и использованием математического пакета MathCad. Статистическая обработка проводится с целью проверки адекватности экспериментальным данным.

В результате получили уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$y = 3,5475 + 0,000156\omega + 0,0091\alpha - 0,0000416\omega\alpha.$$

Для анализа полученного уравнения регрессии построены поверхности отклика, представленные на рисунках 2, 3, 4.

При анализе поверхностей отклика учитываем, что функция отклика y – количество сухого вещества в осадке $m_{св}$, должна соответствовать гидротранспортабельности осадка жидкого навоза, а именно количество сухого вещества в осадке должно соответствовать влажности осадка 92 %. Опытным путем было установлено, что при влажности осадка 92 % масса сухого вещества в пробе составляла не более 2,4 г.

Из графика на рисунке 2 видно, что значение параметра y соответствует гидротранспортабельности при угле установки лопастей α , находящемся в пределах 33–35 градусов, и практически не зависит от количества лопастей z .

Анализ графика (рисунок 3) показал, что значение параметра y соответствует гидротранспортабельности навоза при частоте вращения рабочего органа мешалки ω , находящейся в пределах 950–1000 мин^{-1} , и практически не зависит от количества лопастей z .

В результате анализа графика (рисунок 4) было установлено, что значение параметра y обеспечивает гидротранспортабельность навоза при частоте вращения рабочего органа мешалки ω ,

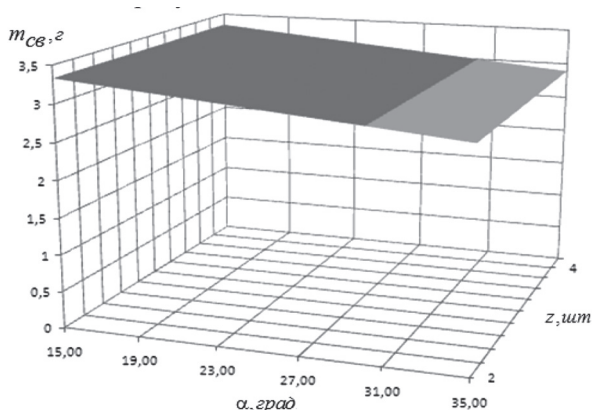


Рисунок 2. – Зависимость количества сухого вещества в осадке от угла установки лопастей и их количества

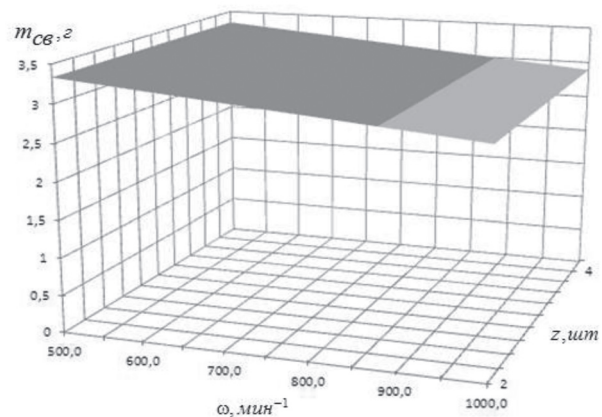


Рисунок 3. – Зависимость количества сухого вещества в осадке от частоты вращения мешалки гомогенизатора и количества лопастей в нем

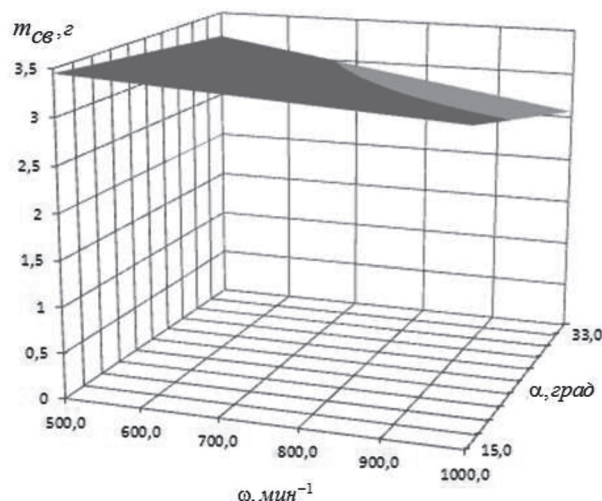


Рисунок 4. – Зависимость количества сухого вещества в осадке от частоты вращения мешалки гомогенизатора и угла установки лопастей

находящейся в пределах 950–1000 мин^{-1} , и угле установки лопастей α , находящемся в пределах 33–35 градусов.

Заключение

Полученные зависимости (рисунки 2–4) позволяют определить рациональные значения факторов для достижения гидротранспортабельности жидкого навоза в каналах гидравлических систем уборки навоза. Частота вращения рабочего органа мешалки должна находиться в пределах 950–1000 мин^{-1} , угол установки лопастей – 33–35 градусов, количество лопастей существенного влияния не оказывает.

Литература

1. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения / Пер. с нем. под ред. М. Я. Семенова. – М.: Колос, 1978. – 271 с.
2. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

УДК 631.333:631.862

Поступила в редакцию 29.10.2018
Received 29.10.2018

П. П. Бегун¹, К. М. Рассошенко²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: behun@mail.ru

²ГУ «Белорусская МИС»

п. Привольный, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь

e-mail: kostyarass@rambler.ru

НОВАЯ МАШИНА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ПОЛУЖИДКОГО НАВОЗА

В статье дано описание устройства и работы новой самозагружающейся машины для внесения полужидкого навоза. Для качественного выполнения технологического процесса внесения навоза предложено дозирующее устройство, позволяющее повысить точность дозирования.

Ключевые слова: органические удобрения, навоз полужидкий, ротор, штанга, насос, дозатор, распределитель, смеситель, шнек.

NEW MACHINE FOR MAKING SEMI-LIQUID MANURE

The article describes the design and operation of a new self-loading machine for the introduction of semi-liquid manure. For high-quality implementation of the manure application process, a dosing device has been proposed that allows to increase the dosing accuracy.

Keywords: organic fertilizers, semi-liquid manure, rotor, rod, pump, dispenser, distributor, mixer, auger.

Введение

В условиях Беларуси, республики с высокоразвитым животноводством, навоз является огромным ресурсом, основным источником пополнения гумуса в почве, запасы которого определяют показатель ее плодородия [1, 2].

Навоз занимает первое место по значимости среди всех видов органических удобрений. Его высокая эффективность доказана многовековой историей применения, а исследования свидетельствуют о разностороннем положительном влиянии на почву и сельскохозяйственные культуры.

В настоящее время принято выделять следующие виды навоза: твердый или подстилочный, полужидкий, жидкий и навозные стоки [3]. Соответственно, в машиностроении существует разделение на машины для внесения твердого, жидкого и полужидкого навоза [4].

В Республике Беларусь в настоящее время ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагроماش» налажен выпуск типоразмерного ряда машин МТУ для внесения твердого навоза грузоподъемностью от 7 до 24 т, жидкого навоза – грузоподъемностью от 6 до 20 т [5].

Следует отметить, что технический уровень машин для внесения твердого навоза довольно высок, они обеспечивают необходимое качество распределения удобрений по полю.

Машины типа МЖТ и МЖУ для внесения жидкого навоза работают по принципу разбрызгивания, что приводит к потере общего аммиака до 90 %. Поэтому в мировой практике такой принцип работы машин уже не используется или используется крайне редко [6].

Машины для внесения полужидкого навоза не выпускаются не только в Беларуси, но и на всем постсоветском пространстве [7]. Ежегодно его накопление в республике составляет около 10 млн тонн, что в структуре производимых органических удобрений занимает около 20 %.

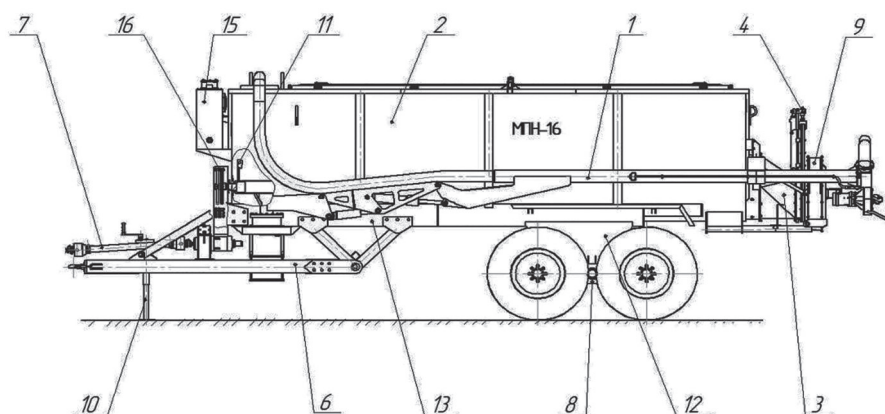
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» создана современная, высокоэффективная самогружающаяся машина для поверхностного внесения полужидкого навоза МПН-16 [8].

Основная часть

Устройство и работа машины МПН-16. Машина (рисунок 1) состоит из тележки балансирной 8, кузова 2, смесителя 11, распределителя 9, штанги загрузочной 1, переходника 3, дозатора 4, снечи 6, гидрооборудования и электрооборудования, системы тормозной.

Тележка балансирная (типа «тандем») состоит из двух продольных балансирных тележек с двумя колесами на каждой, соединенных между собой подрамником 12, который неподвижно соединяется с двумя продольными балками 13, приваренными к кузову. Благодаря шарнирному соединению подрамника с тележками, последние, поворачиваясь в шарнирах, позволяют колесам копировать неровности почвы и равномерно распределять вес машины по почве посредством всех четырех колес. Допустимая нагрузка на одну шину колеса – не более 5500 кг.

Кузов сварной, в нижней части – цилиндрической формы, с вертикальными бортами, верхние грани которых загнуты внутрь кузова – для предотвращения расплескивания полужидкого



1 – штанга; 2 – кузов; 3 – переходник; 4 – дозатор; 5 – ресивер тормозной системы; 6 – сница; 7 – вал карданный; 8 – тележка балансирная; 9 – распределитель; 10 – опора стояночная; 11 – смеситель; 12 – подрамник; 13 – балка; 15 – гидробак; 16 – цепная передача

Рисунок 1. – Схема машины для внесения полужидкого навоза МПН-16 (вид сбоку)

навоза во время его транспортирования и внесения. Снизу к передней части кузова приваривается сница с прицепной серьгой. Внутри кузова расположены перегородки для гашения гидравлических ударов, возникающих при транспортировке полужидкого навоза. Сверху кузов закрывается крышкой, открытие и закрытие которой осуществляется с помощью гидроцилиндра. Оснащение кузова крышкой позволяет производить загрузку машины транспортерами типа ТСН и исключить перелив навоза при движении по неровностям дороги и поля. В передней части кузова (по ходу движения) с левой стороны снаружи приварены консольные кронштейны, на которые устанавливается бак гидросистемы 15, с правой стороны на кронштейнах установлен охладитель масла. К правому борту машины приваривается лестница.

Смеситель предназначен для разрушения комков и поддержания однородной массы полужидкого навоза перед его внесением. Размещается в нижней части кузова и представляет собой трубу, к которой на спицах привариваются пластины, побуждающие массу навоза к перемещению к задней стенке, снаружи которой имеется переходной патрубок с дозирующей заслонкой. Привод смесителя осуществляется от ВОМ трактора посредством цилиндрического редуктора и цепной передачи 16.

Распределитель расположен в задней части машины и предназначен для разбрасывания полужидкого навоза по поверхности поля. Представляет собой ротор с горизонтальной осью вращения, к которому крепятся желобообразные лопатки. В крышке имеется ограниченный по краям рамкой прямоугольный вырез, совпадающий по габаритам с вырезом на дозаторе. Ротор приводится в движение посредством гидромотора. В случае необходимости распределяющее устройство может быть опрокинуто назад, например при экстренной выгрузке материала или для обслуживания и ремонта. Желобообразные лопатки ротора выполнены в виде половинок усеченного конуса, разрезанного по оси и образующего в плоскости разреза прямоугольную трапецию, основания которой перпендикулярны оси последнего. При этом большее основание прикрепляется установочными болтами к стакану ротора, кроме того, к лопаткам приварен фиксатор с возможностью установки его в регулировочные отверстия диска и изменения положения лопаток.

Благодаря такой конструкции, увеличивается выходная скорость навоза и, соответственно, дальность полета частиц, уменьшается степень их дробления и распыления навоза, что значительно снижает потери аммиачного азота при внесении полужидких органических удобрений, повышая эффективность их применения.

Для загрузки навоза из хранилищ используется загрузочная штанга, которая располагается сбоку машины с левой стороны по ходу ее движения и состоит из собственно штанги с насосом, промежуточного гибкого рукава, опоры и трех гидроцилиндров для перевода штанги из транспортного положения в рабочее и наоборот. Благодаря двухшарнирной схеме крепления к опоре,

штанга может поворачиваться в вертикальной плоскости на угол до 74° , что позволяет увеличить глубину ее опускания в хранилище полужидкого навоза. Ее перемещение в этой плоскости осуществляется двумя гидроцилиндрами. Штанга поворачивается в горизонтальной плоскости, то есть вокруг оси опоры, к которой она крепится, также гидроцилиндром. Насос приводится во вращение посредством гидромотора. Промежуточный гибкий рукав с одной стороны соединен со штангой, второй стороной сообщается с кузовом машины. Для предотвращения попадания крупных включений в кузов и полость насоса (во избежание его поломки) на его торце устанавливается упор. На заборной части штанги имеется заслонка, управляемая тягой, позволяющая направлять всасываемый поток навоза в кузов машины либо на выброс в хранилище, а через насадок – для барботаж.

Для обеспечения стабильности дозирования выпускное окно 4 дозатора должно быть выполнено в виде прямоугольника $abcd$ (рисунок 2) с возможностью изменения дозирующей заслонкой 5 проходного сечения вдоль его горизонтальной осевой линии, при этом верхняя сторона cd должна быть расположена на уровне дна кузова, а нижняя сторона ab – не выходить за линию окружности, описываемую концами лопастей распределяющего ротора. Она определяется по выражению:

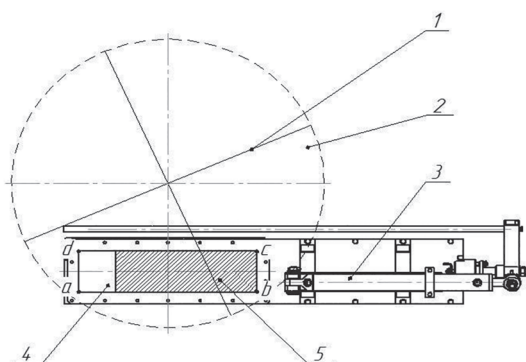
$$ab = \frac{D \cdot B_p \cdot V_p}{3600 \cdot \sqrt{g \cdot H}},$$

где D – максимальная доза внесения навоза, $т/га$; V_p – рабочая скорость машины, $км/ч$; B_p – рабочая ширина захвата машины, $м$; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$; H – высота резервуара машины, $м$.

Установка требуемой дозы внесения навоза в машине при наличии выпускного окна дозатора, выполненного в виде вытянутого по длине прямоугольника $abcd$, будет прямо пропорциональна величине открытия заслонки. Это положительно влияет не только на показатель стабильности распределения полужидкого навоза по мере опорожнения кузова, но и на точность настройки машины на внесение заданной дозы.

Работает машина следующим образом. Тракторист подъезжает к месту загрузки, поднимает заправочную штангу, поворачивает в сторону хранилища и опускает в полужидкую массу. Прежде чем начать загрузку машины, необходимо произвести барботаж навоза, установив заслонку на загрузочной штанге в положение, направляющее поток не в кузов машины, а в барботажную насадку. Такая необходимость возникает потому, что влажность полужидкого навоза на разных участках в навозохранилищах может колебаться в широких пределах ввиду неоднородности находящихся в нем частиц и длительного его накопления. Это приводит к расслоению полужидкого навоза в хранилище. Для более эффективного перемешивания нужно манипулировать загрузочной штангой с опущенным в хранилище насосом, совершая круговые движения или перемещения в разные стороны. Таким способом при необходимости можно довести на определенном участке хранилища полужидкий навоз до однородного, гомогенного состояния, что в дальнейшем облегчит и ускорит его самозагрузку.

В процессе загрузки машины насос одновременно измельчает посторонние включения, возможно находящиеся в навозе (остатки корма, солому и др.). С целью предотвращения расслоения навоза в кузове при остановках или переезде к полю включают подающе-смешивающее устройство, которое поддерживает навоз в однородном, гомогенном состоянии. Прибыв на поле, по настроечной таблице, в зависимости от необходимой дозы внесения на конкретном участке, определяют величину открытия дозирующей заслонки и скорость движения агрегата по



1 – лопасть; 2 – распределитель;
3 – гидроцилиндр; 4 – выгрузное окно;
5 – дозирующая заслонка

Рисунок 2. – Схема расположения
дозатора машины МПН-16

полю. Включают привод разбрасывающего устройства и с началом движения открывают дозирующую заслонку на необходимую величину. Навоз поступает на вращающиеся лопасти ротора и выбрасывается ими в направлении, поперечном продольному движению машины (рисунок 3).



Рисунок 3. – Машина МПН-16 в работе

Результаты приемочных испытаний показали высокое качество распределения полужидкого навоза. Так, неравномерность распределения по рабочей ширине захвата находится в пределах 15–20 %, а по ходу движения – 10 % при дозах внесения 20–60 $t/га$, то есть не превышает агротехнически допустимых показателей – 25 %.

Машину МПН-16 можно использовать не только при внесении полужидкого навоза на поля, но также жидкого навоза, влажность которого выше 92 %. Кроме того, ее можно использовать для послойной укладки навоза в бурты при приготовлении торфосоломонавозных компостов. Путем изменения ширины выгрузного окна распределителя и частоты его вращения можно получить необходимую траекторию полета навоза в компостный бурт.

Техническая характеристика машины приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Техническая характеристика МПН-16

Рабочая скорость, км/ч	6–12
Транспортная скорость, км/ч	до 30
Производительность за час основного времени, т/ч	44,4
Рабочая ширина захвата, м	10
Диапазон доз внесения, $t/га$	20–60
Неравномерность внесения навоза на рабочей ширине захвата, %	15–20
Вместимость кузова, $м^3$	16
Глубина забора навоза при самозагрузке (от опорной поверхности машины), м	3,0
Производительность заправочного устройства, т/ч	190
Масса машины, кг	6350

Заключение

1. Себестоимость механизированных работ при использовании машины МПН-16 составляет 3,94 руб./т (протокол ГУ «Белорусская МИС» от 04.09.2014 г. № 095Б1/2–2014ИЦ).

2. Конструкторская документация на машину МПН-16 передана ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» для освоения производства.

Литература

1. Методические указания по учету и применению органических удобрений / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, РУП «Институт почвоведения и агрохимии»; сост.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск: БНИВНФХ в АПК, 2007. – 16 с.

2. Рекомендации по применению различных видов органических удобрений под сельскохозяйственные культуры / В.В. Лапа [и др.]; Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 40 с.

3 Справочная книга по производству и применению органических удобрений / А. И. Еськов [и др.]. – Владимир: ВНИПТИОУ, 2001. – С. 30–37.

4. Степук, Л. Я. Производство и применение органических удобрений: технологии, техника, экология / Л. Я. Степук, А. Е. Пешко. – Минск: НППЦ НАН Беларуси по мех. сельск. хозяйства, 2016. – С. 108–209.

5. Степук, Л. Я. Построение машин химизации земледелия / Л. Я. Степук, А. А. Жешко; Нац. акад. наук. Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по мех. сельск. хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 443 с.

6. Попробуйте органику. Современные технологии внесения в почву отходов животноводства // Новое сельское хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 58–60.

7. Гусаков, В. Ресурс земли. Система мер по сохранению и повышению плодородия почв и масштабному применению системы сберегающего точного земледелия / В. Гусаков, В. Павловский // Белорусская нива. – 2010. – 22 сентября. – С. 7; 23 сентября. – С. 5.

8. Протокол приемочных испытаний машины для внесения полужидкого навоза МПН-16 ГУ «Белорусская МИС» от 04.09.2014 г. № 095Б1/2–2014ИЦ. – Привольный, 2014.

УДК 631.22.018

Поступила в редакцию 18.09.2018

Received 18.09.2018

И. И. Скорб¹, А. М. Волк²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: igor.bgatu@mail.ru

²УО «Белорусский государственный технологический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ НА ГОМОГЕНИЗАЦИЮ ЖИДКОГО НАВОЗА МЕШАЛКОЙ С ЛОПАСТНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

В результате теоретических исследований получено уравнение, позволяющее определить мощность, потребляемую мешалкой с лопастным рабочим органом при гомогенизации жидкого навоза, с учетом типа рабочего органа, его геометрических параметров и физико-механических свойств гомогенизируемой среды.

Ключевые слова: навоз, гомогенизация, мешалка, лопасть.

I. I. Skorb¹, A. M. Volk²

¹Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: igor.bgatu@mail.ru

²Educational Establishment «Belarusian State Technological University»

Minsk, Republic of Belarus

DETERMINING THE CONSUMPTION CAPACITY FOR HOMOGENIZATION OF LIQUID FERTILIZER WITH A MIXER WITH A PUNCTURE WORKING BODY

Theoretical studies obtained an equation that allows to determine the power consumed by a stirrer with a blade working body during the homogenization of liquid manure, taking into account the type of working element, its geometric parameters and the physical and mechanical properties of the homogenized substance.

Keywords: manure, homogenization, agitator, blade.

Введение

В настоящее время для перемешивания жидкого навоза известны тихоходные или быстроходные механические, гидравлические и пневматические мешалки. Процессы перемешивания жидкого навоза тихоходными механическими или гидравлическими мешалками в нашей стране изучали Е. Н. Азимова, Н. М. Марченко, И. И. Кузьменко; за рубежом – Р. Зинке, К. Холл и другие авторы [1]. Применение гидравлических и пневматических мешалок затруднено, так как необходимо строить дорогостоящие насосные или компрессорные станции, а также создаются антисанитарные, неприятные условия для обслуживающего персонала. Такими мешалками прак-

тически невозможно перемешивать навоз в каналах гидравлических систем. По этим причинам преимущества имеют мобильные быстроходные лопастные механические мешалки, которые могут не только перемешивать расслоившийся жидкий навоз, но и измельчать крупные твердые комки, находящиеся в нем.

Необходимой предпосылкой к созданию высокоэффективных и надежных перемешивающих устройств для гомогенизации расслоившегося жидкого навоза в каналах гидравлических систем являются теоретические и экспериментальные исследования и обоснование параметров рабочих органов мешалок.

Основная часть

Основные геометрические размеры лопастных мешалок – диаметр и ширина лопасти.

Так как минимальная глубина навозного канала 0,6 м, принимаем максимальный диаметр лопастной мешалки 0,5 м, чтобы не повредить внутренние стенки канала и рабочий орган мешалки.

Ширину лопасти мешалки принимают исходя из выражения [2]:

$$l = 0,25D. \quad (1)$$

Тогда минимальная ширина лопасти мешалки $l = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125$ м.

Так как расслоившийся жидкий навоз классифицируется как неньютоновская система со сложными нестационарными реологическими свойствами, представляет собой многофазную систему (плотный осадок и жидкая фракция), то для увеличения поверхности межфазного контакта, уменьшения кавитации и достижения требуемого потока, развиваемого мешалкой, используем лопастную мешалку с расширяющимися лопастями в форме сектора. Тогда длина внешней кромки лопасти $L_k = 0,2$ м, длина внутренней кромки лопасти $l = 0,125$ м.

Исходя из выбранных параметров лопасти, определим затраты мощности на преодоление сил сопротивления при вращении лопастной мешалки. Пусть лопасть мешалки симметрична, OO_1 – ее ось симметрии (рисунок 1), а сама лопасть поставлена под углом α к плоскости, перпендикулярной оси мешалки. Пусть длина внешней кромки лопасти равна L_k , а длина ее внутренней кромки, то есть части лопасти, примыкающей к ступице, равна l . Пусть также внутренняя кромка отстоит от центра вращения O на расстояние e , а внешняя кромка отстоит от внутренней на расстояние u .

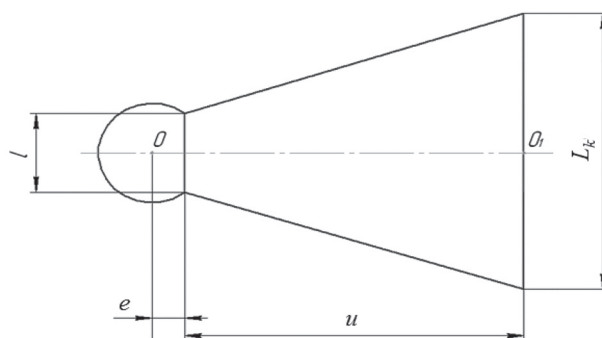


Рисунок 1. – Схема лопасти мешалки

Примем за начало координат центр вращения мешалки и направим ось Ox вдоль оси симметрии лопасти (рисунок 2). Найдем уравнение прямой $y = kx + c$, содержащей боковую часть лопасти.

В силу принятых обозначений и выбора осей координат эта прямая проходит через точки $(e, l/2)$ и $(e+u, L_k/2)$, а значит, ее уравнение:

$$\frac{y - l/2}{L_k/2 - l/2} = \frac{x - e}{(e+u) - e},$$

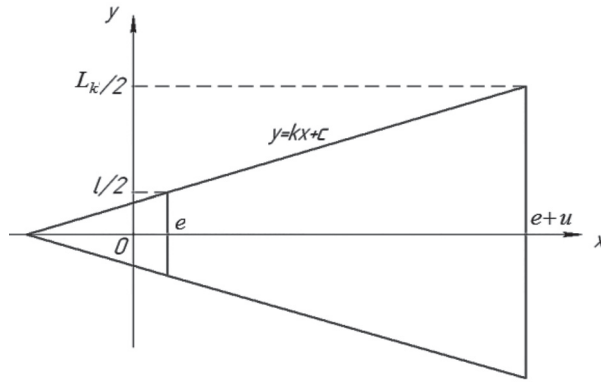


Рисунок 2. – К расчету потребной мощности на гомогенизацию

то есть

$$y - l/2 = \frac{(L_k - l)(x - e)}{2u}, \quad \text{то есть} \quad y = \frac{L_k - l}{2u}(x - e) + \frac{l}{2}. \quad (2)$$

Для определения затрат мощности на преодоление сил сопротивления вращения в жидкости лопасти мешалки возьмем на ней элементарную площадку $dS = 2L_k(x)dx$ (рисунок 3).

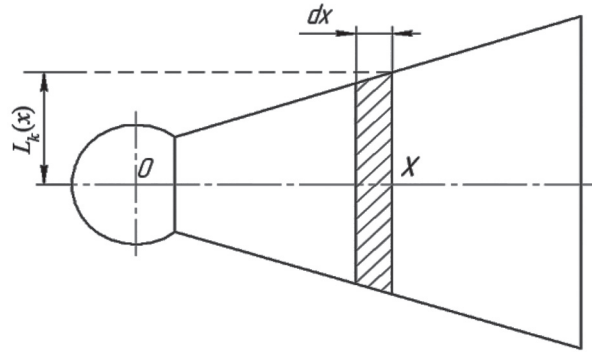


Рисунок 3. – Элементарная площадка на лопасти мешалки

В силу (2)

$$L_k(x) = \frac{L_k - l}{2u}(x - e) + \frac{l}{2},$$

то есть

$$dS = \left(\frac{L_k - l}{u}(x - e) + l \right) dx. \quad (3)$$

Так как лопасть поставлена под углом α к плоскости, перпендикулярной оси мешалки, то проекция dS_1 элементарной площадки будет равна:

$$dS_1 = \sin \alpha dS,$$

то есть вследствие (3) равна:

$$dS_1 = \left(\frac{L_k - l}{u}(x - e) + l \right) \sin \alpha dx. \quad (4)$$

Тогда элементарная сила сопротивления dF для этой площадки в силу (4) равна:

$$dF = k_{уд.} dS_1 = k_{уд.} \left(\frac{L_k - l}{u}(x - e) + l \right) \sin \alpha dx,$$

где $k_{уд.}$ – удельное сопротивление движению в рассматриваемой жидкости, H/m^2 .

Элементарный момент dM сопротивления вращению этой элементарной площадки равен:

$$dM = k_{уд.} x dF = k_{уд.} \left(\frac{L_k - l}{u} (x - e) + l \right) x \sin \alpha dx. \quad (5)$$

Суммарный момент M сопротивления равен интегралу от e до u от дифференциала (5), т. е. равен:

$$\begin{aligned} M &= \int_e^u dM = k_{уд.} \int_e^u x dF = k_{уд.} \sin \alpha \int_e^u \left(\frac{L_k - l}{u} (x - e) + l \right) x dx = \\ &= k_{уд.} \sin \alpha \int_e^u \left(\frac{L_k - l}{u} x^2 + \frac{l(e + u) - eL_k}{u} x \right) dx = \\ &= k_{уд.} \sin \alpha \left(\frac{L_k - l}{u} \cdot \frac{x^3}{3} \Big|_e^u + \frac{l(e + u) - eL_k}{u} \cdot \frac{x^2}{2} \Big|_e^u \right) = \\ &= k_{уд.} \sin \alpha \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e + u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Работа A сил сопротивления при вращательном движении при одном обороте ($\beta = 2\pi$) лопасти равна произведению момента сил относительно оси вращения на угол поворота, то есть равна:

$$A = 2\pi M = 2\pi k_{уд.} \sin \alpha \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e + u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right). \quad (7)$$

Затраты мощности N_1 на перемещение одной лопасти в жидкости составят:

$$N_1 = \frac{A\omega}{2\pi} = k_{уд.} \omega \sin \alpha \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e + u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right), \quad (8)$$

где ω – частота вращения мешалки, мин^{-1} .

Для мешалки с z лопастями затраты N мощности равны:

$$N = N_1 z = k_{уд.} \omega z \sin \alpha \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e + u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right). \quad (9)$$

Из уравнения видно, что мощность, затрачиваемая на перемещение лопастной мешалки в жидком навозе, зависит от геометрических параметров рабочего органа, физико-механических свойств навоза, частоты вращения рабочего органа.

Заключение

При выполнении технологического процесса гомогенизации жидкого расслоившегося навоза на перемещение лопастной мешалки в навозной массе затрачивается определенная мощность, величина которой главным образом зависит от геометрических параметров мешалки.

Литература

1. Марченко, Н. М. Механизация внесения органических удобрений / Н. М. Марченко, Г. И. Личман, А. Е. Шабалин. – М.: Агропромиздат, 1980. – 207 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1961. – 832 с.

Н. Ф. Капустин, Л. Ж. Кострома

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

SWOT-АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ ПРОЕКТА «ПОДКИСЛЕНИЕ ЖИДКОГО НАВОЗА В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ»

В статье представлены результаты расчетов эмиссии аммиачного азота из ежегодно образующегося в сельскохозяйственном производстве Беларуси жидкого навоза крупного рогатого скота, свиней и куриного помета. Определены объемы снижения потерь аммиачного азота за счет применения технологий подкисления жидкого навоза (Slurry acidification Technology – SAT) в животноводческих помещениях, хранилищах и при его внесении на поля в качестве удобрений. С учетом технологических, экологических и экономических аспектов данных технологий проведен SWOT-анализ проекта подкисления жидкого навоза в сельскохозяйственном производстве Беларуси.

Ключевые слова: жидкий навоз, потери аммиачного азота, подкисление, SWOT-анализ.

N. F. Kapustin, L. J. Kostroma

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: npcter@yandex.ru*

SWOT ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION IN BELARUS OF THE «BALTIC SLURRY ACIDIFICATION» PROJECT

The article presents the results of calculations of ammonia nitrogen emissions from cattle and pigs slurry and chicken manure produced annually in the agricultural production of Belarus. To determine the level of reduction in losses of ammonia nitrogen due to using in-house, in-storage and in-field Slurry Acidification Technology (SAT). Taking into account the technological, environmental and economic aspects of these technologies, the SWOT analysis of the Baltic Slurry Acidification project in the agricultural production of Belarus was carried out.

Keywords: slurry, ammonia nitrogen losses, acidification, SWOT analysis.

Введение

В процессе производства животноводческой продукции образуется органическое удобрение, насыщенное аммиачным азотом. Его испарение отрицательно влияет на окружающую среду, вызывая коррозию конструкций животноводческих помещений и применяемого в них технологического оборудования, а также снижает удобрительную ценность навоза за счет потери части азота.

Один из методов решения этой проблемы – применение технологий подкисления навоза в местах его образования, хранения и при внесении на поля в качестве удобрения. Реализация этих технологий осуществляется в рамках Европейского проекта «Подкисление жидкого навоза в регионе Балтийского моря», в котором РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» участвует в качестве ассоциированного члена.

Для оценки применения технологий подкисления жидкого навоза с целью сокращения потерь аммиачного азота в сельскохозяйственном производстве Беларуси проведен соответствующий SWOT-анализ проекта с точки зрения его эффективности.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись технологии и средства механизации, применяемые при подкислении жидкого навоза крупного рогатого скота, свиней и куриного помета в животноводческих помещениях, хранилищах и при его внесении на поля в качестве удобрений. В качестве метода исследований использовали SWOT-анализ реализации проекта подкисления.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены расчеты эмиссии аммиачного азота из жидкого навоза крупного рогатого скота, свиней и куриного помета и ее сокращение в результате применения технологий SAT в животноводческих помещениях, хранилищах навоза и при внесении навоза на поля.

Таблица 1. – Сокращение потерь аммиачного азота при подкислении жидкого навоза животных в местах его образования, хранения и внесения на поля

Вид навоза	Количество, млн <i>t/год</i>	Естественная влажность, %	Содержание общего азота на естественную влажность		Эмиссия аммиачного азота		Снижение потерь аммиачного азота		
			%	<i>m</i>	%	<i>m</i>	%	<i>m</i>	
Навоз крупного рогатого скота	33	88	0,31	102 300	10	10 230	50	5 115	В помещении
					7	7 160	75	5 370	В хранилище
					16	17 008	49	8 333	В поле
					Всего	34 389	Всего	18 818	
Навоз свиной	4,3	90	0,5	21 500	14	3 010	64	1 926	В помещении
					10	2 150	52	1 118	В хранилище
					12	2 580	40	1 032	В поле
					Всего	7 740	Всего	4 076	
Помет куриный, разбавленный водой	0,3	92	0,37	1 110	13	144	45	65	В помещении
					9	100	63	63	В хранилище
					11	121	54	65,3	В поле
					Всего	365	Всего	183,3	
Всего	37,6			124 910		42 503		23 087,3	

SWOT-анализ проекта по реализации в Беларуси технологий подкисления жидкого навоза начинается с составления матрицы, классический вид которой представлен в таблице 2.

Таблица 2. – Матрица SWOT-анализа

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
Внутренняя среда	<u>Strengths</u> (сильные стороны проекта) Свойства проекта, дающие преимущества перед другими	<u>Weaknesses</u> (слабые стороны проекта) Свойства, ослабляющие проект
Внешняя среда	<u>Opportunities</u> (возможности) Внешние факторы, дающие дополнительные возможности по достижению цели	<u>Threats</u> (угрозы) Внешние факторы, осложняющие достижение цели

Изучение возможности реализации проекта подкисления жидкого навоза в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь позволило конкретизировать SWOT-элементы матрицы следующим образом.

Сильные стороны проекта (Strengths):

1. Потенциал Беларуси для использования шлама подкисления составляет 37,6 млн *t/год*. Реалистичный потенциал реализации технологий SAT оценивается для республики в 14,3 млн *t* суспензии в год.

2. В Беларуси осуществляется крупнотоварное промышленное производство животноводческой продукции, которое отличается большой плотностью животных в местах их содержания. Это обуславливает спрос на инновационные технологии в области охраны окружающей среды.

Слабые стороны проекта (Weaknesses):

1. Для реализации технологий SAT потребуется 708 установок, в том числе: 307 – для животноводческих помещений; 161 – для хранилищ; 240 – для внесения на поля.

2. Требуемые инвестиции для SAT-установок оцениваются в 91,1 млн €, а ежегодные эксплуатационные расходы составят 13,2 млн €.

3. В Беларуси не существует обязательного требования по наличию покрытия в резервуарах для хранения жидкого шлама.

4. Белорусские сельхозпроизводители слабо информированы об эффективности технологий SAT и не имеют примера их практического использования.

5. В Беларуси отсутствуют административные и финансовые стимулы для сокращения выбросов аммиака (Беларусь не ратифицировала Гетеборгский протокол).

6. Высокая банковская кредитная ставка (до 11 %) сдерживает реализацию инвестиционных проектов, в том числе и SAT.

Возможности проекта (Opportunities):

1. Подкисление 14,3 млн *t* взвешенной суспензии позволит Беларуси сократить выбросы аммиака на 10 200 *t*, что соответствует обязательству по их сокращению с 136 000 *t* в 2017 г. до 126 000 *t* к 2020 г. (поправка к Гетеборгскому протоколу, 2012 г.)

2. Возможное сокращение сброса в поверхностные водные объекты Беларуси – до 5 600 тонн азота в год при его атмосферном осаждении.

3. Ежегодный потенциал сокращения выбросов парниковых газов при использовании технологий SAT в Беларуси может составить 1430 тонн в эквиваленте CO₂.

4. Использование технологий SAT сельхозпроизводителями Беларуси может быть обеспечено за счет административного регулирования и финансовых стимулов.

Угрозы (риски) для проекта (Threats):

1. В обозримом будущем не планируется принятия международных требований, которые сделали бы использование технологий SAT для обеспечения чистого воздуха и воды рентабельными и конкурентоспособными в агропродовольственном секторе.

2. Возможно снижение поголовья скота за счет повышения продуктивности животных.

3. Консервативное отношение сельхозпроизводителей Беларуси к инновациям, связанным с повышенными требованиями по охране труда (работа с кислотой).

Заключение

1. В настоящее время в связи с отсутствием в Беларуси финансовых стимулов по сокращению выбросов аммиака, в том числе и в сфере здравоохранения, трудно рекомендовать сельхозпроизводителям Республики применение технологий SAT.

2. В то же время при применении SAT возможно ежегодное сокращение выбросов 10 200 *t* аммиака, что при ратификации Республикой Беларусь Гетеборгского протокола позволит достигнуть требуемого к 2020 году уровня их сокращения.

Кроме того, если в Беларуси будет введено финансовое стимулирование к сокращению выбросов аммиака, аналогичное существующему в сфере здравоохранения Польши (10 €/кг), то годовой экономический эффект мог бы составить 102 млн €.

3. В связи с этим применение технологий SAT в Беларуси имеет определенную перспективу.

Литература

1. Дженстер, П. Анализ сильных и слабых сторон компании: определение стратегических возможностей / П. Дженстер, Д. Хасси; пер. с англ. О. Л. Пелявского. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 364 с.

2. Учитель, Ю. Г. SWOT-анализ и синтез – основа формирования стратегии организации / Ю. Г. Учитель, М. Ю. Учитель. – М.: Либроком, 2011. – 328 с.

К. А. Кравченко*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»**г. Минск, Республика Беларусь**e-mail: labmkr@yandex.ru***КАК ЧИСТЯТ МЕЛИОРАТИВНЫЕ КАНАЛЫ ЗА РУБЕЖОМ**

В статье описана техника для очистки и защиты мелиоративных каналов и открытых водоемов от за-растания сорной растительностью, активно используемая в зарубежных странах с развитой сетью мелиоративных каналов. Актуализирована потребность Республики Беларусь в создании каналоочистительных машин, совершенствовании их рабочих органов и поддержании мелиоративной инфраструктуры в работоспособном состоянии.

Ключевые слова: каналоочистительная техника, мелиорация, водно-болотные угодья, ротор, лодка-косилка.

К. А. Kravchenin*RUE «SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization»**Minsk, Republik of Belarus**e-mail: labmkr@yandex.ru***HOW TO CLEAN THE MELIORATIVE CHANNELS ABROAD**

The article describes the technique for cleaning and protecting meliorative canals and open reservoirs from overgrowing weed vegetation, used in foreign countries with a developed network of reclamation channels. Actualized the need for the Republic of Belarus in creating cleaning machines, improving their working bodies and maintain reclamation infrastructure in working order.

Keywords: canal cleaning equipment, land reclamation, wetlands, rotor, boat-mower.

Введение

Основное отличие мелиорации от других мероприятий, связанных с улучшением земель и повышением плодородия почв, – длительность ее действия. Поэтому о мелиорации говорят как о «коренной», «прочной», «капитальной», в отличие от таких приемов, как вспашка, боронование, текущая планировка поля и т. п., требующих ежегодного повторения. Например, осушительные системы всегда обеспечивают отвод избытка воды с осушаемой территории. Оросительные системы – долговременные сооружения, они подводят воду к полям в необходимом объеме и дают возможность поливать сельскохозяйственные культуры в нужные сроки. Агротехническая и лесотехническая мелиорация также положительно влияет на почвы и природные условия земель в течение длительного времени.

К началу XIX в. мировая площадь орошаемых земель составила 8 млн га, крупное ирригационное строительство велось в Индии, Египте, США, Италии. К началу XX в. в мире орошалось уже 48 млн га и осушалось около 20 млн га [1].

С XX в. процесс мелиорации характерен для развития сельского хозяйства на всем земном шаре. В 50-х гг. в мире орошалось около 121 млн га, а к 1972 г. – более 225 млн га. Наибольшие площади орошения в Азии – более 150 млн га (без учета стран СНГ) [1]. На Американском континенте орошается 28 млн га: в США – 19,7 млн га (20,3 %), Мексике – 4 млн га (22 %), Чили – 1,3 млн га (46,2 %), Аргентине – 1,15 млн га (4 %), Перу – 1,08 млн га (5,5 %), Канаде – 627 тыс. га (2,5 %). В Африке орошается около 7 млн га, в Египте – 2,9 млн га (вся обрабатываемая площадь). В Европе орошение развито главным образом в странах Средиземноморья: в Италии 3,15 млн га орошаемых земель (11,4 %); в Испании – 2,3 млн га (11,4 %), намечается строительство оросительных систем на 1,2 млн га. В Австралии орошаемые земли занимают 1,27 млн га (9,1 %), здесь развитие мелиорации сдерживается ограниченностью водных ресурсов.

В Республике Беларусь площади сельхозугодий составляют около 8,99 млн га [2]. Из них около 2,9 млн га – земли, подвергнутые осушению, в числе которых польдерных – 250 тыс. га, земель, охваченных осушительно-увлажнительными системами, – более 700 тыс. га, а орошаемых земель – около 30 тыс. га. На мелиорированных землях имеется до 800 тыс. км коллекторно-дренажной сети, 170 тыс. км каналов и водоприемников, 3,3 тыс. мостов, 1074 пруда и водохранилища, 4770 защитных и ограждающих дамб, свыше 10 тыс. км дамб и дорог. Также не следует забывать и об очистке естественных водоемов, окашивание берегов которых также является важным культуртехническим мероприятием.

Одним из ключевых направлений принятой Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, подпрограмма 8 «Сохранение и использование мелиорированных земель», является повышение энергоэффективности каналоочистительной техники. В связи с чем особую актуальность приобретают разработка и освоение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий выполнения эксплуатационных и профилактических работ для обеспечения максимального срока службы мелиоративных каналов.

Основная часть

Для современного этапа развития мелиорации характерен охват ею земельных массивов в десятки и сотни тысяч гектаров. В этих условиях возрастает значение научно обоснованного выбора комплекса мелиоративных мероприятий, не вызывающих отрицательных воздействий на природу и природные ресурсы.

На сегодняшний день осушительная мелиорация наиболее развита в США, Канаде, Индии, Венгрии, Польше, Японии, Великобритании и Нидерландах. Мировая площадь осушаемых земель – более 100 млн га (1971 г.). Среди крупных зарубежных фирм-производителей техники для очистки мелиоративных каналов можно выделить следующие: Nemos, Rolmex, Bomford, Sperhead, Hurricane, McConnell, GreenTec, Herder. В Беларуси подобная техника выпускается Мозырским и Кохановским машиностроительными заводами, однако они производят косилки-измельчители, очищающие исключительно откосы каналов, и каналоочистители с роторным рабочим органом, которые способны удалить сорную растительность лишь со дна небольших мелиоративных каналов и придорожных канав. Стоит отметить, что технология обслуживания и ремонта техники для очистки мелиоративных каналов, вид назначаемых машин зависят, помимо прочего, от крепления откосов, их назначения и размеров. В зоне осушения обычно строятся каналы следующих размеров (таблица 1) [3]. Каналы каждого типоразмера должны обслуживаться наиболее подходящей для них техникой. Кроме того, есть машины, предназначенные лишь для окашивания откосов каналов, другие специализируются на очистке исключительно дна, а комплексные выполняют обе операции.

Таблица 1. – Размеры каналов зоны осушения

Вид каналов	Глубина, м		Ширина по дну, м	Коэффициент заложения откосов
	минимальная	максимальная		
Осушители	1,0	1,7	0,2	0,5...1,5
Коллекторные	1,3	2,5	0,4	1...2
Магистральные	1,7	3,5	0,6 и более	1...2,5

Роторные каналоочистители (рисунок 1, 2), как правило, являются навесными, включают в себя стреловое оборудование и ротор, с ножами и отбрасывающими лопатками. Такая техника предназначена для очистки небольших каналов, широко распространена и имеет высокую производительность. Диаметр рабочего органа подобных каналоочистителей обычно составляет 60–80 см, чистят они только дно каналов, отбрасывая скошенную сорную растительность и ил через регулируемый кожух на берму [4].



Рисунок 1. – Роторный каналочиститель Roldemex ditch cleaner PR80 (Польша)



Рисунок 2. – Роторные рабочие органы каналочистителей: (а) GreenTec GR 70 (Дания);
(б) Bomford RD (Англия); (в) Spearhead DC (Англия)

Каналочистители фирмы Hurricane (рисунок 3) имеют схожий рабочий орган, основным отличием которого является прочность и надежность конструкции [5]. Такие каналочистители применяют на участках, где мелиоративные каналы заросли плотным кустарником и молодыми деревьями. Даже встреча с камнями не станет для него причиной поломки. Диаметр ротора по концам режущих кромок Hurricane Original Side Arm Ditcher составляет 110 см, что позволяет машине очищать каналы малых и средних размеров.



Рисунок 3. – Каналочиститель Hurricane Original Side Arm Ditcher (США)

Каналоочиститель Nemos 1600ST (рисунок 4) также отлично справляется с плотным кустарником и небольшими деревьями, но, помимо прочего, при помощи установленной фрезы качественно очищает один из откосов канала [6]. Среди недостатков данной конструкции можно отметить то, что убранная и измельченная сорная растительность останется на откосе канала. Однако нередко откосы каналов очищают косилками-измельчителями, которые также оставляют измельченные остатки сорной растительности на откосе. На случай забивания дробилки Nemos 1600ST камнями предусмотрен предохранитель.



Рисунок 4. – Каналоочиститель фрезерный с дробилкой Nemos 1600ST (Нидерланды)

Еще одним популярным инструментом для очистки мелиоративных каналов является специализированный ковш (рисунок 5, 6). Некоторые мелиоративные ковши оборудованы сегментно-пальцевыми косилками, которые подрезают корни водной растительности. Такой машиной можно чистить как дно, так и откосы каналов практически любых размеров, кроме дна магистральных. У данного рабочего органа также есть свои недостатки. Мелиоративным ковшом невозможно удалить ил со дна, кроме того, от механизатора потребуются точная координация действий, чтобы не повредить профиль канала. Такие ковши лучше применять на участках, где очистка каналов проводится регулярно, так как есть риск повредить ножи при удалении плотного кустарника или древесных остатков.



Рисунок 5. – Ковш Herder MRZT 4,3 (Нидерланды)



Рисунок 6. – Каналоочистители со специализированными ковшами

В промышленном институте сельскохозяйственных машин Познани был создан прототип многоцелевого устройства для очистки каналов (рисунок 7, 8). Машину можно оборудовать пятью навесными устройствами, она способна очищать как дно, так и откосы каналов любых типов-размеров. Машина отличается высокой проходимостью и, благодаря трехточечному колесному шасси и складывающимся боковым рамам, способна огибать практически любые препятствия. Единственный недостаток этой машины заключается в ее узкой специализации.



Рисунок 7. – Прототип мелиоративного комбайна в канале



Рисунок 8. – Прототип мелиоративного комбайна в транспортном положении

Для очистки открытых водоемов, а также крупных магистральных каналов используется плавучая техника, например: лодка-комбайн Berku 6520 (рисунок 9), многофункциональная самодвижущаяся установка Truxor DM 5000 (рисунок 10). Обе машины способны перемещаться как по воде, так и по болотистой местности, благодаря имеющемуся гусеничному ходу.

При движении лодки-комбайна Berku 6520 по водной поверхности П-образный рабочий орган срезает растительность двумя вертикальными и горизонтальным активными режущими брусками с сегментными режущими аппаратами [7]. Также лодка-комбайн имеет накопительный бункер емкостью 15 м³, предназначенный для транспортировки на берег скошенной сорной растительности.

Благодаря особой конструкции скребковых гусениц и небольшой массе, Truxor DM 5000 обладает высокой проходимостью и способен передвигаться даже по заболоченной местности [8]. Машина может быть оснащена различным навесным оборудованием: камышекосилкой, граблями, экскаватором, земснарядами, оборудованием для очистки разливов нефтепродуктов, дробилкой для древесных отходов, мульчером, забойщиком свай.



Рисунок 9. – Лодка-комбайн Berky 6520 (США)



Рисунок 10. – Многофункциональная самодвижущаяся установка Truxor DM 5000 (Швеция)

Заключение

В настоящее время осушительная мелиорация наиболее развита в США, Канаде, Великобритании, Польше, Нидерландах, Германии. Среди крупных зарубежных фирм-производителей техники для очистки мелиоративных каналов можно выделить следующие: Nemos, Rolmex, Bomford, Sperhead, Hurricane, MacConnel, GreenTec, Herder. В Беларуси подобная техника выпускается Мозырским и Кохановским машиностроительными заводами, однако они производят косилки-измельчители, очищающие исключительно откосы каналов, и каналоочистители с роторным рабочим органом, которые способны удалить сорную растительность лишь со дна небольших мелиоративных каналов и придорожных канав. Для поддержания полноценного функционирования мелиоративной сети Республики Беларусь необходимо расширять номенклатуру каналоочистительной техники, способной очищать каналы и открытые водоемы всех типоразмеров.

Литература

1. Мелиорация: краткий курс лекций / Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова. Кафедра «Земледелие, мелиорация и агрохимия». – Саратов, 2016. – 83 с.
2. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2010 г., № 1262): офиц. изд. – Минск, 2011.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: учебник / Н. И. Кленин, В. Г. Егоров. – М.: Колос С, 2003. – 464 с.
4. Rolmex [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rolmex.com.pl/index.php?lng=en&show=pelny&id=80>. – Дата доступа: 12.06.2018.
5. The Original Side Arm // Hurricane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hurricane-ditcher.com/products/original-side-arm/>. – Дата доступа: 12.06.2018.
6. Nemos [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hemos.nl/Producten/Slootreinigers>. – Дата доступа: 12.06.2018.
7. Small Weed harvester model 6520 // Berky [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.berky.de/486-Small-Weed-harvester-model-6520.html>. – Дата доступа: 12.06.2018.
8. Амфибии Truxor (Труксор) // Truxor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://truxor.ru/amfibii-truxor/>. – Дата доступа: 12.06.2018.

А. Н. Смирнов, П. В. Авраменко, А. Г. Вабищевич*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь***ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА ПОГРУЗЧИКА
С ПОЗИЦИИ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ**

В статье предложена методика расчета рационального режима совместной работы двигателя и гидропривода погрузчика с позиции топливной экономичности.

Ключевые слова: погрузчик, двигатель, гидропривод, насос, гидроцилиндр, квадратичные потери давления, удельный эффективный расход топлива.

A. N. Smirnov, P. V. Avramenko, A. G. Vabishevich*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus*

The article presents methods of calculating rational joint work engine and hydraulic drive loader with position fuel saving.

Keywords: loader, engine, hydraulic drive, pump, hydrocylinder, quadratic loss pressure, specific effective consumption fuel.

Введение

В различных отраслях находят широкое применение одноковшовые погрузчики, предназначенные для погрузки и транспортирования сыпучих и кусковых материалов, а при установке сменного рабочего оборудования – для выполнения ряда других работ [1].

В современных конструкциях фронтального погрузочного оборудования исключительное применение имеет гидравлическое управление, обеспечивающее простоту привода, высокие силовые параметры и долговечность.

В настоящее время актуальной является задача энергосбережения, поэтому при проектировании и эксплуатации подъемно-транспортных машин следует уделять большое внимание выбору рациональных параметров и режимов работы, обеспечивающих максимальное снижение их энергоемкости.

Рассмотрим вопрос выбора рационального режима совместной работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с гидроприводом погрузчика с позиции топливной экономичности при подъеме стрелы с грузом в ковше, так как этот процесс является циклическим и достаточно энергоемким.

Основная часть

Мощность, развиваемая насосом рабочего оборудования, кВт:

$$N_H = P_H Q_H, \quad (1)$$

где P_H – давление на выходе насоса, кПа; Q_H – подача насоса, м³/с;

$$P_H = z F_{ш} / f_{п} \eta_{мп} + \Sigma P_{пот}, \quad (2)$$

где z – число гидроцилиндров подъема стрелы; $F_{ш}$ – усилие на штоке гидроцилиндра от веса погрузочного оборудования с грузом в ковше, кН (для упрощения расчетов принимаем $F_{ш} = \text{const}$, равное его среднему значению за время подъема стрелы); $f_{п}$ – площадь поршневой

полости гидроцилиндра, м^2 ; $\eta_{\text{мц}}$ – механический КПД гидроцилиндра; $P_{\text{пот}}$ – суммарные потери давления от насоса к гидроцилиндрам, кПа :

$$P_{\text{пот}} = \sum (P_{\text{дi}} + P_{\text{ми}}),$$

где $P_{\text{дi}}$, $P_{\text{ми}}$ – соответственно потери давления по длине и в местных сопротивлениях на i -ом участке трубопровода, кПа ;

$$P_{\text{дi}} = \lambda_i \rho l_i V_i^2 / 2 d_i;$$

$$P_{\text{ми}} = \zeta_i \rho V_i^2 / 2,$$

где λ_i , ζ_i – соответственно коэффициенты гидравлического трения и местных потерь i -го участка трубопровода; ρ – плотность рабочей жидкости (РЖ), $\text{кг}/\text{м}^3$; l_i , d_i – соответственно длина и диаметр i -го участка, м .

Тогда

$$P_{\text{пот}} = \sum \rho (\lambda_i l_i V_i^2 / d_i + \zeta_i V_i^2) / 2.$$

Потери давления $P_{\text{пот}}$ составляют до 20 % от $P_{\text{н}}$ при номинальной подаче насоса в гидроприводах погрузчиков.

Для упрощения расчетов принимаем $\lambda_i = \lambda = \text{const}$ и $d_i = d = \text{const}$ для трубопроводов от насоса к стреловым гидроцилиндрам.

Тогда

$$P_{\text{пот}} = \rho (\lambda \sum l_i / d + \sum \zeta_i) V_{\text{ТР}}^2 / 2, \quad (3)$$

где $V_{\text{ТР}}$ – средняя скорость течения РЖ в трубопроводах, $\text{м}/\text{с}$.

Обозначим

$$\rho (\lambda \sum l_i / d + \sum \zeta_i) / 2 = k = \text{const}. \quad (4)$$

Учитывая (3) и (4), получим

$$P_{\text{пот}} = k V_{\text{ТР}}^2, \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

$$V_{\text{ТР}} = Q_{\text{н}} / f_{\text{ТР}} = 4 Q_{\text{н}} / \pi d^2, \quad (6)$$

где $f_{\text{ТР}}$ – площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 .

Подставляя (5) в выражение (2) и учитывая (6), получим:

$$P_{\text{н}} = z F_{\text{ш}} / f_{\text{п}} \eta_{\text{мц}} + 16 k Q_{\text{н}}^2 / \pi^2 d^4. \quad (7)$$

Подача регулируемого насоса равна, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q_{\text{н}} = e V_{\text{н}} n_{\text{н}} \eta_{\text{он}} / 60,$$

где e – параметр регулирования; $V_{\text{н}}$ – текущий рабочий объем насоса, $\text{м}^3/\text{об.}$; $n_{\text{н}}$ – частота вращения насоса, мин^{-1} ; $\eta_{\text{он}}$ – объемный КПД;

$$n_{\text{н}} = n_{\text{д}} / i_{\text{р}}, \text{ мин}^{-1},$$

где $n_{\text{д}}$ – число оборотов ДВС, мин^{-1} ; $i_{\text{р}}$ – передаточное число редуктора привода насоса.

Тогда

$$Q_{\text{н}} = e V_{\text{н}} n_{\text{д}} \eta_{\text{он}} / 60 i_{\text{р}}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Обозначим

$$e V_{\text{н}} \eta_{\text{он}} / 60 i_{\text{р}} = \kappa_1 = \text{const} \text{ при } e = \text{const}.$$

Следовательно,

$$Q_H = k_1 n_D, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в выражение (7), получим:

$$P_H = z F_{ш} / f_{п} \eta_{мц} + 0,27 k k_1^2 n_D^2 / \pi^2 d^4, \text{ кПа}. \quad (9)$$

С учетом (1), (8) и (9) мощность, развиваемая насосом, кВт:

$$N_H = (z F_{ш} / f_{п} \eta_{мц} + 0,27 k k_1^2 n_D^2 / \pi^2 d^4) k_1 n_D = z k_1 F_{ш} n_D / f_{п} \eta_{мц} + 0,27 k k_1^3 n_D^3 / \pi^2 d^4.$$

Обозначим

$$z F_{ш} / f_{п} \eta_{мц} = k_2; \quad 0,27 / \pi^2 d^4 = k_3.$$

Тогда

$$N_H = k_1 k_2 n_D + k k_3 k_1^3 n_D^3.$$

Мощность на валу ДВС, кВт:

$$N_D = N_H / \eta_P = (k_1 k_2 n_D + k k_3 k_1^3 n_D^3) / \eta_P, \quad (10)$$

где η_P – КПД редуктора привода насоса.

Внешняя работа, совершаемая ДВС, кДж:

$$A_D = N_D t, \quad (11)$$

где t – время, с;

$$t = S_{ш} / V_{ш}, \quad (12)$$

где $V_{ш}$ – скорость штока гидроцилиндра, м/с;

$$V_{ш} = Q_H \eta_{оц} / f_{п} = k_1 n_D \eta_{оц} / f_{п}, \quad (13)$$

где $\eta_{оц}$ – объемный КПД гидроцилиндра.

Обозначим

$$\eta_{оц} / f_{п} = k_4.$$

Тогда

$$V_{ш} = k_1 k_4 n_D.$$

Подставляя (10) и (12) в выражение (11), с учетом (13) получим:

$$A_D = (k_2 + k k_3 k_1^3 n_D^2) S_{ш} / k_4 \eta_P.$$

Обозначим

$$k_2 S_{ш} / k_4 \eta_P = k_5; \quad k k_3 k_1^3 S_{ш} / k_4 \eta_P = k_6.$$

Следовательно,

$$A_D = k_5 + k_6 n_D^2. \quad (14)$$

Согласно [2], для дизелей с неразделенными камерами сгорания:

$$q_E = q_{EN} [1,55 - 1,55 n / n_N + (n / n_N)^2], \quad (15)$$

где q_E – удельный эффективный расход топлива на единицу совершаемой работы, г/(кВт·ч); q_{EN} – удельный эффективный расход топлива при максимальной мощности двигателя (по внешней скоростной характеристике), г/(кВт·ч); n – частота вращения вала двигателя, мин⁻¹; n_N – обороты, соответствующие максимальной мощности двигателя, мин⁻¹.

Определяем обороты n_1 (мин^{-1}) ДВС, при которых удельный эффективный расход топлива q_E является наименьшим:

$$q_E = q_{E \min} \text{ при } dq_E / dn = 0; \text{ при этом } d^2 q_E / dn^2 > 0;$$

$$dq_E / dn = -1,55 q_{EN} / n_N + 2 n q_{EN} / n_N^2 = 0; \quad (16)$$

$$d^2 q_E / dn^2 > 2 n q_{EN} / n_N^2 > 0.$$

Решая квадратное уравнение (16), получим:

$$n_1 = 0,775 n_N. \quad (17)$$

Однако общий расход топлива Q_T (з) ДВС при этих оборотах не будет наименьшим, так как гидравлические потери $P_{\text{пот}}$ от насоса к гидроцилиндрам рабочего оборудования ввиду квадратичной зависимости от скорости V_{TP} рабочей жидкости, что видно из выражения (5), а значит и от $V_{\text{ш}}$ и оборотов ДВС n , оказывают большее влияние на внешнюю работу A_D , а следовательно, и на общий расход топлива Q_T ДВС, нежели время $t(u)$, так как $S_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} t = \text{const}$:

$$Q_T = q_E A_D = q_E N_D t \neq Q_{T \min}. \quad (18)$$

Подставляя (15) и (14) в выражение (18), после преобразований получим:

$$\begin{aligned} Q_T &= q_E A_D = q_{EN} [1,55 - 1,55 n / n_N + (n / n_N)^2] (k_5 + k_6 n^2) = \\ &= q_{EN} k_6 n^4 / n_N^2 - 1,55 q_{EN} k_6 n^3 / n_N + (k_5 / n_N^2 + 1,55 k_6) q_{EN} n^2 - 1,55 q_{EN} k_5 n / n_N + 1,55 q_{EN} k_5. \end{aligned}$$

Минимальный общий расход топлива

$$Q_T = Q_{T \min} \text{ при } dQ_T / dn = 0;$$

$$d^2 Q_T / dn^2 > 0.$$

$$\begin{aligned} dQ_T / dn &= 4 q_{EN} k_6 n^3 / n_N^2 - 4,65 q_{EN} k_6 n^2 / n_N + (2 k_5 / n_N^2 + 3,1 k_6 q_{EN}) n - \\ &- 1,55 q_{EN} k_5 / n_N = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Разделив все члены уравнения (19) $4 q_{EN} k_6 / n_N^2$, на получим

$$n^3 - 1,16 n_N n^2 + (0,5 k_5 k_6 + 0,77 n_N^2) n - 0,39 k_5 n_N / k_6 = 0. \quad (20)$$

Обозначим: $-1,16 n_N = r$; $0,5 k_5 k_6 + 0,77 n_N^2 = m$; $-0,39 k_5 n_N / k_6 = u$.
Канонический вид уравнения (20):

$$n^3 + r n^2 + m n + u = 0. \quad (21)$$

Делаем замену неизвестного: $y = n + r / 3$.

Тогда $n = y - r / 3$.

Приведенное уравнение (21) имеет вид:

$$y^3 + z y + q = 0, \quad (22)$$

где

$$z = m - r^2 / 3; \quad q = 2 r^3 / 27 - 2 m / 3 + u.$$

Решая уравнение (22), находим оптимальные обороты ДВС:

$$n_{opt} = \sqrt[3]{-q/2 + \sqrt{q^2/4 + z^3/27}} + \sqrt[3]{-q/2 - \sqrt{q^2/4 + z^3/27}} - r/3, \text{ мин}^{-1}. \quad (23)$$

Из трех корней уравнения (23) выбираем действительные положительные.

Обороты n_{opt} ДВС по критерию топливной экономичности, соответствующие минимальному общему расходу топлива Q_{Tmin} за время t при совершении внешней работы A_d , например, подъема стреловыми гидроцилиндрами груза на определенную высоту, где потери давления $P_{пот}$ имеют квадратичную зависимость от оборотов ДВС n , а время t им обратно пропорционально, вычисленные по выражению (22), будут несколько меньше оборотов n_1 , определяемых по формуле (17).

Эта разница тем больше, чем меньше КПД $\eta_{дц}$ от ДВС к стреловым гидроцилиндрам (указанные обороты будут совпадать только в случае $\eta_{дц} = 1$).

Заключение

Предложенная методика расчета позволит сократить энергозатраты за счет уменьшения квадратичных потерь давления в гидросистеме погрузчика, что сократит общий расход топлива ДВС за счет снижения его оборотов и увеличения времени на определенную внешнюю работу.

Расчеты показывают, что для погрузчика «Амкодор» грузоподъемностью 2,2 т, оснащенного ДВС Д-245 Минского моторного завода $N_d = 90 \text{ кВт}$ с частотой вращения $n_d = 2200 \text{ мин}^{-1}$, удельным эффективным расходом топлива 210 г/(кВт·ч) и квадратичными потерями давления в гидросистеме 20 %, при работе ДВС на $n_{opt} = 1650 \text{ мин}^{-1}$ общий расход топлива Q_T снижается на 6 %, а время t при подъеме стрелы увеличивается на 1,5 с.

Аналогично можно рассчитать рациональные режимы работы ДВС, например, при движении автомобиля с учетом сопротивления воздуха, где последнее имеет квадратичный характер и представляет еще более значительные потери.

Расчеты рекомендуется проводить с использованием ЭВМ.

Литература

1. Базанов, А. Ф. Самоходные погрузчики / А. Ф. Базанов, Г. В. Забегалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 406 с.
2. Железко, Б. Е. Основы теории и динамики автомобильных и тракторных двигателей / Б. Е. Железко. – Минск: Выш. шк., 1980. – 303 с.

УДК 631.374.072.3

Поступила в редакцию 16.10.2018
Received 16.10.2018

В. Б. Попов

*УО «Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого»
г. Гомель, Республика Беларусь
e-mail: popov5@list.ru*

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

В статье рассматриваются вопросы выбора внутренних параметров гидропривода и механизма навески подъемно-навесного устройства (ПНУ) универсального энергетического средства «Полесье». Представлены формализованное описание выходных параметров ПНУ и результаты их расчета. На основе функциональной математической модели анализа определяются рациональные параметры подъемно-навесного устройства.

Ключевые слова: подъемно-навесное устройство, диаметр поршня, центральная тяга, раскос, ход оси подвеса, запас грузоподъемности.

THE SELECTION OF THE PARAMETERS OF THE MOUNTED LIFTING DEVICE OF THE MULTI-PURPOSE POWER UNIT

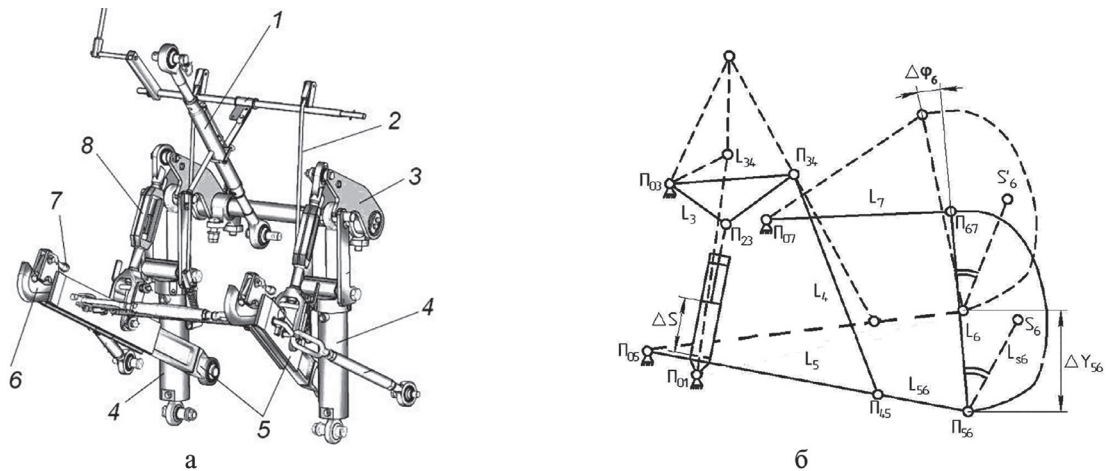
The article considers the problem of the internal parameter selection of the hydraulic drive and the linkage mechanism of the mounted lifting device of the multi-purpose power unit «Polesie». The formal description of the hydraulic drive and linkage mechanism output parameters is presented, which forms the basis for the analysis of the mounted lifting device operation. On the basis of the functional mathematical analysis model, the mounted lifting device efficient parameters are defined, which improve the mounted lifting device characteristics.

Keywords: piston diameter, top link, lift link, suspension hinge pin stroke, reserve of lifting capacity

Введение

Связь универсальных энергетических средств (УЭС) «Полесье», выпускаемых ОАО «Гомсельмаш», с навесными машинами (НМ) или сельскохозяйственными орудиями поддерживается при помощи подъемно-навесных устройств (ПНУ), состоящих из гидроприводов (ГП) и механизмов навески (МН). При этом МН является основным структурным компонентом ПНУ (рисунок 1), определяющим характер взаимодействия УЭС с НМ.

Появление новых и модернизация серийных НМ, агрегируемых с УЭС посредством ПНУ, как правило, обуславливает повышение требований к их выходным параметрам. Решение этой проблемы в режиме автоматизированного проектирования ПНУ опирается на функциональное математическое моделирование.



1 – тяга верхняя; 2 – тяга механизма фиксации; 3 – рычаг поворотный; 4 – гидроцилиндры; 5 – тяги нижние; 6 – захват; 7 – ручка фиксатора; 8 – раскос

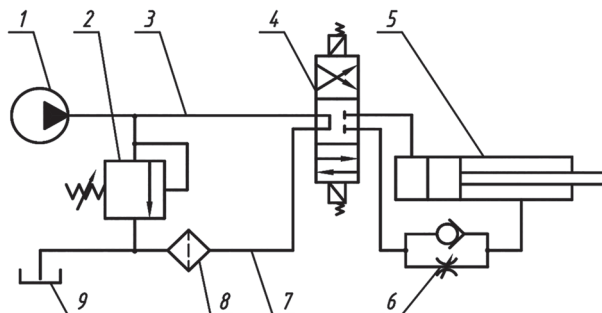
Рисунок 1. – Подъемно-навесное устройство (а) и плоский аналог его механизма навески (б)

В частности, перевод НМ из рабочего положения в транспортное, выполняемый посредством ПНУ и являющийся относительно энергоемкой операцией, формализован не вполне удовлетворительно [1]. Так, при подъеме НМ выполняет относительно энергоносителя сложное движение, что недостаточно учтено в процедурах динамического анализа нагруженного ГП и кинематического анализа замкнутой цепи, включающей МН и НМ [2]. Вес НМ и удаление ее центра тяжести от оси подвеса МН имеют тенденцию к росту [3], поэтому заданная траектория подъема НМ может быть воспроизведена, если только обеспечен запас грузоподъемности ПНУ.

Цель работы – создание формализованного описания для некоторых выходных параметров ПНУ, рационализирующих его функционирование.

Основная часть

Упрощенная принципиальная схема гидропривода ПНУ приведена на рисунке 2. Подъем НМ осуществляется следующим образом: гидронасос (ГН) 1 нагнетает рабочую жидкость (РЖ) через напорную магистраль 3 к гидрораспределителю (ГР) 4 и, при его включенной правой секции, далее в поршневую полость гидроцилиндра (ГЦ) 5. Шток ГЦ начинает выдвигаться, причем давление в поршневой полости пропорционально приведенной к штоку ГЦ нагрузке.



1 – насос шестеренный; 2 – клапан предохранительный; 3 – напорная магистраль; 4 – гидрораспределитель; 5 – гидроцилиндр; 6 – регулируемый дроссель; 7 – сливная магистраль; 8 – фильтр; 9 – бак

Рисунок 2. – Упрощенная принципиальная схема гидропривода ПНУ УЭС

В процедуре динамического анализа РЖ, из-за наличия в ней пузырьков воздуха, считается сжимаемой. Принимается, что структурные элементы гидропривода (ГН, ГР, ПК) работают безинерционно. Температура, плотность, вязкость РЖ и количество нерастворенного в ней воздуха принимаются постоянными. Приведенный модуль объемной упругости РЖ E_{np} в процессе подъема НМ остается постоянным [4].

Поступающий в магистраль расход РЖ Q распределяется на перемещение поршня ГЦ $Q_{пер}$, а также на деформацию РЖ и гидромагистрали $Q_{сж}$:

$$Q = Q_{пер} + Q_{сж} \text{ или } Q = F_c \cdot \dot{S} + \dot{p}_1 \cdot \frac{V_{жс}}{E_{np}}; Q = q \cdot n \cdot \eta_0, \quad (1)$$

где F_c – площадь поршня ГЦ; \dot{p}_1 – скорость изменения давления у ГН; $V_{жс}$ – сосредоточенный у ГЦ объем жидкости; q , n , η_0 – объемная подача за оборот вала гидронасоса, частота его вращения, объемный КПД соответственно.

Полученное с учетом (1) уравнение баланса объемных расходов, преобразованное относительно скорости перемещения поршня [4], имеет вид:

$$\dot{S} = \frac{Q}{F_c} - \frac{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)}{F_c \cdot E_{np}} \cdot \dot{p}_1, \quad (2)$$

где V_0 – начальный объем РЖ; S, S_0 – текущее и начальные значения обобщенной координаты.

На основании исследований, выполненных в [4], запишем уравнение баланса давлений для гидропривода:

$$p_2 = p_1 - (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot \dot{S}^2), \quad (3)$$

где a_1 – коэффициент, учитывающий инерционные свойства рабочей жидкости; a_2 – коэффициент, учитывающий ламинарный характер течения рабочей жидкости; a_3 – коэффициент, учитывающий турбулентный характер течения рабочей жидкости и местные гидравлические сопротивления.

Подставляя в уравнение Лагранжа выражение для кинетической энергии поднимаемой НМ [2] и считая, что обобщенная сила равна разности между силой, движущей поршень и силами сопротивления движению, после преобразования получим:

$$F_{\partial\delta} = m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^2 + F_g(S) + F_{mp}^{np}(S), \quad (4)$$

где $m(S)$, $m'(S)$ – приведенная масса и ее производная по обобщенной координате; $F_{\partial\delta}$ – движущая сила, равная произведению давления в ГЦ на площадь его поршня; $F_{mp}^{np}(S)$ – приведенная сила трения.

Два первых члена уравнения (4) представляет выражение для приведенной к штоку ГЦ силы инерции. Объединив уравнения (2)–(4), получим функциональную математическую модель (ФММ) динамического анализа ПНУ в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{np}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot Q - \frac{F_c \cdot E_{np}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot \dot{S}; \\ p_2 = p_1 - (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot \dot{S}^2); \\ m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^2 = p_2 \cdot F_c - [F_g(S) + F_{mp}^{np}(S)]. \end{cases} \quad (5)$$

В результате решения системы численным методом (Рунге-Кутта 4-го порядка) рассчитываются закон движения поршня ГЦ $S(t) = f(S_0, \dot{S}, \ddot{S}, t)$, а также изменение давления насоса p_1 и в полости ГЦ со стороны напорной магистрали p_2 .

Пространственная геометрическая модель МН преобразуется в плоский аналог, полагая оси, проходящие через центры его шарниров, параллельными (рисунок 1б). Получаем плоский рычажный механизм, структура которого идентифицируется одноподвижным восьмизвенником. При этом положение центра тяжести НМ S_6 однозначно связано с изменением обобщенной координаты (S) – расстоянием между центрами шарниров гильзы и штока гидроцилиндра ($\Pi_{01}\Pi_{23}$).

Задача геометрического анализа состоит в определении углов, образуемых звеньями замкнутой кинематической цепи, и координат подвижных шарниров и характерных точек, в ее основе лежит метод замкнутых векторных контуров [5].

Например, координаты центра тяжести НМ определяются в рабочем и транспортном положении МН (рисунок 1б) через параметры вектора \vec{L}_{S6} , связанного с координатами оси подвеса Π_{56} и повернутого в правой декартовой системе координат относительно \vec{L}_6 на угол φ_{S6} .

$$X_{S6} = X_{56} + L_{S6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S6}); \quad Y_{S6} = Y_{56} + L_{S6} \cdot \sin(\varphi_6 + \varphi_{S6})$$

Важными выходными параметрами МН, определяемыми в процедуре его геометрического анализа и используемыми в задаче параметрического синтеза МН, считаются ход оси подвеса ΔY_M и максимальное отклонение высоты присоединительного треугольника $\Delta\varphi_6^{\max}$ от вертикали (см. рисунок 1б).

$$\Delta Y_M = Y_{56}(S^{\max}) - Y_{56}(S^{pa\delta}) \geq \Delta Y_M^{\partial on}; \quad \Delta\varphi_6^{\max} = \varphi_6(S^{\max}) - \varphi_6(S^{pa\delta}) \leq \Delta\varphi_6^{\partial on}, \quad (6)$$

где S_p – значение обобщенной координаты в рабочем положении оси подвеса.

В начале движения поршня ГЦ положение оси подвеса Y_{56} – вертикальной координаты нижней тяги МН, не соответствует ее рабочему положению, возникающему только в момент контакта звена L_{56} с нижним шарниром НМ.

Определяя длину звена L_4 , исходят из того, что вертикальная координата шарнира Π_{56} – $Y_{56}(S_9)$, в начальном положении звена L_{56} меньше вертикальной координаты шарнира Π_{56} в рабочем положении $Y_{56}(S^{pa\delta})$ на некоторую величину, например 0,1 м, соответствующую вертикальной координате оси подвеса в рабочем положении.

Определив в процессе геометрического анализа $S^{pa\delta}$, соответствующую $Y_{56}^{pa\delta}$, и учитывая, что угол, образуемый высотой присоединительного треугольника (L_6) и вертикалью $\varphi_6(S^{pa\delta}) = 90 \text{ град.}$, определяют длину центральной тяги (L_7).

Передаточное число МН представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести НМ [6], зависящий от внутренних параметров МН и координат центра тяжести НМ относительно оси подвеса:

$$I_{S6}(S) = \varphi'_3 \cdot U_{53} \cdot [L_{56} \cdot \cos \varphi_5 + U_{65} \cdot L_{S6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S6})], \quad (7)$$

где $\varphi'_3(S)$ – аналог угловой скорости поворотного рычага; U_{53} , U_{65} – передаточные отношения, показывающие соотношения угловых скоростей звеньев; $\varphi_5(S)$, $\varphi_6(S)$ – углы, образуемые аналогами звеньев в правой декартовой системе координат.

Первая часть суммы в выражении (7) представляет собой передаточное число МН на оси подвеса, позволяющее сравнивать между собой потенциальные возможности МН различных ПНУ.

Зная $I_{S6}(S)$, можно, не выполняя силовой анализ кинематической цепи, включающей МН и НМ, оценить полезную нагрузку, передаваемую от НМ (P_6) через звенья МН на шток гидроцилиндра:

$$F_g(S) = P_6 \cdot I_{S6}(S). \quad (8)$$

Аналитическое выражение для передаточного числа МН позволяет определить соответствующую заданным L_{S6} и φ_{S6} грузоподъемность G_{S6} заднего ПНУ УЭС:

$$G_{S6} = \frac{p_{cu}^{\max} \cdot F_c - [F_{ин}^{np}(S^*) + F_{тр}^{np}(S^*)]}{I_{S6}^{\max}}, \quad (9)$$

где p_{cu}^{\max} – максимальное давление в ГЦ; F_c – площадь поршня ГЦ; $F_{ин}^{np}(S^*)$ – приведенная сила инерции и $F_{тр}^{np}(S^*)$ – приведенная сила трения, определенные для значения обобщенной координаты, соответствующей максимуму передаточного числа (для ПНУ УЭС обычно соответствует транспортному положению НМ).

Определение реакций в шарнирах выполняется последовательно по группам Ассура и в соответствии с известной методикой [7]. Причем определенная в результате реакция в кинематической паре Π_{23} $R_{23}(S)$ должна быть равна полезной нагрузке $F(S)$ на штоке поршня (7) гидроцилиндра.

Аналитическое выражение для приведенной к гидроцилиндру МН силы трения, учитывающей потери в подвижных и неподвижных шарнирах, имеет вид:

$$F_{тр}^{np} = f_{мп} \cdot r_{ш} \cdot [R_{01} \cdot \varphi'_{12} + R_{03} \cdot \varphi'_{13} + R_{05} \cdot \varphi'_{15}(S) + R_{07} \cdot \varphi'_{17} + R_{23} \cdot (\varphi'_{1S} + \varphi'_{13}) + R_{34} \cdot (\varphi'_{13} + \varphi'_{14}) + R_{5} \cdot (\varphi'_{14} + \varphi'_{15}) + R_{56} \cdot (\varphi'_{15} + \varphi'_{16}) + R_{67} \cdot (\varphi'_{16} + \varphi'_{17})] + F_{трц}, \quad (10)$$

где $r_{ш}$ – радиус шарниров; $f_{мп}$ – коэффициент трения; $R_{0i}(S)$, $R_{ji}(S)$ – силы реакций соответственно в неподвижных и подвижных шарнирах МН; φ'_i , φ'_{i+1} – аналоги угловых скоростей звеньев МН.

В выражении (10) для его упрощения полагаем радиусы шарниров и коэффициенты трения в шарнирах одинаковыми для всех кинематических пар.

Сила трения манжеты поршня о внутреннюю поверхность гильзы ГЦ определяется по выражению, полученному из [8]:

$$F_{трц} = \pi \cdot D \cdot l \cdot f_c \cdot p_2, \quad (11)$$

где D – диаметр поршня ГЦ; l – ширина манжеты; f_c – коэффициент трения манжеты о гильзу ГЦ; p_2 – среднее давление в напорной полости ГЦ.

Анализ выражения (10) и (11) показывает, что потери на трение в кинематических парах определяются внутренними параметрами МН и гидроцилиндра и не зависят от скорости поршня ГЦ.

Запас по грузоподъемности ПНУ УЭС определяется как разность между развиваемым ПНУ в диапазоне изменения обобщенной координаты минимальным значением грузоподъемности G_{S6}^{\min} , соответствующим максимуму передаточного числа (I_S^{\max}), и весом НМ P_6 [11]:

$$\Delta G_s = \frac{G_{s6}^{\min} - P_6}{P_6} \cdot 100 \%. \quad (12)$$

Имеющийся запас грузоподъемности должен положительно сказаться на эксплуатационной надежности ПНУ.

Таким образом, для УЭС возникающее при подъеме НМ давление РЖ в напорной полости ГЦ определяется как отношение приведенной к штоку ГЦ нагрузки, равной $F_{\partial 6}$ (4), к удвоенной площади его поршня:

$$p_2(S) = \frac{2 \cdot F_{np}(S)}{\pi \cdot D^2}. \quad (13)$$

Диаметр ГЦ в выражении (13) должен выбираться с таким расчетом, чтобы при подъеме НМ, обеспечивающей наибольший нагружающий момент относительно оси подвеса МН (которой в данном случае является навесной кормоуборочный комбайн КНК-500), давление в напорной полости ГЦ плюс его потери по гидромагистрали (3) не превышали давление настройки предохранительного клапана ($p_{ПК} = 20 \text{ МПа}$), то есть

$$p_2 + (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot \dot{S}^2) \leq p_{ПК}.$$

Таким образом, проектируя новое ПНУ или модернизируя серийное, конструктор должен предусматривать перспективы агрегатирования универсального энергосредства с навесными машинами, реализующими максимальные моменты нагрузки относительно оси подвеса МН, выбирая диаметры ГЦ в соответствии с выражением:

$$D \leq \sqrt{\frac{2 \cdot F_{np}(S)}{\pi \cdot p_2(S)}}.$$

С другой стороны, для заднего ПНУ УЭС наибольший вес НМ P_6 ограничивается требованием неухудшения управляемости мобильного сельскохозяйственного агрегата (МСХА), состоящего из УЭС 290/450, агрегатируемого с КНК-500.

В транспортном положении НМ опрокидывающий момент относительно точки А (рисунок 3), создаваемый ее весом, зачастую приобретает максимальное значение. Из практики эксплуатации МСХА было принято, что для устойчивого управления движением МСХА часть его веса, приходящаяся на мост управляемых колес (R_A), должна составлять не менее 16 % ($k = 0,16$) от общего веса МСХА.

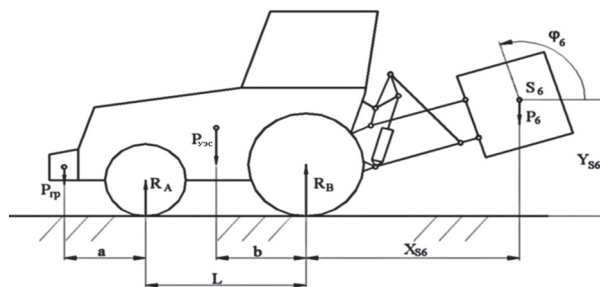


Рисунок 3. – Схема сил, действующих на опорную поверхность со стороны МСХА с навесной машиной в транспортном положении

Для расчета параметра управляемости УЭС в режиме транспортного переезда составляется уравнение равновесия моментов сил, действующих на МСХА относительно точки опоры (В) ведущих колес. В результате вместе с вышеупомянутым ограничением получим систему, состоящую из уравнения и неравенства:

$$\begin{cases} R_A = \frac{P_{уэс} \cdot b - P_6 \cdot X_{s6} + P_{зп} \cdot (L + a)}{L}; \\ R_A \geq k \cdot (P_{уэс} + P_6 + P_{зп}). \end{cases} \quad (14)$$

В результате решения системы (14) получим условие соблюдения управляемости МСХА, которое состоит в ограничении веса агрегируемой с УЭС навесной машины или рабочего орудия:

$$P_6^{\max} \leq \frac{P_{УЭС} \cdot (b - k \cdot L) + P_{эп} \cdot [a + L \cdot (1 - k)]}{X_{S6} + k \cdot L}. \quad (15)$$

Результаты исследований

Результаты расчета выходных параметров модернизированного ПНУ УЭС 290/450 [9], агрегируемого с КНК-500 [10], представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. – Выходные параметры модернизированного МН заднего ПНУ

геометрические параметры					кинематические параметры				
S	$Y_{S6}(S)$	$X_{S6}(S)$	$Y_{S6}(S)$	$J_6(S)$	$J_3(S)$	$U_{S3}(S)$	$J_6(S)$	$I_M(S)$	$I_{S6}(S)$
[м]	[м]	[м]	[м]	[град]	[1/м]	[–]**	[1/м]	[–]	[–]
0,571	–	– *	– *	–	–	–	–	–	–
0,596	0,292	2,360	0,532	89,145	7,658	0,293	0,653	2,138	2,956
0,621	0,348	2,368	0,610	90,139	5,813	0,412	0,721	2,316	3,215
0,646	0,407	2,373	0,691	91,194	5,030	0,478	0,751	2,351	3,284
0,671	0,465	2,374	0,774	92,291	4,604	0,520	0,780	2,357	3,322
0,696	0,524	2,370	0,857	93,431	4,350	0,549	0,813	2,357	3,358
0,721	0,583	2,363	0,942	94,623	4,198	0,569	0,853	2,355	3,399
0,746	0,642	2,350	1,027	95,880	4,114	0,582	0,902	2,352	3,448
0,771	0,701	2,330	1,114	97,213	4,083	0,590	0,961	2,348	3,507
0,796	0,760	2,301	1,203	98,639	4,095	0,594	1,032	2,343	3,577
0,821	0,818	2,284	1,293	100,177	4,148	0,594	1,118	2,337	3,659

* Подсоединение навесного кормоуборочного комбайна КНК-500 выполняется, когда высота оси подвеса (Y_{S6}) составляет 0,33 м.

** Безразмерная величина.

Таблица 2. – Силовые параметры модернизированного ПНУ

S	$G_M(S)$	$G_{S6}(S)$	$R_{03}(S)$	$R_{05}(S)$	$R_{07}(S)$	$F_g(S)$	$F_{np}(S)$	p_2
[м]	[кН]	[кН]	[кН]	[кН]	[кН]	[кН]	[кН]	[МПа]
0,571	–	–	–	–	–	–	–	–
0,596	98,06	70,93	213,69	97,82	85,90	141,89	166,93	12,86
0,621	90,54	65,22	220,21	89,66	85,56	154,32	181,56	13,98
0,646	89,20	63,84	219,89	84,22	85,38	157,63	185,46	14,29
0,671	88,94	63,11	219,19	80,09	85,36	159,46	187,61	14,45
0,696	88,95	62,44	219,06	76,74	85,50	161,09	189,62	14,61
0,721	88,04	61,69	219,67	73,88	85,79	163,15	191,94	14,78
0,746	89,17	60,81	221,01	71,35	86,21	165,50	194,71	15,00
0,771	89,31	59,79	223,10	69,04	86,77	168,34	198,03	15,25
0,796	89,49	58,63	225,98	66,86	87,45	171,90	201,97	15,56
0,821	89,72	57,30	229,56	64,76	88,25	175,63	206,64	15,92

Присоединение механизма навески УЭС-290/459 к навесному кормоуборочному комбайну КНК-500 выполняется при помощи шарниров двух нижних тяг $Y_{S6}(S)$ и центральной тяги, когда высота оси подвеса составляет 0,33 м, при этом холостой ход поршня ГЦ составляет 45 мм.

Ход оси подвеса составляет $\Delta Y_M = 0,52$ м, а завал стойки $\Delta \phi_6^{\max} = 10,2$ град. Величина грузоподъемности составляет 57,3 кН, что обеспечивает запас по грузоподъемности в 19,4 %. Как следует из выражения (9), грузоподъемность ПНУ обратно пропорциональна $I_{S6}(S)$.

Следует отметить, что с запасом по грузоподъемности тесно коррелирует максимум давления в напорной полости ГЦ (P_2), составляющий в транспортном положении 15,92 МПа, или 79,6 % от допустимого (настраиваемое давление в предохранительном клапане равно 20 МПа).

Заключение

1. Длины раскосов МН ПНУ рассчитываются так, чтобы обеспечить минимальный ход поршней гидроцилиндров (то есть минимальный холостой ход), посредством нижних тяг реализующих рабочее положение оси подвеса.

2. Длина центральной тяги зависит как от высоты присоединительного треугольника (L_6), так и от координат ее расположения на раме УЭС П₀₇, и первое из требований, предъявляемых к ней, – выполнение ограничения по завалу стойки [12], то есть $\varphi_6^{\max} = \varphi_6(S^{\max}) - \varphi_6(S^{pab}) \leq 15 \text{ град}$.

3. ПНУ обязано иметь запас грузоподъемности, поскольку с течением времени как механические, так и гидравлические потери возрастают, непостоянный за цикл КПД ПНУ в среднем уменьшается, да и условия эксплуатации увеличивают коэффициенты трения в шарнирах МН. В случае недостаточной грузоподъемности ПНУ перевод НМ из рабочего положения в транспортное невозможен, что означает нарушение технологического процесса.

4. Увеличение диаметра поршня с 90 до 100 мм обеспечивает прирост движущей силы на 23,45 %, но чуть менее значимый эффект может быть достигнут путем снижения максимального значения передаточного числа МН ПНУ [11] в результате его параметрической оптимизации.

Литература

1. Шарипов, В. М. Конструирование и расчет тракторов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В. М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2004. – 592 с.: ил.
2. Гуськов, В. В. Тракторы. Конструирование и расчет. В 7 ч.: ч. 3 / В. В. Гуськов. – Минск: Вышэйш. шк., 1981. – 383 с.
3. Попов, В. Б. Развитие подъемно-навесных устройств универсальных энергетических средств / В. Б. Попов // Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Кубанский гос. аграрный унив.-т. – Краснодар, 2013. – С. 171–174.
4. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.
5. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М.: Машиностроение, 1988. – 640 с.
6. Попов, В. Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей / В. Б. Попов // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 25–29.
7. Попов, В. Б. Математическое обеспечение для проектирования подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – № 3. – С. 67–71.
8. Озол, О. Г. Теория механизмов и машин: пер. с латыш. / О. Г. Озол; под ред. С. Н. Кожевникова. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
9. Универсальное энергетическое средство УЭС-290/450 «Полесье-290/450»: инструкция по эксплуатации. – Гомель: ПО «Гомсельмаш», 2009. – 133 с.
10. Комбайн навесной кормоуборочный КНК-500 «Палессе FH50»: инструкция по эксплуатации. – Гомель: ПО «Гомсельмаш», 2010. – 118 с.
11. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств: монография / В. Б. Попов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 252 с.
12. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры (Межгосударственный стандарт): ГОСТ 10677. – Введ. 01.01.2004. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.

А. В. Ващула^{1,2}, Л. Г. Сапун¹, А. В. Захаров¹, В. П. Бакиновский¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: zaharov_av7@tut.by

²ГУ «Белорусская МИС»

п. Привольный, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь

belmis@mail.belpak.by

ПРИМЕНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ НА ДВИГАТЕЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»

В статье рассмотрены вопросы адаптации топливной аппаратуры фирмы Bosch. Приведена ее система Common Rail с электронным блоком управления топливоподачей и датчиками, а также предполагаемая эффективность ее использования на двигателях Минского моторного завода.

Ключевые слова: двигатель, система топливоподачи, датчики, форсунка, токсичность отработавших газов.

A. V. Vashchula^{1,2}, L. G. Sapun¹, A. V. Zakharov¹, V. P. Bakinovsky¹

¹Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: zaharov_av7@tut.by

²SI «Belarussian MTS»

Privolny, Minsk district, Minsk region, Republic of Belarus

belmis@mail.belpak.by

USE OF ACCUMULATOR SYSTEM OF FUEL FEEDING ON PRODUCTION ENGINES MINSK MOTOR PLANT

In article questions of adaptation of the fuel equipment of Bosch are considered. Its Common Rail system with an electronic control unit of fuel feeding and sensors, and also expected efficiency of its use is given in engines of the Minsk motor plant.

Keywords: the engine, the system of fuel feeding, sensors, a nozzle, toxicity of the fulfilled gases.

Введение

Необходимость обеспечения низкого расхода топлива, снижения эмиссии вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) и бесшумной работы двигателя обуславливает очень высокие требования к двигателю и системе впрыска топлива. Главным образом эти требования могут быть выполнены путем организации работы системы впрыска топлива, которая должна мелкодисперсно распылять топливо форсунками при высоком давлении впрыска. При этом количество впрыскиваемого топлива очень точно дозируется, а форма характеристики впрыска строго выдерживается, включая предварительный, основной впрыск и т. д.

Основная часть

Результаты совместных исследований с фирмой Robert Bosch GmbH позволили адаптировать топливную аппаратуру этой фирмы для двигателей производства ОАО «УКХ «Минский моторный завод» (ММЗ).

Из нескольких топливоподающих систем различного типа была выбрана система топливоподачи Common Rail. Основной ее особенностью является наличие аккумулятора высокого давления топлива – «рэйла». Данная система оказалась наиболее приемлемой для двигателей ММЗ, так как при большой универсальности может применяться без существенных изменений конструкции двигателя [1].

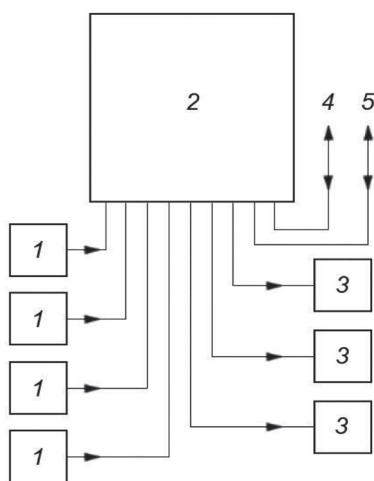


Рисунок 1. – Структурная схема аккумуляторной системы топливоподачи

Система Common Rail Bosch подразделяется на три системных блока: 1 – датчики и задающие устройства, 2 – блок управления, 3 – исполнительные механизмы (рисунок 1).

1. Датчики и задающие устройства регистрируют условия эксплуатации (например, частоту вращения коленчатого вала двигателя) и задаваемые величины (например, положение клапана рециркуляции). Они преобразуют физические величины в электрические сигналы.

2. Электронный блок управления (ЭБУ) обрабатывает сигналы датчиков и задающих устройств по определенным программам, реализующим алгоритмы управления и регулирования. ЭБУ управляет исполнительными механизмами с помощью электрических выходных сигналов. Кроме того, блок управления взаимодействует с другими системами транспортного средства 4, а также участвует в диагностике 5 системы управления.

3. Исполнительные механизмы преобразуют электрические выходные сигналы блока управления в действие механических устройств.

Аккумуляторная система топливоподачи Common Rail позволяет обеспечить более широкие, в отличие от вариантов с механическим регулятором топливного насоса высокого давления, требования по впрыску топлива:

- повышенное давление впрыскивания (1600...1800 бар и выше);
- изменяемый момент начала впрыскивания;
- регулирование давления впрыскивания (230...1800 бар) в зависимости от условий эксплуатации.

Аккумуляторная система топливоподачи Common Rail включает в себя:

- контур низкого давления, а также агрегаты подачи топлива;
- контур высокого давления, включая топливный насос высокого давления, топливный аккумулятор высокого давления, форсунки и топливопроводы высокого давления;
- систему электронного регулирования работы двигателя, датчики управления и исполнительные механизмы;
- системы подачи воздуха и отвода отработавших газов.

Важнейшим элементом аккумуляторной системы топливоподачи Common Rail Bosch является форсунка с быстродействующим электромагнитным клапаном. Он открывает и закрывает распылитель, регулируя процесс впрыскивания топлива в каждом цилиндре. Все форсунки подсоединены к топливному аккумулятору высокого давления.

Действие аккумуляторной системы впрыска топлива основано на разделении процесса создания высокого давления и процесса впрыскивания. Непрерывно работающий топливный насос высокого давления с приводом от дизеля создает необходимое давление впрыскивания, обеспечивая постоянную величину давления в топливном аккумуляторе, независимо от частоты вращения коленчатого вала и расхода топлива. Регулирование давления происходит с помощью клапана. Топливо по топливопроводам высокого давления поступает к форсункам, которые впрыскивают его непосредственно в камеру сгорания цилиндров двигателя. Система электронного регулирования работы двигателя отдельно управляет работой всех узлов.

Установка аккумуляторной системы топливоподачи Common Rail Bosch на двигателях ОАО «УКХ «Минский моторный завод» началась преимущественно с автомобильных четырехцилиндровых двигателей [2]. Модернизация системы питания автомобильного дизеля, например Д-245.12С, по предварительным расчетам, позволит за счет оптимизации угла опережения впрыска и разделения цикловой подачи на четыре впрыска повысить эффективную мощность двигателя на 8–9 %, удельный эффективный расход топлива снизить на 3 %. По показателям токсичности выбросов CO, CH, NOx – достичь соответствия стандарту Евро-2 (таблица 1).

Таблица 1. – Сравнительные показатели серийного и модернизированного двигателя

Мотор	Эффективная мощность N_e , кВт	Удельный эффективный расход топлива g_e , г/кВт·ч	Стандарт по токсичности выбросов	NOx, г/кВт·ч	CO, г/кВт·ч	CH, г/кВт·ч	PT, г/кВт·ч
Д-245.12С	80	236	Евро-0	11,8	4,0	1,1	—
Д-245.12СМ	88	229	Евро-2	7	2,1	0,46	0,15

На рисунке 2 представлена внешняя скоростная характеристика дизеля с аккумуляторной системой топливоподачи.

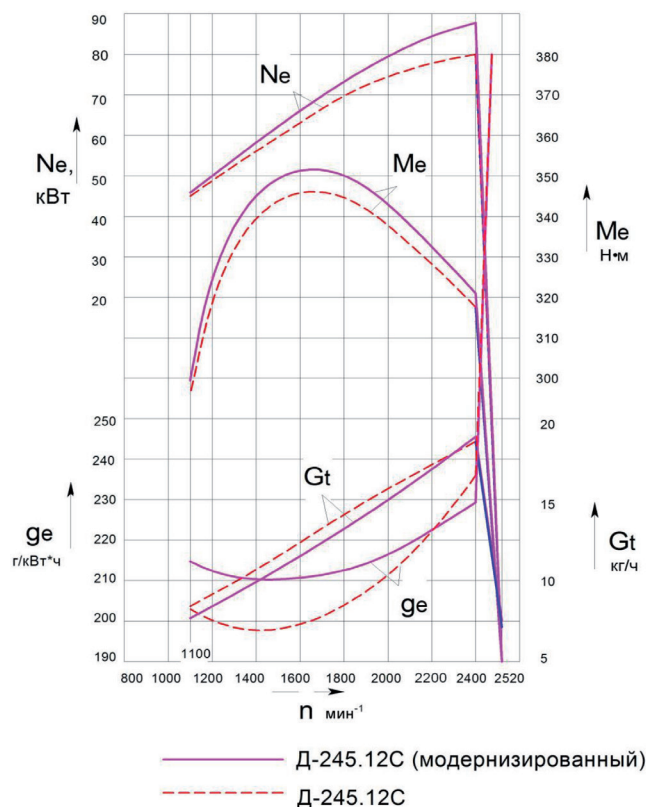


Рисунок 2. – Внешняя скоростная характеристика дизеля

Заключение

Внедрение аккумуляторной системы топливоподачи Common Rail Bosch на современных двигателях ММЗ позволяет увеличить ресурс, благодаря более «мягкому» процессу сгорания топлива в цилиндре. Датчики электронной системы управления контролируют давление и температуру масла, температуру охлаждающей жидкости, а также частоту вращения коленчатого вала двигателя. Это позволяет предотвратить выход из строя двигателя при возникновении внештатной ситуации путем прекращения подачи топлива (остановки двигателя). Применение форсунки с быстродействующим электромагнитным клапаном позволяет увеличить скорость срабатывания, точность дозирования и управления процессом впрыска топлива. В результате этих мер повышаются топливно-экономические и мощностные показатели двигателя на 8–9 %, уменьшается токсичность отработавших газов на 30–40 %.

Литература

1. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail: учеб. пособие. – М.: ЗАО «Легион – Автодата», 2014. – 94 с.: пл.
2. Сапун, Л. Г. Аккумуляторная система Common Rail Bosch дизельных двигателей ОАО «УКХ «Минский моторный завод» / Л. Г. Сапун, Е. Ю. Журавский // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: збірник тез. III Всеукраїнська науково-практична конф., Житомир, 29–30 березня 2017 року. – Житомир, 2017. – С. 82–84.

Ю. А. Башко¹, В. Н. Кецко², И. Р. Юсифов³

¹ РУП «НПЦ 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

³ ООО «Зелтавет»

г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОАКТИВАЦИИ СЛОЯ СТЕБЕЛЬЧАТОГО КОРМА ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ И РАЗДАЧЕ КОРМОВ КРС

В статье приведены теоретические и экспериментальные исследования процесса пневмоактивации слоя стебельчатых кормовых материалов, определены параметры воздушного потока для пневмоактивации кормовых материалов при отделении механических примесей.

Ключевые слова: процесс, пневмоактивация, стебельчатый корм, слой корма, влажность, связность, коэффициент, приготовление корма, воздушный поток, струя воздуха, солома, кормосмеси, качество кормов, частица, механические примеси, критическая скорость.

Y. A. Bashko¹, V. N. Ketsko², I. R. Yusifov³

¹ RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: npc_mol@mail.ru

² EE «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

³ LLC «Zeltavet»

Minsk, Republic of Belarus

RESEARCH THE PROCESS OF PNEUMATIC ACTIVATION OF THE STABLE FEED LAYER FOR SEPARATION OF MECHANICAL IMPURITIES AT PREPARING AND FEEDING OF CATTLE

The article presents theoretical and experimental studies of the process of pneumatic activation of a layer of stalked feed materials, and the parameters of the air flow for pneumatic activation of feed materials in the separation of mechanical impurities are determined.

Keywords: process, pneumatic activation, stalked feed, feed layer, moisture, connectivity, coefficient, feed preparation, air flow, air stream, straw, feed mix, feed quality, particle, mechanical impurities, critical speed.

Введение

Исследования зоотехнической науки и практика функционирования животноводческих ферм свидетельствуют о том, что недоброкачественные, загрязненные корма служат непосредственной причиной многих незаразных заболеваний [1].

Согласно статистическим данным, полученным ветеринарами, основной экономический ущерб нашему животноводству причиняют незаразные болезни, причем значительная доля (50–70 %) приходится на болезни кормового происхождения, в основном кормовой травматизм [2], при этом наибольшую опасность для КРС представляют неметаллические (органические) и металлические примеси размером до 50 мм.

Принимая во внимание, что кормление КРС в хозяйствах республики базируется на использовании полнорационных кормосмесей, основу которых составляют стебельчатые корма собственного производства, отделение механических примесей от стебельчатых кормов и кормосмесей является актуальной задачей.

Основная часть

Отделение механических примесей от кормовых смесей на основе стебельчатых кормов определяется связями, которые возникают между примесями и соломинами (стеблями), а также между самими соломинами в перемещаемом слое кормового материала. Причем связи между соломинами являются определяющими. По сути, они создают пространственную решетку, проще говоря – препятствие, которое должны преодолеть механические примеси при воздействии отделяющих устройств. Механическое воздействие отделяющих устройств не в полной мере осуществляет разрушение этих связей, поэтому представляется, что пневмоактивация, то есть приведение слоя в неустойчивое состояние воздушной струей, сопровождающееся насыщением слоя кормового материала воздухом и ослаблением связей, является эффективным процессом, соответствующим природе указанных решеток.

Струя воздуха, пронизывающая слой движущегося корма, испытывает со стороны последнего силы сопротивления, направленные против воздействия скорости воздуха. В зависимости от ориентации струи по отношению к силе тяжести, структурных свойств слоя и величины возмущающих сил последние могут изменять и разрушать состояние структуры слоя. Под воздействием воздушной струи слой корма разрыхляется, контакты между частицами нарушаются, и они в объеме расширяющегося слоя приходят в относительное движение.

Соломистые частицы стебельчатого корма и механические примеси имеют различные аэродинамические свойства. Частицы соломы, как правило, имеют большую длину, а плотность меньшую, чем примеси, поэтому более подвержены воздействию струи воздуха.

Струя воздуха, внедряясь в слой корма, производит следующие действия:

- преодолевает инерцию слоя корма;
- преодолевает связь между стеблями в слое и разрушает его;
- поддерживает слой в неустойчивом равновесном состоянии.

В связи с этим были проведены теоретические и экспериментальные исследования пневмоактивации стебельчатых кормовых материалов для отделения механических примесей.

В процессе теоретических исследований установлено, что под воздействием воздушной струи слой корма разрыхляется, контакты между частицами нарушаются, и они в объеме расширившегося слоя приходят в относительное движение [3, 4, 5].

Силы, действующие на частицу в слое корма, показаны на рисунке 1.

Для равновесия необходимо, чтобы моменты сил, действующих на элементарный объем кормов, относительно центра струи были уравновешенными [4]:

$$(dF - dJ - dG) \cdot R_{\partial h} - dT \cdot h = 0, \quad (1)$$

где dF – сила, вызываемая динамическим давлением струи, H ; dJ – сила инерции, H ; dG – сила тяжести элементарного слоя частиц в объеме, H ; dT – сила связи частиц в объеме материала, H ; $R_{\partial h}$ – эквивалентный радиус поперечного сечения струи на высоте h (плечо расположения элементарного объема относительно оси струи), m ; h – высота рассматриваемого сечения слоя частиц над устьем сопла, m .

Полагая, что $dT = K_c \cdot dG$ и $dG = dJ$, получаем:

$$dF \cdot R_{\partial h} = 2dG \cdot R_{\partial h} + K_c \cdot dG \cdot h, \quad (2)$$

где K_c – коэффициент связности частиц.

Для струи на высоте h радиус (относительный) [5]:

$$R_{\partial h0} = 0.22 \cdot (\bar{h} - \bar{h}_0) = \frac{R_{\partial h}}{R_s}, \quad m; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \theta = 0,22,$$

где θ – угол раскрытия струи, $град.$; R_s – эквивалентный радиус отверстия истечения, m .

Эквивалентный радиус определяется уравнением [5]:

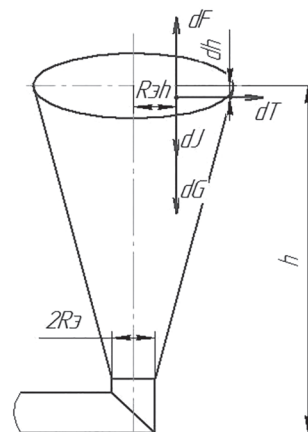


Рисунок 1. – Схема сил, действующих на частицу в слое материала

$$R_9 = 0,565\sqrt{F_{nl}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где F_{nl} – площадь отверстия истечения, м^2 .

Для равномерного потока воздуха коэффициент количества движения в начале струи $\beta_0 = 1$, а \bar{h}_0 принимается равным нулю [5]. Тогда

$$\frac{R_{9h}}{R_9} = 0,22\bar{h} = \frac{0,22h}{R_9}. \quad (5)$$

Тогда уравнение моментов будет:

$$0,22h \cdot dF = 0,22h \cdot 2dG + K_c \cdot h \cdot dG, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (6)$$

Откуда

$$dF = \left(\frac{0,44 + K_c}{0,22} \right) \cdot dG. \quad (7)$$

С другой стороны [4]:

$$dF = dP \cdot dS,$$

где dP – динамическое давление воздуха, Па ; dS – площадь основания элементарного объема материала, м^2 .

Динамическое давление

$$P_h = \frac{\rho_e \cdot v_h^2}{2}, \text{ Па}, \quad (8)$$

где ρ_e – плотность воздуха ($\rho_e = 1,2 \text{ кг/м}^3$); v_h – скорость воздуха в сечении на высоте h , м/с .

Относительная средняя по расходу скорость на высоте h [5]

$$\bar{v}_h = \frac{v_h}{v_0} = \frac{6,45\sqrt{\beta_0}}{\bar{h} - \bar{h}_0}, \text{ м/с}. \quad (9)$$

Но так как для таких струй $\beta_0=1$, а $\bar{h}=0$, то

$$\frac{v_h}{v_0} = \frac{6,45}{\bar{h}_0}. \quad (10)$$

Тогда динамическое давление на высоте

$$\frac{dP_h}{dh} = -\frac{6,45^2 R_9^2 \cdot v_0^2 \cdot \rho_e}{h^3}, \text{ Па}. \quad (11)$$

Знак (–) здесь означает, что с увеличением h давление уменьшается.

$$dP_h = -6,45^2 \rho_e \frac{R_9^2 \cdot v_0^2}{h^3} dh, \quad (12)$$

где dP_h – динамическое давление на высоте h , Па ; dh – высота слоя, м ; ρ_e – плотность воздуха ($\rho_e = 1,2 \text{ кг/м}^3$); R_9 – эквивалентный радиус, м ; h – высота, м ; v_h – скорость воздуха в сечении на высоте h , м/с .

Площадь сечения струи и на высоте h

$$S_h = \pi \cdot R_{9h}^2 = \pi \cdot (0,22h)^2,$$

отсюда

$$dS_h = 2 \cdot 0,22^2 \cdot \pi \cdot h dh. \quad (13)$$

Действующая в элементарном объеме сила веса

$$dG = \rho_c \cdot g \cdot d \cdot S_h dh, \quad (14)$$

где ρ_c – плотность массы в объеме, кг/м^3 .

В итоге уравнение моментов запишется:

$$0,22 \cdot 6,45^2 \frac{\rho_c \cdot R_9^2 \cdot v_0^2}{h^2} dh = (0,44 + K_c) \rho_c \cdot g \cdot h dh. \quad (15)$$

Динамическое приращение h высоты слоя при воздействии воздушной струи, обладающей начальной скоростью v_0 , будет определяться выражением:

$$h = \sqrt{\frac{18,3\rho_c R_s^2 v_0^2}{(0,44 + K_c)\rho_c g}}, \text{ м.} \quad (16)$$

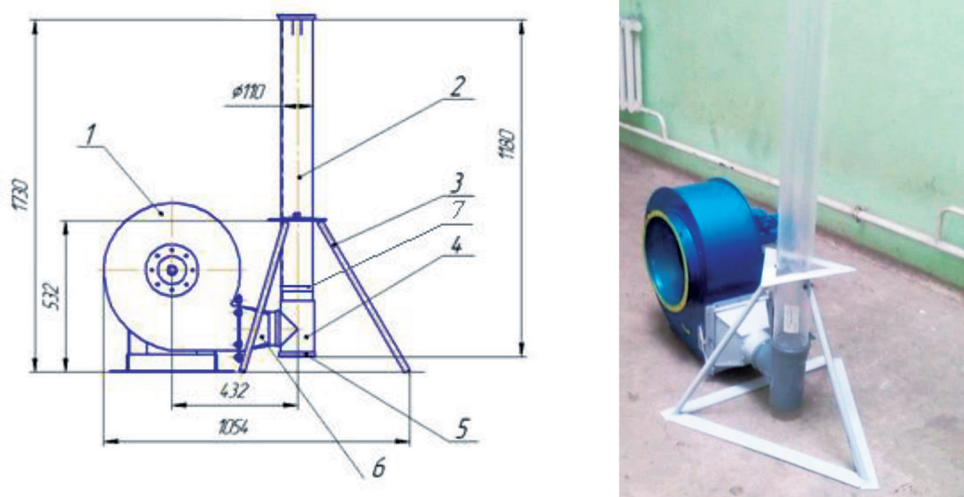
Формула (16) позволяет при заданной технологически необходимой высоте слоя определить эквивалентный радиус сопла и изначальную скорость струи, и наоборот, при постоянном радиусе сопла определить динамическое приращение высоты (толщины) разрыхляемого слоя, которая для разных видов кормов различна.

Кроме того, исследования показали, что обобщающим фактором состояния обрабатываемого потоком воздуха объема корма является связность частиц. Оценку связности принято определять коэффициентом связности (K_c). Применительно к процессу пневмоактивации его в первом приближении можно будет определять как отношение потенциальной энергии слоя корма к энергии воздушной струи, приводящей последний в критическое состояние. Полагая, что аэродинамическая сила, разрушающая объем корма, пропорциональна сумме сил веса и сцепления частиц, коэффициент связности следует определять по формуле:

$$K_c = \frac{2\rho_c H_c g}{\rho_B v_{KP}^2}, \quad (17)$$

где K_c – коэффициент связности частиц в объеме материала; ρ_c – плотность объема корма, кг/м^3 ; H_c – высота слоя материала, м ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; ρ_B – плотность воздуха, ($\rho_B = 1,2 \text{ кг/м}^3$); v_{KP} – средняя критическая скорость воздуха, при которой происходит разрушение объема корма, м/с .

С учетом рассмотренных выше результатов проведены экспериментальные исследования по определению воздействия воздушной струи на кормовой материал, определению скорости струи, необходимой для разрыхления кормовой массы в зависимости от высоты и плотности слоя, размера частиц и влажности кормов. Исследования проводились на экспериментальной установке, показанной на рисунке 2. В качестве исходного материала при проведении исследований процесса пневмоактивации применялась солома кормовая (ячменная).



1 – вентилятор; 2 – труба; 3 – опора; 4 – тройник; 5 – заглушка; 6 – переходник; 7 – вкладыш

Рисунок 2. – Общий вид экспериментальной установки

Исследования показали, что процесс воздействия воздушной струи на свободный слой стебельчатых кормов можно разделить на следующие фазы (соответственно, разделяются и скорости):

– начальная. Объемистый слой материала неподвижен, воздух движется в объеме между частицами в пространстве этого слоя, вынос частиц отсутствует;

- критическая. Воздушная струя, перераспределяя элементы грубых частиц, меняет структурную решетку объема материала, при этом перераспределяются более легкие и грубые частицы;
- закритическая. В зоне активного действия воздушной струи происходит выдувание порций частиц из разрыхленного слоя и образование слоев из приблизительно равных частиц.

При первой фазе высота слоя остается неизменной, равной, соответственно, начальной высоте слоя.

Во второй фазе каждому значению скорости соответствует определенная высота разрыхленного слоя. Именно эта фаза является рабочей.

В результате исследований установлено, что в процессе пневмоактивации существенное влияние на разрушение анизотропных связей, которые возникают между самими частицами в перемещаемом слое корма, оказывают физико-механические свойства и состояние корма.

Так, увеличение влажности соломы кормовой приводит к слипанию частиц, стеблей и усилению связей между частицами в объеме. При этом ухудшается относительное перемещение частиц.

Изменение влажности частиц объема соломы кормовой с 20 % до 45 % требует увеличения критической скорости потока воздуха с 8 м/с до 16...18 м/с при высоте слоя 0,2 м и с 14 м/с до 25...26 м/с при высоте слоя 0,5 м. Зависимости критической скорости от влажности соломы при различной высоте слоя приведены на рисунке 3.

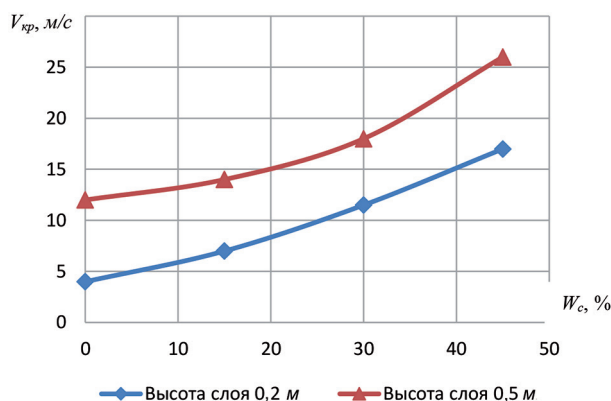


Рисунок 3. – Зависимость критической скорости потока воздуха от влажности соломы кормовой при различной высоте слоя материала

При этом при влажности частиц объема соломы кормовой 30 % и средневзвешенной длине частиц 50 мм критическая скорость потока воздуха составляет около 25 м/с, при средневзвешенной длине частиц 150 мм критическая скорость потока воздуха составляет около 45 м/с, а при длине частиц 250 мм критическая скорость потока воздуха составляет 60 м/с и более. Эти данные говорят о том, что наряду с высотой слоя, влажностью и плотностью корма существенное влияние на процесс разрушения связей оказывает длина частиц корма в объеме (рисунок 4).

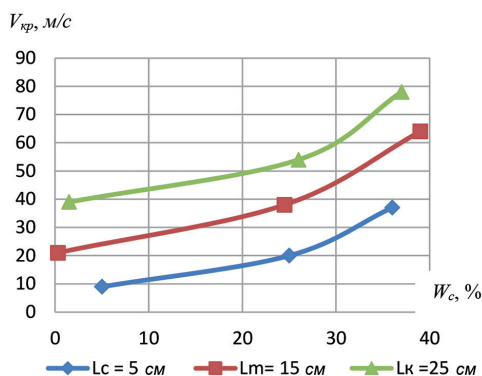


Рисунок 4. – Зависимость критической скорости потока воздуха от влажности измельченного объема при различной (степени измельчения соломы) длине частиц, на которые воздействует воздушный поток

Кроме того, при воздействии на объем частиц воздушного потока, имеющего различную критическую скорость, наблюдается изменение плотности массы в объеме (результаты приведены на рисунке 5).

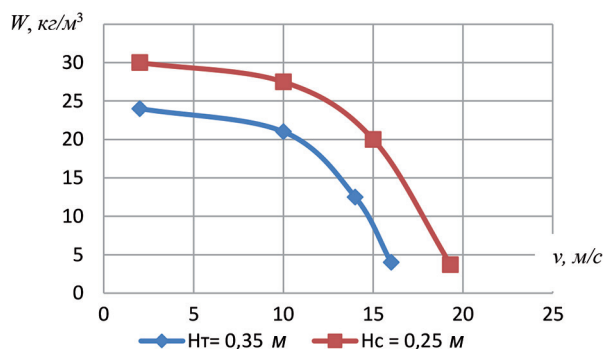


Рисунок 5. – Изменение плотности слоя массы в зависимости от скорости потока воздуха при различной высоте слоя материала (солома ячменная, $W_c = 28...30$ %)

В результате этих исследований можно полагать, что обобщающим фактором состояния обрабатываемого объема является связность частиц, зависящая от их длины, влажности, плотности и высоты слоя корма. Данные экспериментального определения связности приведены на рисунке 6 оценкой влияния указанных выше факторов на величину коэффициента связности K_c .

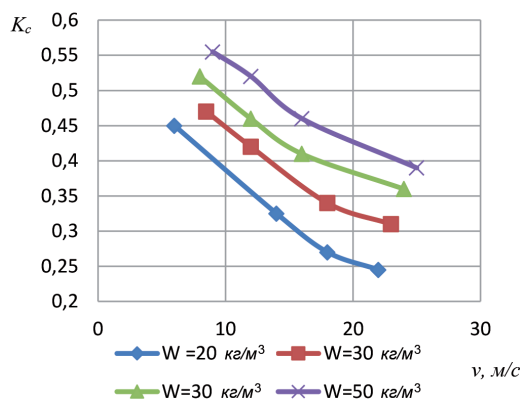


Рисунок 6. – Коэффициент связности частиц (K_c) при различной плотности слоя массы измельченной соломы и скорости воздуха

Как видим, значения K_c нестабильны (0,25...0,54) (рисунок 6). Однако здесь прослеживаются характерные закономерности:

- при постоянной плотности с увеличением высоты слоя K_c уменьшается;
- при постоянной высоте слоя с повышением плотности K_c увеличивается;
- при постоянной плотности с увеличением скорости воздуха K_c уменьшается.

Заключение

Приведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что процесс пневмоактивации оказывает существенное влияние на разрушение анизотропных связей, которые возникают между самими частицами в перемещаемом слое корма. Разрыхление пространственной решетки между частицами корма следует осуществлять, прежде всего, путем понижения плотности частиц в объеме за счет увеличения высоты занимаемого ими объема, то есть более интенсивным насыщением этого пространства частицами воздуха. Это способствует выделению из слоя корма более плотных по составу механических примесей. При этом скорость воздушной струи, необходимой для разрыхления слоя соломы кормовой, составляет от 25 до 45 м/с, в зависимости от высоты и плотности слоя, размера частиц и влажности материала.

Литература

1. Санитарно-гигиенические требования к кормам и кормлению животных // АгроАрхив: сельскохозяйственные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-archive.ru/tehnologicheskie-osnovy/734-sanitarno-gigienicheskie-trebovaniya-k-kormam-i-kormleniyu-zhivotnyh.html>. – Дата доступа: 09.11.2016.
2. Санитарно-гигиенические требования к кормам и кормлению животных // Зооинженерный факультет МСХА [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <http://www.activestudy.info/sanitarno-gigienicheskie-trebovaniya-k-kormam-i-kormleniyu-zhivotnyh>. – Дата доступа 08.11.2016.
3. Бублик, С. П. Определение основных параметров процесса сепарации грубого вороха / С. П. Бублик // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1963. – № 2. – С. 15–17.
4. Соболев, А. А. Движение частиц в воздушном потоке / А. А. Соболев, Н. А. Мельников, Л. О. Тютюнник // Вектор науки ТГУ. – 2011. – № 3 (17). – С. 82–86.
5. Юсифов, И. Р. Интенсификация выделения зерна соломотрясом комбайна путем разрыхления вороха воздушными струями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И. Р. Юсифов. – Горки, 1991. – 16 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Яковчик С. Г., Бакач Н. Г., Салапура Ю. Л., Клыбик В. К. Перспективы развития информационно-управляющих систем в сельскохозяйственном производстве	3
Михайловский Е. И. Формирование информационной базы для анализа потребления материальных ресурсов на предприятии	8
Ленский А. В., Жешко А. А. Оптимизация маршрутов движения машинно-тракторных агрегатов по рабочим участкам простой конфигурации	13
Ващула А. В., Антошук С. А. Точное земледелие в Республике Беларусь: состояние и перспективы	19
Салапура Ю. Л., Зубенко Д. В., Салапура М. Н., Дыба Э. В. Особенности и тенденции ресурсосбережения в сельском хозяйстве	25
Пиуновский И. И. Научное наследие академика М. Е. Мацепуро по энергосбережению в сельском хозяйстве (к 110-летию со дня рождения)	29
Кравченко К. А. Разработка специализированного комплекса программных средств автоматизированного проектирования рабочих органов каналоочистительных машин	34
Булгаков В. М. Теория вертикальных колебаний и устойчивости движения комбинированного машинно-тракторного агрегата	39
Новиков Э. В., Безбабченко А. В. Состояние и концепция развития сушильных машин для лубяных культур и волокна из них	57
Антошук С. А. Применение метода дискретного элемента для моделирования поведения сыпучих сельскохозяйственных материалов	61
Абдулхаев Х. Г. Теоретические аспекты равномерности глубины хода зубового рыхлителя при обработке гребней	66
Аутко А. А., Заяц Э. В., Филиппов А. И., Лепешкин Н. Д., Чеботарев В. П. Пружинный рыхлитель для уничтожения сорной растительности механическим способом	69
Голдыбан В. В., Барановский И. А. К обоснованию типа высевающей системы перспективной сеялки точного посева семян сахарной свеклы	73
Ветохин В. И., Беловод А. И., Голованов Д. А., Алтыбаев А. Н. Регулирование и саморегулирование формы рабочего органа для обработки почвы	76
Голдыбан В. В., Чеботарев В. П., Курилович М. И., Мисников К. Н., Бойко Т. В. Результаты исследований физико-механических свойств семян сахарной свеклы	82
Худоёрв А. Н., Абдуллаев Д. А., Абдимоминов И., Юлдашева М. А. Результаты экспериментального исследования с целью определения формы рабочей поверхности рыхлителя комбинированного агрегата	88
Клыбик В. К., Пылило И. С. Обоснование параметров катушечного дозирующего устройства для дифференцированного внесения минеральных удобрений	92
Степук Л. Я., Петровец В. Р., Лепешкин Н. Д. Обоснование вместимости бункеров поточных линий дозирования	97
Голдыбан В. В., Барановский И. А. К обоснованию типа машин для уборки сахарной свеклы в условиях Республики Беларусь	107
Булгаков В. М. Расчетная математическая модель колебаний ботвоуборочной машины, фронтально установленной на пропашной трактор	112
Юрин А. Н., Викторovich В. В., Четкин А. Д. Проблема уборки плодов семечковых и орехоплодных культур с земли и пути ее решения	116
Лойко С. Ф., Трибуналов М. Н. Исследование процесса уплотнения ленты льнотресты в рулоне	120
Перепечаев А. Н., Рапинчук А. Л., Кислов Е. В. Влияние режимов работы мяльно-трепального агрегата на качество получаемого короткого льноволокна в зависимости от исходного номера льнотресты	124
Казакевич П. П., Перепечаев А. Н., Карпунин В. И. Усовершенствование технологии котонизации льняного волокна для использования в тканях бытового назначения	128
Перепечаев А. Н., Рапинчук А. Л., Чеботарев В. П. Исследование возможности повышения качества короткого льноволокна за счет изменения частоты вращения трепальных барабанов	132
Скибчик В. И., Кудринский Р. Б. Структура автоматизированной системы поддержки принятия решений в программах уборки ранних зерновых культур	137
Юрин А. Н., Викторovich В. В., Четкин А. Д. Исследование взаимодействия плодов с различными поверхностями плодуборочного агрегата	140

Шахрай Д. С. Теоретические исследования дождевальных насадок с регулируемыми параметрами искусственного дождя	149
Воробей А. С., Голдыбан В. В., Курилович М. И. К разработке системы идентификации клубней картофеля по внутренним дефектам.....	154
Юрин А. Н., Игнатчик А. А., Викторovich В. В., Савченко С. Н. Результат испытаний ягодоуборочного комбайна КПЯ	157
Авраменко П. В., Вабищевич А. Г., Смирнов А. Н., Громыко Г. Ф., Салапура Ю. Л., Салапура М. Н. Численное моделирование движения пневмокормового потока в силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800	162
Бакач Н. Г., Мажугин И. Е., Кострома С. П. Влияние отклонения ножей от радиального положения на работу роторных косилок.....	167
Лабоцкий И. М., Ленский А. В., Яровенко П. В. Эффективность применения накопителя тюков в процессе прессования грубых кормов пресс-подборщиками	172
Романович А. А., Быцко А. Д. Экструдированные зерновые корма, применяемые для кормления животных	177
Романович А. А. Теоретические исследования параметров измельчающих рабочих органов гидродиспергатора.....	180
Радчиков В. Ф., Передня В. И., Пунько А. И., Кот А. Н., Цай В. П., Бесараб Г. В., Ганущенко О. Ф., Шинкарева С. Л. Экструдирование – важный фактор повышения эффективности использования кормов при производстве говядины.....	185
Дыба Э. В. Оценка работы устройства очистки бункеров для хранения кормов методом регрессионного анализа	189
Бондарев С. Н., Китун А. В. Определение геометрических параметров пористой полости сосковой резины доильного аппарата.....	196
Тарасенко В. Е., Жешко А. А. Обоснование режимов работы дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин	200
Тарасенко В. Е., Жешко А. А. Разработка схемы и конструкции теплонапряженных систем мобильных сельскохозяйственных машин.....	210
Степук Л. Я., Микульский В. В. К вопросу создания перспективного пассивно-активного скрепера к мобильным навозоуборочным машинам.....	220
Скорб И. И., Волк А. М. Экспериментальные исследования устройства для гомогенизации жидкого навоза	225
Бегун П. П., Рассошенко К. М. Новая машина для внесения полужидкого навоза	229
Скорб И. И., Волк А. М. Определение потребной мощности на гомогенизацию жидкого навоза мешалкой с лопастным рабочим органом.....	234
Капустин Н. Ф., Кострома Л. Ж. SWOT-анализ выполнения в беларуси проекта «подкисление жидкого навоза в регионе балтийского моря».....	238
Кравченко К. А. Как чистят мелиоративные каналы за рубежом.....	241
Смирнов А. Н., Авраменко П. В., Вабищевич А. Г. Выбор рационального режима работы гидропривода погрузчика с позиции топливной экономичности	247
Попов В. Б. Выбор параметров подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства..	251
Ващула А. В., Сапун Л. Г., Захаров А. В., Бакиновский В. П. Применение аккумуляторной системы топливоподачи на двигателях производства ОАО «УКХ «Минский моторный завод».....	259
Башко Ю. А., Кецко В. Н., Юсифов И. Р. Исследование процесса пневмоактивации слоя стебельчатого корма для отделения механических примесей при приготовлении и раздаче кормов КРС.....	262

Научное издание

**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Межведомственный тематический сборник

Основан в 1968 году

Ответственный за выпуск А. М. Дудик
Редактор-корректор А. С. Борейша
Компьютерная верстка Н. И. Кашуба

Подписано в печать 00.10.2019. Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 00,00. Уч.-изд. л. 00,0. Тираж 000 экз. Заказ 000.

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, 220141, г. Минск.