

**Редакционная коллегия:**

главный редактор – **Федоренко В.Ф.**,  
д-р техн. наук, проф., академик РАН;  
зам. главного редактора – **Мишуев Н.П.**,  
канд. техн. наук.

**Члены редколлегии:**

**Апатенко А.С.**, д-р техн. наук;  
**Виноградов А.В.**, д-р техн. наук;  
**Голубев И.Г.**, д-р техн. наук, проф.;  
**Ерохин М.Н.**, д-р техн. наук, проф., академик РАН;  
**Завражнов А. И.**, д-р техн. наук, проф.,  
академик РАН;  
**Кузьмин В.Н.**, д-р экон. наук;  
**Левшин А.Г.**, д-р техн. наук, проф.;  
**Лобачевский Я.П.**, д-р техн. наук, проф.,  
академик РАН;  
**Морозов Н.М.**, д-р экон. наук, проф.,  
академик РАН;  
**Папцов А.Г.**, д-р экон. наук, проф., академик РАН;  
**Полухин А.А.**, д-р экон. наук, проф. РАН;  
**Сторчевой В.Ф.**, д-р техн. наук, проф.;  
**Тихомиров Д.А.**, д-р техн. наук,  
проф. РАН, чл.-корр. РАН;  
**Цой Ю.А.**, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН;  
**Черноиванов В.И.**, д-р техн. наук, проф.,  
академик РАН;  
**Шогенов Ю.Х.**, д-р техн. наук,  
академик РАН

**Editorial Board:**

Chief Editor – **Fedorenko V.F.**, Doctor of Technical  
Science, professor, academician  
of the Russian Academy of Sciences;  
Deputy Editor – **Mishurov N.P.**, Candidate  
of Technical Science.

**Members of Editorial Board:**

**Apatenko A.S.**, Doctor of Technical Science;  
**Vinogradov A.V.**, Doctor of Technical Science;  
**Golubev I.G.**, Doctor of Technical Science, professor;  
**Erokhin M.N.**, Doctor of Technical Science,  
professor, academician of the Russian Academy  
of Sciences;  
**Zavrazhnov A.I.**, Doctor of Technical Science,  
professor, academician of the Russian  
Academy of Sciences;  
**Kuzmin V.N.**, Doctor of Economics;  
**Levshin A.G.**,  
Doctor of Technical Science, professor;  
**Lobachevsky Ya.P.**, Doctor of Technical Science,  
professor, academician  
of the Russian Academy of Sciences;  
**Morozov N.M.**, Doctor of Economics, professor,  
academician of the Russian Academy of Sciences;  
**Papstov A.G.**, Doctor of Economics, professor,  
academician of the Russian Academy of Sciences;  
**Polukhin A.A.**, Doctor of Economics, professor  
of the Russian Academy of Sciences;  
**Storchev V.F.**, Doctor of Technical Science,  
professor;  
**Tikhomirov D.A.**, Doctor of Technical Science,  
professor  
of the Russian Academy of Sciences;  
corresponding member of the Russian Academy  
of Sciences;  
**Tsoi Yu.A.**, Doctor of Technical Science,  
professor, corresponding member  
of the Russian Academy of Sciences;  
**Chernoivanov V.I.**, Doctor of Technical Science,  
professor, academician  
of the Russian Academy of Sciences;  
**Shogenov Yu.H.**, Doctor of Technical Science,  
academician  
of the Russian Academy of Sciences  
**Отдел рекламы**  
Горбенко И.В.  
**Верстка**  
Речкина Т.П.  
**Художник** Лапшина Т.Н.

**ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА**  
**MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA**

**В НОМЕРЕ**

**Техническая политика в АПК**

**Морозов Н.М., Федоренко В.Ф., Кирсанов В.В., Цой Ю.А.** Структура и цифровой программно-аппаратный комплекс совместной Российско-белорусской системы машин для сельского хозяйства ..... 2  
**Старостин И.А., Давыдова С.А., Ещин А.В., Гольяпин В.Я.** Анализ технических характеристик современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6 ..... 7

**Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения**

**Трактор RSM 2375: работать много и с умом** ..... 14  
**Ревенко В.Ю., Скорляков В.И., Юрина Т.А.** Изменение твердости почвы под воздействием колес зерноуборочного комбайна ACROS 550 ..... 16

**Технологии, машины и оборудование для АПК**

**Попов Р.А., Перов Г.А.** Анализ работы аппарата для измельчения стеблей технической конопли на отрезки заданной длины ..... 22  
**Гаджиев П.И., Шемякин А.В., Успенский И.А., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П.** Исследование влияния лопастного интенсификатора на полноту сепарации ..... 27  
**Булатов С.Ю., Зыкин А.А., Миронов К.Е., Сергеев А.Г., Шкилев Н.П.** Смеситель-дозатор сухих сыпучих материалов ..... 30  
**Катаев Ю.В., Гончарова Ю.А., Свиридов А.С., Тужилин С.П.** Применение технологий 3D-печати и 3D-сканирования при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники ..... 34

**Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК**

**Тихомиров Д.А., Яшин И.С., Хименко А.В., Кузьмичев А.В.** Физическое моделирование процесса сушки с применением термоэлектрического теплового насоса ..... 40

**Аграрная экономика**

**Свиридова С.А., Таркинский В.Е., Петухов Д.А.** Оценка современных смесителей-раздатчиков кормов ..... 46

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).  
Входит в ядро РИНЦ и базу данных RSCI

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым издание включено в Перечень ВАК:

- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки);  
4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки);  
5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

**Редакция журнала:**

141261, Московская обл., г.о. Пушкинский, рп. Правдинский, ул. Лесная, д. 60. Тел. (495) 993-44-04  
[fgnu@rosinformagrotech.ru](mailto:fgnu@rosinformagrotech.ru); [r\\_technica@mail.ru](mailto:r_technica@mail.ru) <https://rosinformagrotech.ru>



Перепечатка материалов, опубликованных в журнале,  
допускается только с разрешения редакции.

© «Техника и оборудование для села», 2023

Отпечатано в ФГБНУ «Росинформагротех»

Подписано в печать 24.01.2023 Заказ 9

УДК 631.3

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-2-6

# Структура и цифровой программно-аппаратный комплекс совместной Российско-белорусской системы машин для сельского хозяйства

**Н.М. Морозов,***акад. РАН, д-р экон. наук,  
проф., гл. науч. сотр.,  
vim@vim.ru***В.Ф. Федоренко,***акад. РАН, д-р техн. наук,  
проф., гл. науч. сотр.,  
f@taro.pro***В.В. Кирсанов,***чл.-корр. РАН, д-р техн. наук,  
проф., зав. отделом,  
kirvv2014@mail.ru***Ю.А. Цой***чл.-корр. РАН, д-р техн. наук,  
проф., гл. науч. сотр.,  
yu.a.tsoy@mail.ru  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)*

**Аннотация.** Показаны важность и актуальность разработки совместной Российско-белорусской системы машин (далее – РБСМ) для механизации сельскохозяйственного производства в рамках Союзного государства. Приведено обоснование структуры РБСМ и цифрового программно-аппаратного комплекса для ее реализации и информационной поддержки. Проведен расчет основных логистических структур РБСМ, основой эффективности которой будет являться рациональное перераспределение программ выпуска новой сельскохозяйственной техники в рамках Союзного государства, улучшение материально-технического и информационного обеспечения сельхозтоваропроизводителей.

**Ключевые слова:** система машин, импортозамещение, логистика, цифровой программно-аппаратный комплекс, сельхозмашиностроение, многофункциональный сервисный центр.

## Постановка проблемы

Система машин всегда носила характер определяющего документа,

на основании которого строилась научно-технологическая политика материально-технического обеспечения сельскохозяйственного производства. В СССР исследования по разработке Системы машин начали осуществляться под научно-методическим руководством ВИМ с 1953 г. Всего было разработано пять таких документов с периодичностью в пять-десять лет, что соответствовало требованиям комплексной механизации сельского хозяйства, срокам модернизации существующих и введению в перечень Системы машин (далее – СМ) новых типов техники [1]. Организация и контроль реализации принципов, заложенных в СМ, осуществлялись профильными министерствами и ведомствами (Минсельхоз, Госкомсельхозтехника, Министерство тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, Минживмаш и др.).

Последняя разработанная научными организациями ВАСХНИЛ, пятая по счету СМ, была принята на период 1981-1990 гг. В последующем разработка СМ продолжилась, но имела уже рекомендательный характер, а ее реализация не контролировалась государственными органами из-за перехода страны к рыночной экономике. Фактически это стало началом развала отечественного сельхозмашиностроения, базировавшегося в основном на крупных предприятиях, которые перестали получать госзаказы и не смогли быстро адаптироваться к новым социально-экономическим условиям. На рынок вышли зарубежные компании, которые через дилеров наладили поставки импортной техники и по многим позициям Россия превратилась из страны, произво-

дящей комбайны, тракторы, технику для механизации животноводства и другие сельхозмашины, в страну, ввозящую их из-за рубежа. Были подорваны основы индустриализации и экономического развития тракторных заводов и других предприятий сельхозмашиностроения.

Начало пятого технологического уклада в России ознаменовалось деиндустриализацией экономики, что в последующем предопределило ее преимущественно сырьевой характер. Даже самое простое оборудование стало ввозиться из-за рубежа, например станочное оборудование для свиноводства из Дании, клеточное оборудование для содержания птицы, системы автопоения для скотоводства из Германии и др.

Многие фирмы занимались «псевдопроизводством». Чтобы уйти от таможенных пошлин, технику ввозили по частям и собирали в России, быстро развивались так называемые «отверточные технологии», впоследствии уступившие место термину «локализация». В результате были потеряны почти все крупные специализированные заводы, которые значительно сократили объемы выпуска продукции или совсем прекратили существование. Кроме того, в животноводстве стали активно импортировать скот и птицу, генетический материал и др.

Однако при достаточно больших капиталовложениях и затратах большого скачка в развитии, на который надеялись в результате реализации нацпроектов в 2000-годы (особенно по животноводству), не произошло. Наибольший импульс в развитии получили «скороспелые» отрасли – птицеводство и свиноводство [2].

При этом в целом по отрасли возникла критическая ситуация с поставками отечественной техники.

В противовес этому в Республике Беларусь сохранили Систему машин для сельскохозяйственного производства. Предприятия сельхозмашиностроения продолжали развивать и осваивать выпуск новых типов машин и оборудования. В настоящее время Беларусь производит на душу населения 840 кг молока, Россия – всего 240 кг [3]. Все крупные животноводческие комплексы в России работают на импортном оборудовании и привозных комбикормах.

В условиях санкционного давления такая ситуация недопустима и требует неотложных мер по организации серийного производства современного отечественного автоматизированного и роботизированного комплекса машин с цифровыми технологиями, которые могли бы послужить основой создания новой СМ.

**Цель исследований** – разработать структуру новой совместной Российско-белорусской системы машин (РБСМ) и цифровой программно-аппаратный комплекс для ее реализации на основе всестороннего анализа рынка, мониторинга поставок, наличия и списания техники по регионам, в том числе импортной, экономической оценки ее использования и рентабельности производства продукции животноводства.

### Материалы и методы исследования

Методической основой выполняемой работы служат аналитические отчеты научных организаций Минобрнауки и Минсельхоза, данные статистических сборников Росстата и национального статистического комитета Республики Беларусь, аналитические отчеты ФГБНУ «Росинформагротех», данные национального доклада о ходе и результатах реализации Госпрограммы развития сельского хозяйства, Методические положения по разработке системы машин для комплексной механизации сельского хозяйства, изложенные в трудах академика РАН Н.М. Морозова, ученых ВИМ: д-ра техн. наук В.П. Елизарова и канд. с.-х. наук

В.М. Бейлиса, Принципы разработки и экономическая оценка системы машин для комплексной механизации сельского хозяйства (Коган Е.А. и др.), Методология межотраслевого анализа экономических систем Нобелевского лауреата В.В. Леонтьева, объединяющая теорию функционирования экономических систем, методы математического моделирования, приемы систематизации и обработки экономической информации.

В современных условиях Система машин может служить дополнительным институтом развития отрасли, соединяющим и координирующим сферы науки (разработки), производства (машиностроения) и потребления продукции (техники) сельхозтоваропроизводителями, позволит формировать потребность и социальный заказ на разработку новой техники, оптимизировать номенклатуру выпускаемой сельскохозяйственной техники и количественные показатели парка машин в рамках Союзного государства России и Беларуси.

К данной работе должны быть привлечены структуры Росагролизинга, департаменты и информационно-аналитические центры профильных министерств и ведомств, научные агроинженерные центры и сельхозвузы, Отделение сельскохозяйственных наук (ОСХН) РАН и др. При этом основными задачами исследований являются:

- разработка структуры совместной российско-белорусской цифровой РБСМ, включающей в себя федеральный и региональный компоненты, подкомплексы системы машин по растениеводству и животноводству с закрепленной ответственностью сторон (Россия/Беларусь);
- разработка цифрового программно-аппаратного комплекса для реализации и информационной поддержки РБСМ;
- обоснование приоритетного подкомплекса импортозамещающей техники, логистической структуры поставок, внедрения и сервисного обслуживания РБСМ;
- прогнозирование потребности по годам на плановый период (не менее 5 лет);

- разработка перечня типовых проектов животноводческих ферм (для отрасли животноводства).

Структурировать такую работу целесообразно по федеральным округам и природно-климатическим зонам для более четкого выявления тенденций развития, числа объектов ведения сельского хозяйства (ЛПХ, К(Ф)Х, сельхозорганизации) и заявок на новую технику, комплектующие узлы и агрегаты, наличия проблем с сервисным обслуживанием и др.

Целесообразность создания и организации многопрофильных сервисных центров в регионах по типу МФЦ, где фермеры бы получали консультации по рациональным вариантам ведения производства (растениеводство, животноводство) с технико-экономическим обоснованием и подбором соответствующего комплекса машин и оборудования была рассмотрена в работе [4]. Это позволит разработать адаптивную структуру заказов и поставок соответствующей сельскохозяйственной техники, выявить спрос и предложение по соответствующим вариантам импортозамещения.

Обобщая информацию по регионам, можно сформировать реальный парк машин и оборудования по растениеводству и животноводству и сделать прогнозные оценки по его развитию, а по исходящим от хозяйств заявкам определить номенклатуру наиболее востребованных машин [5]. В том числе по позициям, требующим срочного импортозамещения, что, в свою очередь, способствовало бы ускорению организации их разработки и серийного производства.

При этом целесообразно сформировать федеральный компонент РБСМ по основным позициям, требующим организации производства на заводах федерального уровня, и региональный компонент – на местах для производства несложных сельскохозяйственных орудий и приспособлений, запасных частей, нестандартных металлоконструкций и др. Федеральный компонент должен обеспечить поставки полнокомплектной техники (комбайны, тракторы, кормораздатчики, доильные агрега-

ты, танки-охладители молока и др.). В регионах (федеральных округах) можно наладить выпуск запасных частей, отдельных узлов и деталей для ремонта, в том числе, импортной техники, например, на базе аддитивных технологий, а также стойлового оборудования, навозоуборочных транспортеров, автопоилок для животноводства и др.

Академиком РАСХН Н.В. Краснощеквым [6, 7] предложена концепция трансадаптивного агроинжиниринга. Например, для объектов животноводства «переменная» составляющая оборудования, зависящая от размеров конкретных ферм (количество труб для молокопроводов и вакуумпроводов, стойловое оборудование, поилки, нестандартные металлоконструкции, ограждения кормового стола на фермах и др.) поставляется регионами, а базовые комплектующие и высокотехнологичная элементная база (вакуумные установки, доильные аппараты, индивидуальные и групповые счетчики молока [8], автоматы промывки электронные компоненты, системы автоматики, танки-охладители молока и др.) выпускаются на заводах федерального уровня для всей страны (возможно участие предприятий ОПК) [9].

Необходимо воссоздавать сервисные службы по типу бывшей «Сельхозтехники», которые бы представляли собой многопрофильные сервисные центры, осуществляющие консультирование, привязку и монтаж соответствующего оборудования и его сервисное обслуживание. Такая структура в полной мере соответствует требованиям рынка, включает в себя определенные механизмы планирования и способствует переходу фермеров на отечественные импортозамещающие технологии.

Заводы федерального уровня могли бы получать долговременные заказы, проводить техническое перевооружение и налаживать выпуск современной техники и комплектующих агрегатов. За наукой остается авторское сопровождение разработок, консультирование, корректировка федерального и регионального регистров РБСМ и др.

## Результаты исследований и обсуждение

Проведенный методологический анализ возможных способов построения совместной Российско-белорусской системы машин позволяет заключить, что структура РБСМ должна включать в себя федеральный и региональный компоненты, обеспечивать получение информации о наличии техники и потребности по регионам, программе выпуска и ремонта машин по отраслям производства. Все позиции системы машин должны пройти оценку технического уровня при испытаниях на МИС как в России, так и в Беларуси. При этом необходимо гармонизировать стандарты качества на выпускаемую технику, а первоочередные разработки – направить на импортозамещение высокотехнологичной техники.

РБСМ целесообразно создавать единой в рамках Союзного государства Россия-Беларусь, что позволит сократить номенклатуру выпускаемой техники и издержки на ее освоение и серийное производство [10]. РБСМ будет носить цифровой характер, номенклатуры техники ее федеральных и региональных регистров – корреспондироваться с заявками сельхозтоваропроизводителей на местах. Переход на новые технологии должен соответствовать кадровым и финансовым возможностям фермеров в разных регионах, а также проводимой научно-технологической политике государства в рамках ФНТП развития сельского хозяйства и сельских территорий в целом.

Решение о создании крупных животноводческих комплексов будет приниматься межведомственными комиссиями из представителей бизнеса, местной власти и научных организаций для всесторонней оценки комплексного влияния технологий на животных, экологию и окружающую среду. Необходимо восстановить центр по проектированию объектов животноводства (ранее такую функцию в Советском Союзе выполнял институт Гипронисельхоз). Это позволило бы обобщать передовой опыт и разрабатывать новые типовые проекты ферм с возможностью их адрес-

ной привязки к конкретным условиям ведения хозяйства.

Предлагаемая структура совместной Российско-белорусской системы машин (РБСМ) представлена на рис. 1.

В качестве приложений к разрабатываемой РБСМ следует отнести:

- разработку цифрового программно-аппаратного комплекса для реализации и информационной поддержки РБСМ;
- обоснование приоритетного подкомплекса импортозамещающей техники;
- обоснование логистической структуры поставок, внедрения и сервисного обслуживания СМ;
- прогнозирование потребности по годам на плановый период (не менее 5 лет);
- создание института по проектированию объектов животноводства с разработкой перечня типовых проектов животноводческих ферм.

Принимая во внимание неизбежное дублирование выпускаемой номенклатуры и типажей машин в России и Беларуси, следует сохранить сложившийся рыночный баланс поставок техники из Беларуси в Россию и наоборот. Однако в дальнейшем необходимо провести оценку ее технического уровня и принять соответствующее решение о целесообразности включения конкретных позиций в совместную РБСМ. Возможно также развитие кооперационных связей с взаимопоставками отдельных (лучших) комплектующих и узлов на сборочные производства машин каждой из сторон (двигатели, коробки, трансмиссии, электронные компоненты, автоматизированные системы управления и др.)

Контроль выполнения мероприятий по реализации РБСМ целесообразно возложить на профильные департаменты соответствующих министерств и ведомств Союзного государства, а выполнение научных разработок поручить ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Россия) и РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. В качестве приложения к предлагаемой структуре РБСМ следует разработать цифровой программно-





**Рис. 1. Структура совместной Российско-белорусской системы машин (РБСМ)**

аппаратный комплекс для реализации и информационной поддержки РБСМ (рис. 2).

Основными задачами данного цифрового комплекса должно стать информационное обеспечение сельхозтоваропроизводителей, улучшение координации и взаимодействия с наукой, бизнесом, предприятиями сельхозмашиностроения, лизинговыми, логистическими, сервисными и финансовыми структурами, обе-

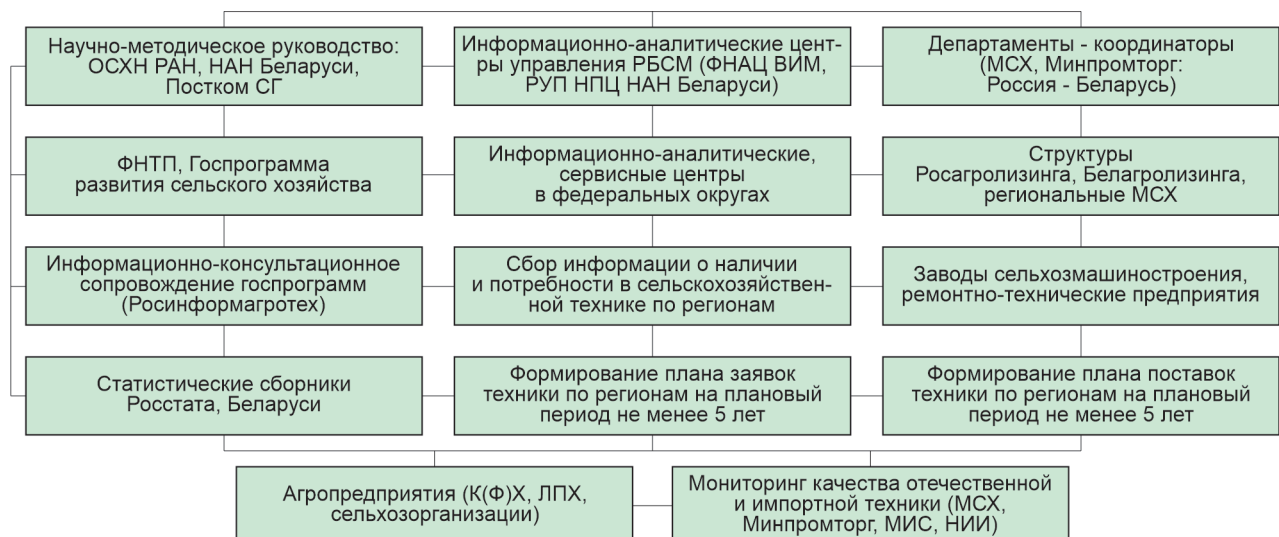
спечивающими консультирование, кредитование, финансирование и поставку техники агропредприятиям [11], повышение технического уровня, эксплуатационных свойств и финансовой доступности выпускаемой техники, качества ее сервисного обслуживания.

Важной составляющей разрабатываемой РБСМ является обоснование приоритетного подкомплекса импортозамещающей техники и

организация наладки ее сервисного обслуживания собственными силами, поскольку в условиях санкций наблюдается дефицит импортных запасных частей. Координация на уровне государств в этой сфере позволит существенно сократить затраты на разработку и освоение новой техники для АПК Союзного государства.

Логистические структуры в регионах должны обеспечить фактическое соответствие плана поставок техники плану заявок. Это очень важный момент, поскольку посевные, уборочные работы, реконструкция или строительство новых ферм выполняются обычно в весенне-летний период, что и предопределяет повышенный спрос на оборудование в это время. Поэтому целесообразно в регионах создавать совмещенные с сервисными центрами логистические базы для поставок и кратковременного хранения техники и оборудования, чтобы компенсировать сезонные пики спроса. Кстати, такие базы создавались еще в СССР, например, Ногинская и Михневская базы обслуживали хозяйства Московской области. Размер или вместимость конкретной логистической базы, выполняющей функцию «регулирующей емкости»  $A_p$ , будет определяться разностью потоков производства техники на заводах и ее заказов от сельхозтоваропроизводителей [12]

$$A_p = \sum \Sigma q_{ji}^n - \sum \Sigma q_{ji}^s, \quad (1)$$



**Рис. 2. Структура цифрового программно-аппаратного комплекса для реализации и информационной поддержки РБСМ**

где  $\sum \sum q_{ji}^n$ ,  $\sum \sum q_{ji}^a$  – соответственно суммарные потоки производства и заявок по машинам  $j$ -го типа (тракторы, зерно- и кормоуборочные комбайны, доильные установки) в  $i$ -м количестве.

В свою очередь, суммарный поток производства машин  $j$ -го типа в  $i$ -м количестве можно представить суммой потоков новой  $\sum \sum q_{ji}^{nn}$  и поддержанной техники вторичного рынка  $\sum \sum q_{ji}^{na}$ , аналогично по потокам заявок хозяйств

$$\begin{cases} \sum \sum q_{ji}^n = \sum \sum q_{ji}^{nn} + \sum \sum q_{ji}^{na} \\ \sum \sum q_{ji}^a = \sum \sum q_{ji}^{an} + \sum \sum q_{ji}^{am} \end{cases} \quad (2)$$

Тогда, выражение (1) переписывается как

$$A_p = (\sum \sum q_{ji}^{nn} + \sum \sum q_{ji}^{na}) - (\sum \sum q_{ji}^{an} + \sum \sum q_{ji}^{am}). \quad (3)$$

Рынок вторичной техники будет составлять списанная и капитально отремонтированная техника [13]. Аналогичные математические модели можно получить и по поставкам запчастей к сельхозтехнике.

Важнейший момент РБСМ – планирование поставок техники по регионам на среднесрочный период (не менее 5 лет), чтобы предприятия сельхозмашиностроения могли рационально рассчитать ресурсы, определиться с объемами поставок новой полнокомплектной, ремонтной и восстановлением поддержанной техники, а также производства запасных частей и агрегатов [14]. Безусловно, важнейшую роль при этом будет играть господдержка, субсидирование производства и приобретения по лизингу новой техники со стороны Минпромторга, Росагролизинга, финансирование сельхозтоваропроизводителей Россельхозбанком и др.

Целесообразно также отдельной позицией включить в РБСМ перечень новых типовых проектов животноводческих ферм и создать для этого специализированный институт или научное подразделение в рамках ФГБНУ ФНАЦ ВИМ по их разработке и авторскому сопровождению, что позволит управлять этим процессом на федеральном и региональном уровнях, наполняя проекты отечественным оборудованием.

## Выводы

1. Предлагаемая структура и цифровой программно-аппаратный комплекс для разрабатываемой совместной Российско-белорусской системы машин (РБСМ) для сельского хозяйства позволят сократить номенклатуру и количество выпускаемых типов машин путем рационального перераспределения программ выпуска сельскохозяйственной техники в рамках Союзного государства.

2. На основе РБСМ будет освоено производство высокотехнологичной импортозамещающей техники новых типов, улучшено материально-техническое и информационное обеспечение сельхозтоваропроизводителей, усилена координация и взаимодействие науки с предприятиями сельхозмашиностроения, лизинговыми, логистическими, сервисными и финансовыми структурами, обеспечивающими консультирование, кредитование, финансирование и поставки техники агропредприятиям. Повысится технический уровень, эксплуатационные свойства, финансовая доступность и качество сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники.

## Список

### используемых источников

1. Коган Е.А. Система машин в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. URL: <https://sxteh.ru> (дата обращения: 20.11.2022).
2. Фисинин В.И. Ресурсосберегающие технологии и конкурентоспособность отрасли // Птицеводство. 2020. № 1. С. 2.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический буклет. Минск, 2022. 36 с.
4. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Чепурина Е.Л. Концепция построения регионального многофункционального сервисного центра по молочному животноводству // Агроинженерия. 2021. № 1(101). С. 4-10.
5. Аналитический мониторинг инновационного развития сельского хозяйства / Мишуров Н.П., Гольяпин В.Я., Голубев И.Г., Кузьмин В.Н. и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022.
6. Краснощеков Н.В., Артюшин А.А. Трансадаптивный инжиниринг – основа новой технологической политики в АПК // Техника в сел. хоз-ве. 1994. № 5. С. 9-12.
7. Цой Ю.А. Общая схема явлений В.П. Горячкина и концепция построения техники на принципах трансадаптивности // Вестник ВНИИМЖ. 2016. № 2(22). С. 44-48.
8. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства / Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Гольяпин В.Я. и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022.
9. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н. Пути совершенствования оборудования для доения и первичной обработки молока // Тракторы и с.-х. машины. 2005. № 9. С. 41.
10. Система машин для механизации и автоматизации выполнения процессов при производстве продукции животноводства и птицеводства на период до 2030 года // Морозов Н.М., Гриднев П.И., Сыроватка В.И. и др. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021.
11. Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. Разработка счетчика индивидуальных надоев молока, удовлетворяющего требованиям международной организации ICAR // Техника и оборудование для села. 2015. № 7. С. 21-23.
12. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Юрочка С.С. Структурно-логистическая модель материальных потоков цифровой животноводческой фермы // Агроинженерия. 2020. № 5 (99). С. 26-32.
13. В «Башсельхозтехнике» и ремонтируют трактора, и собирают [Электронный ресурс]. URL: <https://rodnikplus.ru> (дата обращения: 20.11.2022).
14. Бурак П.И., Голубев И.Г., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Гольяпин В.Я. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019.

## Structure and Digital Hardware and Software Complex of the Joint Russian-Belarusian System of Machines for Agriculture

N.M. Morozov, V.F. Fedorenko, V.V. Kirsanov, Yu.A. Tsouy (VIM)

**Summary.** The importance and relevance of the development of a joint Russian-Belarusian system of machines (RBSM) for the mechanization of agricultural production within the framework of the Union State is shown. The substantiation of the structure of the RBSM and the digital software and hardware complex for its implementation and information support is given. The calculation of the main logistics structures of the RBSM was carried out, the basis for the effectiveness of which will be the rational redistribution of programs for the production of new agricultural equipment within the Union State, the improvement of the material, technical and information support of agricultural producers.

**Keywords:** machine system, import substitution, logistics, digital software and hardware complex, agricultural engineering, multifunctional service center.

УДК 629.3.01

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-7-12

# Анализ технических характеристик современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6

**И.А. Старостин,**

канд. техн. наук,  
ст. науч. сотр.,  
starwan@yandex.ru

**С.А. Давыдова,**

канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
davidova-sa@mail.ru

**А.В. Ещин,**

канд. техн. наук,  
ст. науч. сотр.,  
eschin-vim@yandex.ru  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

**В.Я. Гольяпин,**

канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
infrast@mail.ru  
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

**Аннотация.** Проведен анализ технических характеристик тракторов тягового класса 6 сельскохозяйственного назначения, определены их отличительные особенности и выявлены тенденции развития.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственный трактор, технический уровень, двигатель, трансмиссия, ВОМ, гидравлическая система.

## Постановка проблемы

Современные энергонасыщенные сельскохозяйственные тракторы общего назначения тягового класса 6 применяются для выполнения технологических операций по основной и предпосевной подготовке почвы, внесению удобрений, посеву, транспортным, погрузочно-разгрузочным, мелиоративным и другим общесельскохозяйственным работ. Данные тракторы наиболее востребованы в крупных сельскохозяйственных организациях с посевными площадями от 1,5 тыс. га.

В настоящее время тракторы тягового класса 6 выпускаются на отечественных предприятиях: АО «Пе-

тербургский тракторный завод» (Кировец К-742М), ООО «Петербургский машиностроительный завод» (Станислав-704), ООО «КЗ «Ростсельмаш» (RSM 2400), ЗАО «Агротехмаш-Т» (Terrion ATM 7360). Также на отечественный рынок поставляются импортные модели: Case, Claas, Fendt, John Deere, New Holland, Valtra.

Потребность отечественных сельскохозяйственных товаропроизводителей в колесных тракторах тягового класса 6 (оптимальный парк) оценивается в 12,6 тыс. ед. [1]. В 2020 г., по данным «АСМ-холдинг», в России произведено только 5,1 тыс. сельскохозяйственных тракторов [2]. В условиях существующей конкуренции на рынке таких тракторов производители стремятся повысить потребительские свойства и тем самым конкурентоспособность своей продукции. С этой целью они постоянно осуществляют мониторинг основных тенденций развития тракторов [3].

Сельскохозяйственные товаропроизводители стремятся выбрать тракторы, обладающие наиболее высокими эксплуатационными показателями и позволяющими эффективно выполнять сельскохозяйственные работы, обеспечив снижение себестоимости, экономию эксплуатационных затрат, минимальное негативное воздействие на окружающую среду и комфортные условия для оператора [4].

Таким образом, одной из важных задач как для тракторостроителей, так и сельскохозяйственных товаропроизводителей является проведение сравнительного анализа отечественных и зарубежных моделей сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6 с целью оценки их соответствия требованиям современных

агротехнологий, а также выявления тенденций дальнейшего развития.

**Цель исследования** – провести анализ основных технических характеристик и выявить отличительные особенности, тенденции и направления развития современных отечественных и зарубежных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6.

## Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступали технические характеристики и конструктивные особенности современных колесных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6, производящихся в России, ЕС и США. При расчете тягового класса сельскохозяйственных тракторов использовался ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы».

Основой исследования послужили интернет-ресурсы, информационные материалы российских и зарубежных предприятий-изготовителей сельскохозяйственных тракторов. В процессе исследования использовались такие методы, как информационный анализ и синтез, экспертный анализ, информационно-аналитический мониторинг.

## Результаты исследований и обсуждение

В соответствии с ГОСТ 27021-86 определены тяговые характеристики колесных сельскохозяйственных тракторов из модельных рядов основных отечественных и зарубежных производителей. На основании расчетов, а также информации производителей о принадлежности выпускаемых

ими тракторов к тяговому классу 6 для исследования выбраны следующие модели колесных тракторов: Кировец К-742 М, Станислав-704, RSM 2400, Terrion ATM 7360, Case Steiger 400, Claas AXION 950, Fendt 1038 Vario, John Deere 9420R, New Holland T8.435, Valtra S394. На рис. 1 в форме гистограмм представлены расчетные значения тягового усилия рассматриваемых тракторов. Все модели являются полноприводными, большинство из них (60 %) имеет классическую компоновку.

Полученные значения показывают, что наибольшим расчетным тяговым усилием среди рассматриваемых моделей обладают John Deere 9420R (72 кН) и RSM 2400 (70 кН). При этом расчетные значения тягового усилия для тракторов Valtra S394 (47 кН), New Holland T8.435 (49 кН) Claas AXION 950 (51 кН) оказались ниже минимального значения тягового усилия для тракторов тягового класса 6. Таким образом, данные модели тракторов могут работать с сельскохозяйственными агрегатами, предназначенными для агрегатирования с тракторами тягового класса 6, только при условии увеличения их массы за счет балласта.

Рассмотренные модели тракторов оснащаются в основном рядными шестицилиндровыми дизельными двигателями, а Кировец К-742М и Станислав-704 имеют V-образные

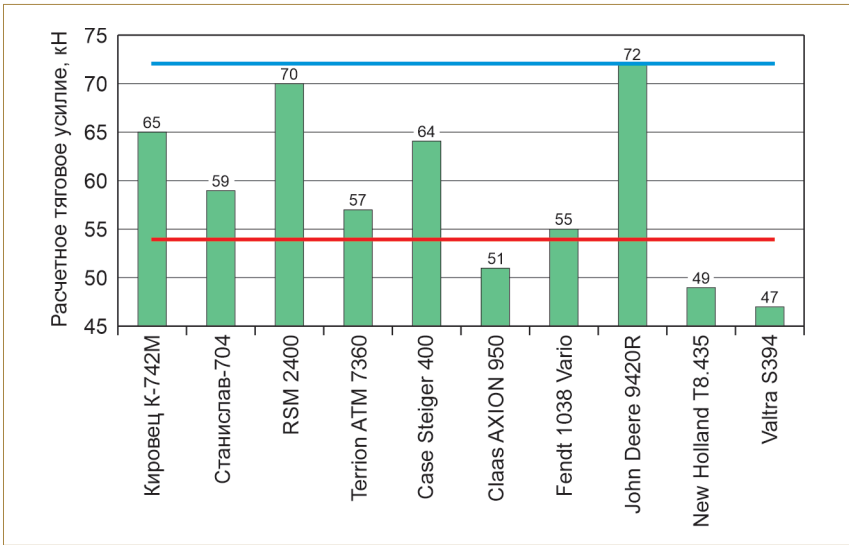


Рис. 1. Расчетное тяговое усилие сельскохозяйственных тракторов, кН (тяговый класс 6):

- – расчетное тяговое усилие тракторов;
- – минимальное тяговое усилие;
- – максимальное тяговое усилие

восьмицилиндровые дизельные двигатели. На выбранных тракторах используются двигатели в мощностном диапазоне 268-309 кВт, при этом 70 % из них оснащаются двигателями мощностью 294-298 кВт, основные технические характеристики которых представлены в табл. 1.

Большинство рассматриваемых тракторов имеют двигатели объемом 8,4-12,9 л (70 %) и крутящий момент 1715-1910 Н·м (50 %). Кировец К-742М оснащается двигателем

ТМЗ-8481.10-04, который по сравнению с рассматриваемыми зарубежными моделями обладает более высокой мощностью, наибольшим объемом и крутящим моментом. Двигатель с наименьшей мощностью и крутящим моментом устанавливают на Terrion ATM 7360. Наибольший коэффициент запаса крутящего момента имеет RSM 2400 (49%), наименьший – Fendt 1038 Vario (17%), но при этом он отличается наименьшим удельным расходом топлива – 197 г/кВт·ч.

Таблица 1. Характеристики двигателей сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6

| Марка и модель трактора | Марка двигателя       | Мощность, кВт/л.с. | Объем, л | Максимальный крутящий момент, Н·м | Коэффициент запаса крутящего момента, % | Удельный расход топлива, г/кВт·ч | Экологический класс |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Кировец К-742М          | ТМЗ-8481.10-04        | 309/420            | 17,24    | 1962                              | 50,8                                    | 230                              | Euro-0              |
| Станислав-704           | ЯМЗ-7511              | 294/400            | 14,9     | 1715                              | Н.д.                                    | 215                              | Euro-2              |
| RSM 2400                | Cummins QSM 11        | 298/405            | 10,8     | 1898                              | 49                                      | Н.д.                             | Tier 3              |
| Terrion ATM 7360        | Deutz TCD 2013 L06 4V | 268/365            | 7,15     | Н.д.                              | Н.д.                                    | Н.д.                             | Н.д.                |
| Case Steiger 400        | FPT Cursor 13         | 298/406            | 12,9     | 1899                              | 40                                      | Н.д.                             | Tier 2              |
| Claas AXION 950         | FPT Cursor 9          | 298/406            | 8,7      | 1650                              | Н.д.                                    | Н.д.                             | Tier 4              |
| Fendt 1038 Vario        | MAN                   | 291/396            | 12,4     | 1910                              | 17                                      | 197                              | Stage 5             |
| John Deere 9420R        | PowerTech 9.0         | 297/403            | 9        | 1938                              | 38                                      | Н.д.                             | Stage 2             |
| New Holland T8.435      | FPT Cursor 9          | 296/402            | 8,7      | 1850                              | 36                                      | Н.д.                             | Tier 2              |
| Valtra S394             | AGCO POWER 84 AWF     | 294/400            | 8,4      | 1540                              | Н.д.                                    | Н.д.                             | Stage 4             |



В настоящее время в Российской Федерации в соответствии с ГОСТ Р 41.96-2011 действуют экологические нормы, эквивалентные по своим требованиям нормам Stage III [5, 6]. Данному требованию не соответствуют Кировец К-742 М, Станислав-704, Case Steiger 400, John Deere 9420R, New Holland T8.435.

С целью достижения максимальных показателей мощности, экономичности и экологичности двигателей производители применяют турбо-нагнетатели, системы охлаждения наддувочного воздуха, четырехклапанную систему газораспределения, электронные системы управления мощностью, аккумуляторные топливные системы высокого давления Common Rail с электронным управлением [7-9]. В двигателях всех рассматриваемых тракторов применяется турбонаддув и система охлаждения наддувочного воздуха; четырехклапанная система газораспределения (кроме Станислав-704); аккумуляторная топливная система высокого давления Common Rail и электронные системы управления мощностью (за исключением Кировец К-742 М, Станислав-704, Terrion ATM 7360). Основные характеристики трансмиссий рассматриваемых тракторов представлены в табл. 2.

В стандартных комплектациях рассматриваемых тракторов применяются полуавтоматические (20 %) и автоматические (80 %) трансмиссии, при этом используются ступенчатые (50 %) и бесступенчатые (50 %) коробки переключения передач. Число передач переднего хода в ступенчатых КПП рассматриваемых моделей составляет 12-18, а заднего хода – 2-8. Преобладающее большинство моделей (60 %) имеет минимальную скорость движения вперед до 0,05 км/ч, а максимальную – 40-50 км/ч. Минимальная скорость движения назад составляет преимущественно до 0,05 км/ч, а максимальная – 14,70-50 км/ч.

Рассматриваемые модели тракторов (70 %) имеют длину 6300-7493 мм, ширину – 2550-3050 мм, высоту – 3435-3843 мм (табл. 3). При этом только у Terrion ATM 7360, New Holland T8.435 и Valtra S394 габаритная ширина не превышает законодательно установленной максимальной ширины мобильных средств – 2550 мм, что позволяет им передвигаться по дорогам общего пользования без специального разрешения и сопровождения.

Одним из показателей, характеризующих геометрическую проходимость трактора, является дорожный просвет. Существующие требования

не регламентируют значение данного показателя для колесных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6. С целью осуществления приближенной оценки будем ориентироваться на существующие требования к колесным сельскохозяйственным тракторам общего назначения тягового класса 5 – не менее 540 мм [10]. Данному требованию удовлетворяют только тракторы Claas AXION 950 и Fendt 1038 Vario.

Колесная база трактора является одним из показателей, влияющих, с одной стороны, на продольную устойчивость трактора, а с другой, – на его маневренность. Рассматриваемые модели в основном имеют колесную базу – 3130-3750 мм, колею переднюю – 1727-2190 мм, заднюю – 1917-2237 мм.

Маневренность тракторов характеризует наименьший радиус поворота. Данный показатель для колесных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6 не регламентирован. С целью приближенной оценки будем ориентироваться на существующие требования к колесным сельскохозяйственным тракторам общего назначения тягового класса 5 – не более 7,2 м [10]. Данному требованию не удовлетворяют тракторы Кировец К-742М, Станислав-704 и Valtra S394. Наименьший

**Таблица 2. Характеристика трансмиссий сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6**

| Марка трактора     | Тип коробки передач, число передач вперед/назад                                                               | Скорость движения (min-max), км/ч |             |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
|                    |                                                                                                               | вперед                            | назад       |
| Кировец К-742М     | Автоматическая бесступенчатая с переключением 4 передач внутри 4 диапазонов без разрыва потока мощности, 16/8 | 5,14-36                           | 6,21-23,2   |
| Станислав-704      | Полуавтоматическая с переключением передач внутри диапазона без разрыва потока мощности, 12/4                 | 0-33,8                            | 0-24,3      |
| RSM 2400           | Полуавтоматическая с переключением 4 передач внутри 3 диапазонов без разрыва потока мощности, 12/4            | 4,8-35                            | 39,97-28,87 |
| Terrion ATM 7360   | Автоматическая бесступенчатая                                                                                 | 0-40                              | 0,03-40     |
| Case Steiger 400   | Автоматическая с переключением передач без разрыва потока мощности, 16/2                                      | 4,5-40                            | 6,90-14,70  |
| Claas AXION 950    | Автоматическая бесступенчатая с 3 диапазонами                                                                 | 0,05-50                           | 0,05-50     |
| Fendt 1038 Vario   | Автоматическая бесступенчатая                                                                                 | 0,02-60                           | 0,02-33     |
| John Deere 9420R   | Автоматическая с переключением передач без разрыва потока мощности, 18/6                                      | 2,9-40                            | 0,4-40      |
| New Holland T8.435 | Автоматическая бесступенчатая                                                                                 | 0,03-40                           | 0,97-50     |
| Valtra S394        | Автоматическая бесступенчатая                                                                                 | 0,03-50                           | 0,03-38     |

Таблица 3. Размерные и агротехнические характеристики сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6

| Марка трактора     | Габаритные размеры, мм | Агро-технический просвет, мм | Колесная база, мм | Колея передних/задних колес, мм | Минимальный радиус разворота, м | Эксплуатационная масса, кг |
|--------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Кировец К-742М     | 7350×3100×3970         | 454                          | 3750              | 2158 / 2158                     | 7,98                            | 16630                      |
| Станислав-704      | 7000×2950×3500         | 454                          | 3750              | Н.д.                            | 7,98                            | 15000                      |
| RSM 2400           | 7340×2655×3721         | Н.д.                         | 3380              | 1917 / 1917                     | 4,9                             | 17900                      |
| Terrion ATM 7360   | 6300×2500×3240         | 500                          | 3130              | Н.д.                            | Н.д.                            | 14600                      |
| Case Steiger 400   | 7493×3048×3843         | Н.д.                         | 3759              | Н.д.                            | 5,7                             | 16351                      |
| Claas AXION 950    | 5744×2937×3452         | 611                          | 3150              | 2190 / 2190                     | 6,8                             | 13060                      |
| Fendt 1038 Vario   | 6350×2750×3470         | 600                          | 3300              | 2100 / 2000                     | 6,97                            | 14000                      |
| John Deere 9420R   | 7593×3050×3979         | Н.д.                         | 3807              | Н.д.                            | 5,9                             | 18250                      |
| New Holland T8.435 | 6477×2534×3435         | 409                          | 3550              | 1727 / 2237                     | 6,9                             | 12514                      |
| Valtra S394        | 4868×2550×3382         | 472                          | 3105              | Н.д.                            | 7,4                             | 12000                      |

радиус поворота имеет RSM 2400 – 4,9 м, при этом у него достаточно длинная колесная база – 3380 мм, что объясняется конструктивными особенностями поворотного механизма, обеспечивающего большой угол складывания полурам.

При агрегатировании сельскохозяйственных тракторов с различными машинами и орудиями, особенно навесными и полуприцепными, предъявляются определенные требования к грузоподъемности навесной системы. Среди рассматриваемых моделей тракторов наибольшей грузоподъемностью задней навесной системы обладают Fendt 1038 Vario (12920 кг), а наименьшей – RSM 2400 (5900 кг). Передняя навесная система на рассматриваемые тракторы устанавливается опционально и имеет грузоподъемность от 5584 кг (Fendt 1038 Vario) до 6500 кг (Claas AXION 950).

В современных тракторах для управления навесной системой, изменения положения и привода рабочих органов используется гидравлическая система, производительность которой значительно влияет на эффективность самого трактора и создаваемых машинно-тракторных агрегатов. Рассматриваемые модели имеют производительность стандартной гидравлической системы от 107 (Станислав-704) до 220 л/мин (John Deere 9420R), большинство (60 %) – 150-170 (рис. 2).

Максимальную производительность гидравлической системы оп-

ционально имеют John Deere 9420R (435 л/мин – на 98 % выше стандартной), Fendt 1038 Vario (430 л/мин – на 161 % выше) и Case Steiger 400 (428 л/мин – на 169 % выше стандартной). В остальных моделях опционально производительность гидравлической системы повышается на 29-73 %

При комплектовании машинно-тракторных агрегатов, состоящих из трактора тягового класса 6 и сельскохозяйственной машины, имеющей активный привод рабочих органов, значительное влияние на эффективность выполнения технологической операции имеют параметры вала отбора мощности (BOM) тракто-

ра. Большинство рассматриваемых моделей (60 %) имеет в стандартной комплектации независимый задний BOM с частотой вращения 1000 мин<sup>-1</sup>, остальные – 540/1000 (New Holland T8.435), 540E/1000 (Terrion ATM 7360, Valtra S394), 1000/1000E/1300 (Fendt 1038 Vario). На рассматриваемые модели тракторов опционально устанавливается BOM с параметрами 540E/1000 (Claas AXION 950) и 1000/1000 E (Claas AXION 950, Valtra S394). Передаваемая через задний BOM мощность составляет, кВт: 189 (Кировец К-742М), 235 (New Holland T8.435), 250 (John Deere 9420R), 283 (Claas AXION 950), 294 (Case Steiger 400),

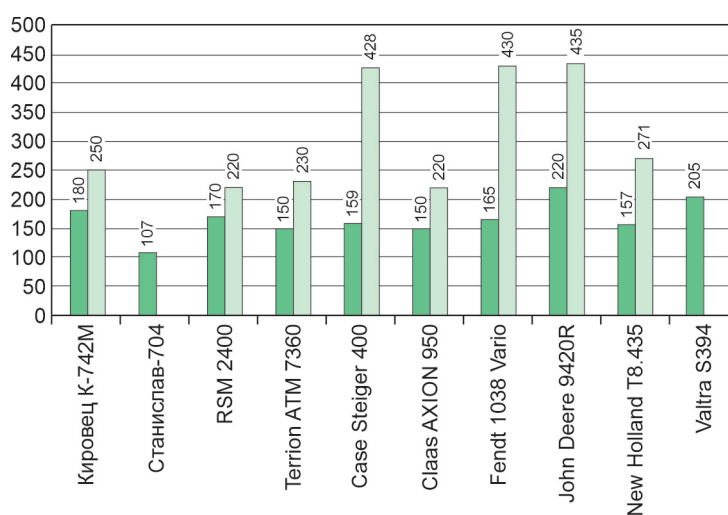


Рис. 2. Производительность гидравлической системы сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6, л/мин:

■ – стандартная; ■ – опциональная

или соответственно 61, 79, 84, 95 и 99 % мощности установленного двигателя. Передний ВОМ преимущественно имеет один режим работы –  $1000 \text{ мин}^{-1}$ , устанавливается опционально и позволяет передавать мощность значительно ниже, чем задний ВОМ.

Анализ представленной производителями информации о технических характеристиках, конструктивных особенностях и инновационных технических решениях тракторов тягового класса 6 показывает, что основными направлениями их совершенствования являются повышение производительности, экономической эффективности, надежности, снижение негативного воздействия на окружающую среду, улучшение условий работы оператора.

Повышения мощности, топливной экономичности, экологичности используемых дизельных двигателей достигают путем обеспечения оптимальных условий сгорания топлива. Для этого стремятся увеличить объем подаваемого в цилиндры двигателя воздуха, применяя одно- и двухступенчатые турбокомпрессоры, системы изменения геометрии турбин турбокомпрессоров, охлаждения нагнетаемого воздуха (интеркуллеры) и газораспределения с четырьмя клапанами на цилиндр. Другими направлениями повышения эффективности сгорания топлива являются обеспечение более высокого давления подачи топлива в цилиндр, точной дозировки подачи топлива и возможности нескольких впрысков топлива за один цикл подачи благодаря использованию аккумуляторной топливной системы Common Rail [7-9].

Некоторые производители сельскохозяйственных тракторов представляют потребителям на выбор несколько комплектаций, отличающихся конструкцией и характеристиками трансмиссии. Наибольшее распространение получают автоматические ступенчатые трансмиссии с переключением передач без разрыва потока мощности и автоматические бесступенчатые трансмиссии. При этом одна и та же модель может комплектоваться в различных

модификациях как ступенчатыми, так и бесступенчатыми трансмиссиями. Бесступенчатые позволяют плавно регулировать передаточное отношение и устанавливать наиболее эффективные согласованные режимы работы двигателя и трансмиссии. При этом становится возможным обеспечить максимальные показатели производительности и топливной экономичности [7-9]. Некоторые современные тракторы тягового класса 6 развивают транспортные скорости 50-60 км/ч. Для обеспечения безопасности движения на таких скоростях применяются сложные тормозные системы, антиблокировочные системы тормозов, системы курсовой устойчивости [9].

Снижение удельного давления на почву и повышение тяговых характеристик тракторов достигается применением шин низкого давления с системами управления давлением (позволяют поддерживать внутри шин определенный уровень давления, регулирующий в зависимости от типа выполняемых работ, нагрузки на оси трактора, влажности почвы, несущей способности грунта), спаренных колес, полугусеничных или полностью гусеничных движителей с резиномаркированными гусеницами (для своевременного проведения технологических операций в тяжелых условиях переувлажненных почв).

В связи с ростом ассортимента машин, имеющих активные рабочие органы и требующих в связи с этим передачи механической энергии от двигателя трактора, возникают особые требования к ВОМ: обеспечение возможности передачи сельскохозяйственной машине полной вырабатываемой двигателем трактора мощности при выполнении энергоемких операций; нескольких режимов работы, позволяющих снизить частоту вращения коленчатого вала двигателя и, соответственно, расход топлива при выполнении не требующих полной мощности двигателя работ.

Использование широкозахватных сельскохозяйственных машин и орудий, оснащенных множеством механизмов, приводящихся в действие или в движение от гидравлической

системы трактора, требует большого числа гидровыходов, высокой производительности гидросистемы, применения систем регулирования потока масла и давления в гидравлической системе, позиционного регулирования навесных систем.

Снижению влияния на оператора негативных производственных факторов (шум, вибрация, воздействие высоких температур и т.д.) способствуют следующие технические решения: системы поддрессирования кресла оператора, кабины, а в некоторых случаях и мостов трактора; современные выхлопные системы и шумоизоляция кабин; системы отопления и кондиционирования; увеличение площади остекления кабины. С целью снижения выполняемых оператором действий и тем самым нагрузки и вероятности возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором, применяются различные электронные помощники: системы, способные запомнить действия оператора при первом проходе и воспроизводить их автоматически при последующих (автоматическое движение по записанной траектории, развороты, подъем и опускание рабочих органов, включение и отключение ВОМ или гидропривода сельскохозяйственной машины); навигационные системы с функцией автовождения (учитывают ширину захвата орудия, способны автоматически выстраивать оптимальную траекторию движения и вести по ней трактор, обеспечивая при этом точность вождения до 1,5-2 см). Помощники позволяют оператору освободиться от выполнения монотонных, повторяющихся действий и сконцентрировать свое внимание на контроле и управлении технологическим процессом, что способствует росту производительности и топливной экономичности машинно-тракторного агрегата, снижению расхода семенного материала и удобрений. Развитие данных систем автоматического управления машинно-тракторным агрегатом позволит в дальнейшем создавать автономные роботизированные средства для перехода к цифровому сельскохозяйственному производству [10, 11].

## Выводы

1. В настоящее время бóльшая часть выпускающихся колесных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6 имеют классическую компоновку, оснащаются в основном рядными шестицилиндровыми и V-образными восьмицилиндровыми дизельными двигателями мощностью 294-298 кВт, объемом – 8,4-12,9 л, крутящий момент – 1715-1910 Н·м.

2. В стандартных комплектациях рассматриваемых тракторов применяются полуавтоматические и автоматические трансмиссии, при этом в равной степени используются ступенчатые и бесступенчатые коробки переключения передач. Большинство тракторов имеют в стандартной комплектации независимый задний ВОМ с частотой вращения 1000 мин<sup>-1</sup>; остальные – задний ВОМ с параметрами 540/1000, 540E/1000, 1000/1000E/1300. Передаваемая через задний ВОМ мощность составляет 61-99 % мощности установленных двигателей. Передний ВОМ преимущественно имеет один режим работы – 1000 мин<sup>-1</sup> и устанавливается опционально.

3. Анализ представленной производителями информации о технических характеристиках, конструктивных особенностях и инновационных технических решениях сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6 показывает, что основными направлениями совершенствования являются повышение производительности, экономической эффективности, надежности, снижение негативного воздействия на окружающую среду, улучшение условий работы оператора.

4. Повышения мощности, топливной экономичности и экологичности используемых дизельных двигателей внутреннего сгорания достигают за счет применения одно- и двухступенчатых турбоагнетателей, систем изменения геометрии турбин турбоагнетателей, систем охлаждения нагнетаемого воздуха (интеркуллеры), систем газораспределения с четырьмя клапанами на цилиндр, аккумуляторной топливной системы Common Rail. Наибольшее распро-

странение получают автоматические ступенчатые трансмиссии с переключением передач без разрыва потока мощности и автоматические бесступенчатые трансмиссии.

5. Для обеспечения безопасности движения тракторов на высоких транспортных скоростях применяются сложные тормозные системы, антиблокировочные системы тормозов, системы курсовой устойчивости. Снижения удельного давления на почву и повышения тяговых характеристик современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 6 достигают установкой спаренных колес, применением шин низкого давления с системами управления давлением, использованием полугусеничных или полностью гусеничных модификаций тракторов на резиноармированных гусеницах.

## Список использованных источников

1. Старостин И.А., Загоруйко М.Г. Материально-техническая база сельского хозяйства: обеспеченность тракторами и состояние тракторостроения // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 126-130.
2. Производство и продажа тракторной и сельскохозяйственной техники производителями России и других стран СНГ: анализ. обзор. М.: ОАО «АСМ-холдинг». 2020. 109 с.
3. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. 2015. № 1 (65). С. 31-35.
4. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Экономическая эффективность входного контроля качества сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. 2009. № 7 (38). С. 15-17.
5. Davydova S.A. and Starostin I.A. Compliance of modern agricultural tractors presented on Russian market with global emission standards // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. № 659 (2021) 012119.
6. Давыдова С.А., Старостин И.А. Класс экологичности современных сельскохозяйственных тракторов // АгроЭкоИнфо. 2020, № 2 [Электронный ресурс]. URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATY/2020/1/st\\_214.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATY/2020/1/st_214.pdf) (дата обращения: 07.10.2021).

7. Дорохов А.С., Давыдова С.А., Старостин И.А., Гольяпин В.Я. Анализ технического уровня современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 1,4 // Техника и оборудование села. 2020. № 12 (28). С. 8-13.

8. Давыдова С.А., Старостин И.А., Ещин А.В., Гольяпин В.Я. Анализ технического уровня современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 2 // Техника и оборудование для села. 2021. № 3 (285). С. 2-9.

9. Старостин И.А., Давыдова С.А., Ещин А.В., Гольяпин В.Я. Тенденции развития современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 3 // Техника и оборудование для села. 2021. № 9. С. 2-8.

10. Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники: инструктивно-метод. изд. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 188 с.

11. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Самсонов В.А. Приоритетные направления научно-технического развития отечественного тракторостроения // Техника и оборудование села. 2021. № 2 (284). С. 2-7.

12. Starostin I.A., Belyshkina M.E., Chilingaryan N.O., Alipichev A.YU. Digital technologies in agricultural production: implementation background, current state and development trends // Agricultural engineering. 2021. No. 3 (103). Pp. 4-10.

## Analysis of the Technical Characteristics of Modern Agricultural Tractors of Traction Class 6

I.A. Starostin, S.A. Davydova, A.V. Eshchin  
(VIM)

V.Ya. Golyapin  
(Rosinformagrotekh)

**Summary.** The analysis of the technical characteristics of tractors of traction class 6 for agricultural purposes was carried out, their distinctive features were determined and development trends were identified.

**Keywords:** agricultural tractor, technical level, engine, transmission, PTO, hydraulic system.



# КормВет <sup>ЭКСПО</sup> 2023

**МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
ВЫСТАВКА КОРМОВ, КОРМОВЫХ ДОБАВОК,  
ВЕТЕРИНАРИИ И ОБОРУДОВАНИЯ**

**24 - 26 ОКТЯБРЯ**

**МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО», ПАВИЛЬОН 2**

**ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ**



**МИНСЕЛЬХОЗ  
РОССИИ**



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
КОРМОВОЙ СОЮЗ**



**РОССЕЛЬХОЗНАДЗОР**



**FEEDVET-EXPO.RU**

**НАС ВЫБИРАЮТ ПРОФЕССИОНАЛЫ!**

**ТЕЛ.: +7 (499) 236-72-20, +7 (499) 236-72-50, 8-800-100-72-50,  
E-MAIL: INFO@FEEDVET-EXPO.RU**

**ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ ООО "ДЕКАРТС СИСТЕМ"  
119049, Г. МОСКВА, ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ, 2/2А, ОФИС 326**



# Трактор RSM 2375: работать много и с умом

Работа для трактора находится в течение всего сельскохозяйственного сезона. И главное, каждая операция должна быть выполнена в минимальные сроки. Именно поэтому так востребованы агромашины, которые способны работать много и «без капризов».

Полноприводные шарнирно-сочлененные тракторы Ростсельмаш модели 2375 это умеют. Их основные мощностные характеристики и параметры гидравлической системы указаны в таблице.

Трактор Ростсельмаш 2375 создан для работы на энергоемких полевых операциях с широкозахватными орудиями и агрегатами. Он способен качественно обработать за сезон порядка 12 тыс. га (суммарно). В разных хозяйствах складываются и различные предпочтения по выбору типа орудий – прицепные, навесные/полунавесные. И производитель по-прежнему дает сельхозпредприятиям возможность выбора варианта изготовления узла агрегатирования. Так, можно приобрести трактор лишь с тяговым брусом категории CAT IV – стандартным или усиленным с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 2 722 или 4 082 кг соответственно.

## Техническая характеристика

|                                                               |                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Номинальная/максимальная мощность, л.с.                       | 380/405                                                                                        |
| Двигатель                                                     | 10,8 л, 6 цилиндров, 24 клапана, фильтр-сепаратор, электронный программируемый блок управления |
| Максимальный крутящий момент при 1 400 мин <sup>-1</sup> , Нм | 1898                                                                                           |
| Запас крутящего момента, %                                    | 49                                                                                             |
| Производительность и давление гидравлической системы          | 170 л/мин, 200-210 бар                                                                         |
| Конфигурация гидравлической системы                           | 4 пары гидромуфт 1/2", соединительные муфты 1", муфта обратного слива 3/8"                     |
| Тип управления гидравлической системой                        | Механический                                                                                   |
| Колеса (сдвоенные передние и задние)                          | 520/85R42 или 710/70R38                                                                        |







Можно выбрать вариант с тяговым брусом и трехточечным навесным устройством CAT IVN/III грузоподъемностью 5 900 кг на 610 мм от оси подвеса. Устройство комплектуется рамкой для быстрой сцепки, по желанию его можно доукомплектовать системой контроля положения орудия.

Выполнять в кратчайшие сроки огромные объемы работ трактору Ростсельмаш 2375 позволяет не только мощный двигатель – на это нацелены все инженерно-технические решения, примененные при разработке этой «брутальной» агромашины.

Сама конструкция трактора отлично сбалансирована: развесовка по осям практически идеальна, а благодаря расположенному в центре масс топливному баку остается постоянной в течение работы. Узел соединения полурам делает трактор действительно «гибким»: за счет их способности «качаться» по вертикали на угол 15° по каждому борту (суммарно – 30°) движители агромашины остаются в зацеплении с грунтом даже на очень неровном рельефе. При внушительных габаритах и спаренных колесах трактор при развороте вписывается в радиус 4,86 м.

Ростсельмаш 2375 можно эксплуатировать и на одинарных колесах. Желание приобретать тракторы без спарки выказывали многие сельхозпроизводители, по-

скольку не везде поля и дороги позволяют использовать «широкие» агромашины. Производитель такую возможность предоставил.

В просторной кабине комфортно всегда: хорошие герметизация и шумоизоляция, круговой обзор, эффективные кондиционер и отопитель, кресло на пневмоподвеске с множеством настроек и регулируемая рулевая колонка. Как и ранее, все модели тракторов Ростсельмаш 2000 комплектуются трансмиссией с механической КПП. Она идеально адаптирована к двигателям, высокопроизводительна и долговечна. Теперь вместо приборной панели — сенсорный монитор, с которого можно выполнять настройки работы узлов и агрегатов, а также включать радио или запускать воспроизведение MP3. Система РСМ Агротроник установлена в базовой комплектации.

Производитель позаботился и о безопасности работы в темное время суток: светодиодные лампы фар дают мощный, стабильный и комфортный для зрения световой поток. А «высветить» недоступные глазу объекты поможет система РСМ Ночное видение. Все эти электронные функции значительно облегчают труд механизатора и что немаловажно, обеспечивают рост производительности на 20-30 % и снижение расхода топлива на 10-20.

УДК 631.3.012

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-16-20

# Изменение твердости почвы под воздействием колес зерноуборочного комбайна ACROS 550

**В.Ю. Ревенко,***канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
skskniish@rambler.ru***В.И. Скорляков,***канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
skorlv@yandex.ru***Т.А. Юрина,***науч. сотр., аспирант,  
agrolaboratoriya@mail.ru  
(Новокубанский филиал  
ФГБНУ «Росинформагротех»  
[КубНИИТиМ])*

**Аннотация.** Приведены результаты развесовки зерноуборочного комбайна ACROS 550 с жаткой шириной 7 м с пустым и заполненным бункером. Установлены диапазоны изменения значений максимального нормального давления на почву колес комбайна, твердости почвы и ее сопротивления обработке плугом применительно к началу и окончанию рабочего цикла заполнения бункера зерном.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, эксплуатационная масса, максимальное нормальное давление, твердость почвы, сопротивление обработке плугом.

## Постановка проблемы

В результате многочисленных опытов, проведенных в различных регионах России, доказано, что рост давления движителей техники на почву приводит к снижению урожайности различных культур. Так, при давлении 150-200 кПа и числе проходов по одному следу от 1 до 5 недобор урожая в колее варьируется от 8 до 35 %. Кроме того, переуплотнение почвы приводит к увеличению затрат на её последующую обработку. Известно, что при увеличении твердости почвы в слое 0-30 см с 1,2 до 2,4 МПа сопротивление обработке плугом возрастает в 1,9 раза [1].

Уплотнение почвы зерноуборочной техникой по сравнению с уплотнением почвообрабатывающими агрегатами на весенних обработках почвы привлекает меньшее внимание исследователей. Считается, что зерноуборочные комбайны в большинстве случаев работают в периоды со сравнительно невысокой влажностью, а после уборочных работ почву приводят в надлежащее состояние посредством почвообрабатывающих операций. Но при этом не учитываются изменение массы комбайнов вследствие заполнения бункера зерном, а также тенденция на увеличение вместимости бункеров в последние годы. В результате общая масса комбайна, перемещаемая по полю с опорой на четыре колеса, может достигать до 32 т, вызывая негативные последствия для плодородия почвы.

В варианте «без жатки и с пустым бункером» величина максимального давления на почву для всего применяемого размерного ряда комбайнов изменяется в пределах 148-213 кПа, при «заполненном бункере и навешенной жатке» – 185-335 кПа. Наибольшие значения характерны для комбайнов с наибольшей вместимостью бункеров 9,5-12 м<sup>3</sup>. В этом случае превышение допустимого уровня максимального нормального давления на почву (например, 180 кПа) составляет соответственно 40-67,2 % [2].

Одна из причин сложившегося несоответствия допустимым значениям заключается в недостатках регламентации оценок воздействия на почву, выполняемых при испытаниях комбайнов. В одних случаях развесовки при испытаниях комбайнов проводят без жаток, в других – с жатками, но

во всех случаях с пустыми бункерами, что не охватывает ключевые этапы технологического процесса работы. По этой причине также неизвестны диапазоны изменения максимального давления на почву и параметров почвы по следам колес применительно к реальному процессу работы комбайнов. В данной ситуации проблематичным является выбор комбайна из ряда аналогов с наименьшими силовыми воздействиями на почву.

В связи с изложенным актуальным является исследование особенностей воздействия на почву современных высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов применительно к рабочему циклу заполнения бункера зерном.

**Цель исследования** – установить диапазоны изменения значений максимального давления на почву колес комбайна, твердости почвы и ее сопротивления обработке плугом применительно к началу и окончанию рабочего цикла заполнения бункера зерном.

## Материалы и методы исследования

Метод исследования – экспериментально-расчетный. Исследования выполнены на примере современного высокопроизводительного зерноуборочного комбайна ACROS 550 с эксплуатационной массой комбайна без жатки – 14475 кг и 16630 кг – с жаткой PowerStream-700, оснащенного шинами передних колес размерности 30,5R32, задних – 18,4 R24. Вместимость бункера 9 м<sup>3</sup>, масса зерна озимой пшеницы в бункере 7200 кг. Также исследовали твердость почвы по следу комбайна и вне следа на научном севооборотном





а



б

**Рис. 1. Взвешивание комбайна ACROS 550 в вариантах комплектации:**  
а – «без жатки с пустым бункером»; б – «с жаткой с полным бункером»



**Рис. 2. Электромеханический твердомер ИП-271**

полигоне КубНИИТиМ. Почва полигона – чернозем типичный, среднегумусный, тяжелосуглинистый. Мощность гумусового горизонта – 122 см. Оценку проводили в процессе работы комбайна на уборке озимой пшеницы при влажности почвы в горизонтах глубины 0-5 и 5-10 см соответственно 23,6 и 25,1 %.

В соответствии с ГОСТ 7057-2001 [3] по вариантам применения жатки и заполнения бункера зерном вертикальную нагрузку колес комбайнов на опорное основание определяли с помощью четырех платформенных тензометрических весов CAS RW-10P (Корея) с пределом взвешивания 10 т; ценой поверочного деления – 10 кг; пределом допустимой погрешности – 20 кг (рис. 1).

Определяли среднее условное давление движителей комбайна на жесткое опорное основание по ГОСТ Р 58656-2019 [4] с последующим расчетом максимального нормального давления. Площадка, на которой было установлено тензометрическое весовое устройство, отвечала требованиям ГОСТ 23734-98 [5]. При взвешивании имитировали реальные производственные условия применения комбайнов, включая воздействие массы адаптера на передние колеса при работе с бесконтактным копированием неровностей поля, а также нагрузки на оси в начале и по

окончании цикла заполнения бункера зерном.

Площадь контакта шин с жестким опорным основанием определяли на ровной бетонной площадке. Отпечаток получали путем многократного опускания колеса с помощью гидравлического домкрата до полного заполнения отиска. При этом после каждого опускания колесо поворачивали на угол, соответствующий ширине грунтозацепа. Контурную площадь протектора определяли очерчиванием отпечатка кривой, охватывающей выступы, с последующей обработкой цифрового снимка отпечатка на компьютере.

Оценку влияния движителей комбайна с пустым и полным бункером на изменение агрофизических свойств почвы проводили по принятой в практике проведения полевых опытов с движителями сельскохозяйственной техники методике [6]. Твердость измеряли на глубину до 40 см по следу в зоне максимального погружения в почву грунтозацепов переднего колеса и в соседней с ним неуплотненной зоне на расстоянии 1,2 м от следа с применением современного твердомера ИП-271 конструкции КубНИИТиМ [7] (рис. 2). В каждом случае проводили по 10 пар измерений твердости при фиксации результатов в слоях почвы толщиной 5 см и их накоплении в памяти устройства.

### Результаты исследований и обсуждение

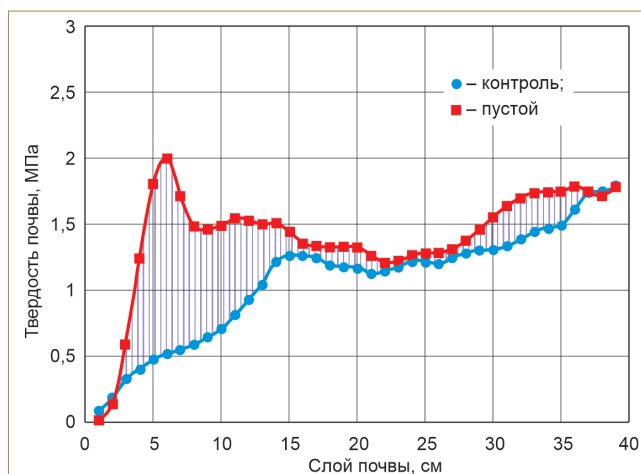
*Оценка уровня максимального нормального давления колесных движителей на почву.*

В результате развесовки получено следующее распределение нагрузок по колесным движителям комбайна ACROS 550 с пустым бункером: эксплуатационная масса с жаткой PowerStream – 16630 кг. Масса, создающая статическую нагрузку на почву под колесами передней оси – в среднем по 5870 кг, под колесами задней оси – в среднем по 2445 кг. Масса комбайна с жаткой и бункером, заполненным зерном озимой пшеницы – 23830 кг. Весовая нагрузка на опору под передними колесами – в среднем по 8320 кг, под задними – по 3595 кг. Контурная площадь контакта колес передней оси, полученная при пустом бункере, –  $S = 0,435 \text{ м}^2$ , при полном бункере –  $S = 0,510 \text{ м}^2$ .

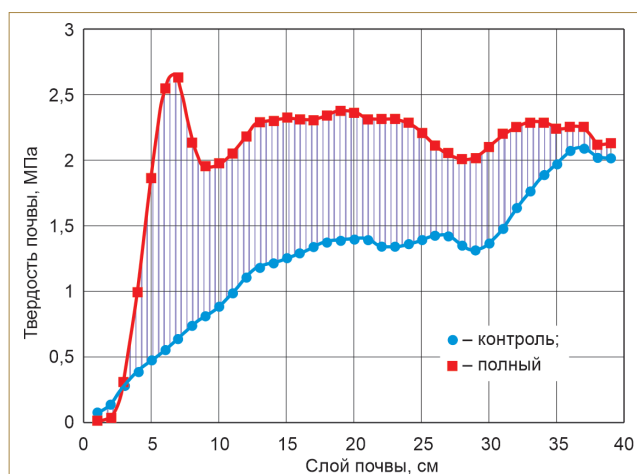
Для комбайна ACROS 550 с пустым бункером определили среднее и максимальное нормальное давление передних, наиболее нагруженных колес на почву. Величина среднего нормального давления на почву под колесом составила

$$q_k^{cp} = \frac{R_n \cdot q}{1000 \cdot F_{кп}},$$

где  $R_n$  – масса, создающая статическую нагрузку на почву одним



**Рис. 3. Сравнительные показатели твердости почвы по следу зерноуборочного комбайна на начальном этапе загрузки бункера зерном**



**Рис. 4. Изменение твердости почвы по следу зерноуборочного комбайна с полным бункером**

колесом передней оси ( $R = 5870$  кг);  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>,  $F_{\text{кп}}$  – площадь пятна контакта шины с почвой. Для колеса передней оси размерности 30,5R32 в соответствии с ГОСТ 58656-2019  $F_{\text{кп}} = S \cdot 1,1 = 0,435 \cdot 1,1 = 0,490$  м<sup>2</sup>.

Тогда величина среднего давления на почву переднего колеса  $q_k^{\text{cp}} = 117,4$  кПа. Соответствующая величина нормального максимального давления указанного движителя на почву составляет  $q_k = 119,8 \cdot 1,5 = 176,1$  кПа.

Были определены значения показателей среднего и максимального нормальных давлений на почву переднего колеса комбайна ACROS 550 с полным бункером. Величина показателя среднего нормального давления на почву под колесами передней оси составила  $q_k^{\text{cp}} = 145,3$  кПа. Соответствующая величина максимального нормального давления движителя на почву  $q_k = 218$  кПа.

Таким образом, от начала до завершения цикла заполнения бункера комбайна ACROS 550 зерном озимой пшеницы максимальное нормальное давление колеса передней оси изменяется от 176,1 до 218 кПа.

*Изменение твердости почвы по горизонтам глубины под воздействием колес зерноуборочного комбайна.*

Твердость почвы по следу и вне следа комбайна ACROS 550 определяли при его работе на глубину 40 см в соответствии с методикой

[6]. При движении комбайна с пустым бункером по полю (со скоростью 1,1 м/с) согласно диаграмме послойного изменения твердости почвы по следу колеса получено, что максимумы различий по сравнению с контролем (с твердостью неуплотненной почвы) наблюдаются в слое 2-15 см. С увеличением глубины различия не столь существенны. Заштрихованная область показывает, насколько изменилась твердость почвы. Особенно большое повышение твердости почвы по следу зерноуборочного комбайна получено в диапазоне глубин 3-12 см.

Наибольшие приросты твердости почвы по следу относительно контроля при пустом бункере наблюдаются до глубины 15 см и в диапазоне глубины 30-35 см (рис. 3). В интервале 15-27 см изменения твердости незначительны.

В варианте воздействия колес на почву с бункером, заполненным зерном озимой пшеницы, заштрихованная область существенного превышения твердости над контролем распространилась практически на весь исследуемый горизонт (рис. 4). При этом наибольший прирост твердости получен на глубине 7-27 см. В интервале глубины 27-37 см прирост твердости постепенно снижается, приближаясь к твердости на контроле.

Измерения твердости неуплотненной почвы (вне колеи) показали, что данный показатель на отдельных

горизонтах возрастал линейно (0-15 и 30-37 см), а на участке глубины 17-28 см твердость почвы изменялась в сравнительно узком диапазоне – 1,23-1,42 МПа. На отметке 35 см величина твердости перешагнула рубеж в 2 МПа, превышение которого, по мнению ряда исследователей, может ограничивать рост корневой системы и ухудшать условия вегетации многих видов сельскохозяйственных культур [8].

По следам комбайна с пустым бункером твердость почвы в слое 0-30 см в среднем возросла в 1,4 раза (с 0,959 до 1,343 МПа) по отношению к контролю. В слое 0-40 см данный показатель вырос в 1,29 раза (с 1,123 до 1,451 МПа) (табл. 1).

После прохода комбайна с заполненным бункером получены более существенные приросты твердости: в 1,89 раза в слое 0-30 см (с 1,075 до 2,032 МПа) и в 1,61 раза в слое 0-40 см (с 1,293 до 2,083 МПа). При этом твердость почвы в слое 10-40 см изменялась незначительно. Наиболее вероятно это проявление эффекта подпора уплотненной плужной подошвы, расположенной в районе 30-40 см. Следует особо отметить, что при проведении испытаний твердость участка поля, по которому комбайн двигался с полным бункером, была вне следа несколько выше средней твердости участка, где испытывался комбайн с пустым бункером: 1,293 против 1,123 МПа.

**Таблица 1. Послойное изменение твердости почвы при различных вариантах опыта**

| Слой почвы, см | Твердость почвы, МПа |                   |          |               |                   |          |
|----------------|----------------------|-------------------|----------|---------------|-------------------|----------|
|                | пустой бункер        |                   |          | полный бункер |                   |          |
|                | контроль             | по следу комбайна | разность | контроль      | по следу комбайна | разность |
| 0-10           | 0,464                | 1,222             | 0,758    | 0,516         | 1,526             | 0,970    |
| 10-20          | 1,162                | 1,453             | 0,291    | 1,292         | 2,341             | 1,490    |
| 20-30          | 1,252                | 1,353             | 0,411    | 1,416         | 2,228             | 0,815    |
| 30-40          | 1,615                | 1,776             | 0,161    | 1,974         | 2,278             | 0,326    |
| 0-30           | 0,959                | 1,343             | 0,487    | 1,075         | 2,032             | 1,092    |
| 0-40           | 1,123                | 1,451             | 0,328    | 1,293         | 2,083             | 0,790    |

По следу комбайна на глубине от 7 до 30 см твердость почвы варьировалась в сравнительно небольшом диапазоне: 1,25-1,8 МПа при пустом бункере и 2,0-2,4 МПа – при заполненном (рис. 5). При этом просматриваются признаки закономерности: с повышением исходной твердости почвы на контроле (вне следа) в слое 30-40 см приросты твердости от комбайна с полным бункером уменьшаются (см. рис. 3, 4).

В варианте воздействия колес на почву с полным бункером заштрихованная область существенного превышения твердости над контролем распространилась практически на всю исследуемую глубину (см. рис. 3).

Из приведенных данных следует, что при максимальном нормальном давлении колеса передней оси на почву в 176 кПа (при пустом бункере) наибольшее значение твердости

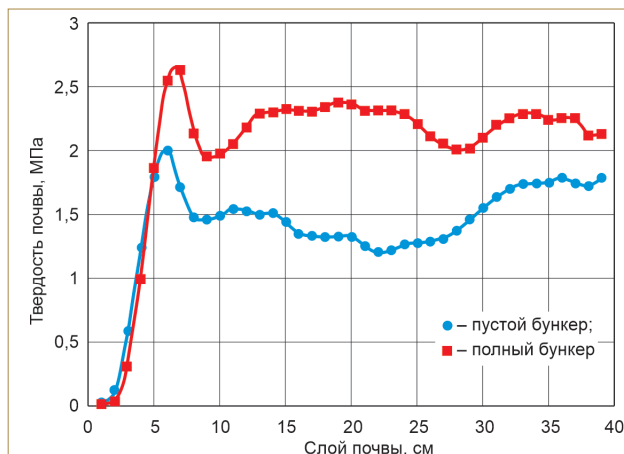
верхнего слоя почвы достигло 2 МПа. При увеличении максимального нормального давления колеса передней оси на почву с 176 до 218 кПа максимальное значение твердости почвы достигло 2,6 МПа. При этом рост напряженного состояния почвы наблюдался во всем исследуемом диапазоне глубин, вплоть до 40 см.

Таким образом, по сравнению с контролем в слое 0-40 см средняя твердость почвы по следам комбайна с пустым бункером увеличилась в 1,29 раза (с 1,123 до 1,451 МПа), с полным бункером – в 1,61 раза (с 1,293 до 2,083 МПа). В диапазоне глубин 15-25 см относительное увеличение твердости по следу комбайна ACROS 550 с заполненным бункером почти на 1 МПа выше, чем с пустым. Это подтверждает необходимость регламентации оценок воздействия на почву зерноуборочных комбайнов

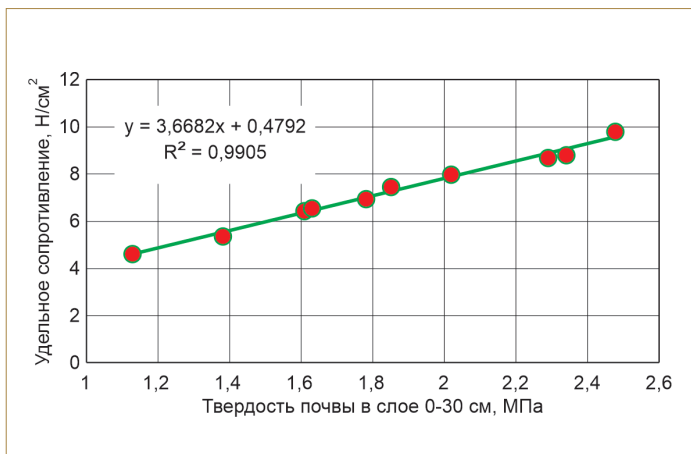
не только при пустом бункере, но и при заполненном.

Кроме этих неблагоприятных агро-экологических факторов, переуплотнение почвы вызывает соответствующее увеличение затрат на её обработку. Так исследования, проведенные на стерне озимых колосовых в послеуборочный период [9], показали, что при оценке удельного сопротивления вспашке следов комбайна Дон-1500Б, передвигающегося по полю с пустым и полным бункером, получен высокий коэффициент корреляции ( $R = 0,995$ ) между сопротивлением обработке почвы и её твердостью (рис. 6). При двукратном увеличении твердости почвы с 1,2 до 2,4 МПа, сопротивление обработке почвы плугом возросло в 1,9 раза.

Исходя из того, что варьирование твердости почвы в слое 0-30 см на контроле (вне следа) составляет 0,94-1,05 МПа, величина удельного сопротивления обработке почвы плугом будет колебаться от 3,84 до 4,26 Н/см<sup>2</sup>. После прохода порожнего комбайна сопротивление обработке его следа составит 5,28 Н/см<sup>2</sup> (прирост в 1,38 раза). При завершении цикла заполнения бункера зерном указанный показатель составит 7,77 Н/см<sup>2</sup> (прирост в 1,82 раза). Таким образом, среднее увеличение удельного сопротивления обработке почвы плугом по следам комбайна составит 60%, что, естественно, напрямую скажется на энергозатратах при проведении вспашки.



**Рис. 5. Изменение твердости почвы по следу зерноуборочного комбайна при пустом и полном бункерах**



**Рис. 6. Зависимость удельного сопротивления обработке плугом от твердости почвы**



## Выводы

1. Установлено, что максимальное давление на более нагруженных колесах передней оси комбайна ACROS 550 на почву при работе в начале заполнения бункера составляет 176 кПа, при завершении заполнения – 218 кПа.

2. Твердость почвы по следам комбайна ACROS 550 в среднем по горизонтам глубины 0-40 см при пустом бункере увеличивается в 1,29 раза (с 1,123 до 1,451 МПа), при заполненном бункере – в 1,61 раза (с 1,293 до 2,083 МПа).

3. В пахотном слое (0-30 см) твердость почвы по следам комбайна увеличивается при пустом бункере в 1,4 раза (с 0,959 до 1,343 МПа), при заполненном бункере – в 1,9 раза (с 1,075 до 2,030 МПа). Повышенная твердость почвы способствует росту удельного сопротивления почвы обработке плугом соответственно в 1,38 и в 1,82 раза (т.е. в среднем на 60 %).

## Список использованных источников

1. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М.: ВИМ, 1998. 368 с.
2. Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Особенности воздействия на почву зерноуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. 2022. №1. С. 25-29.
3. ГОСТ 7057-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. М.: ИПК. Изд-во стандартов. 2002. 12 с.
4. ГОСТ Р 58656-2019 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ. 2019. 20 с.
5. ГОСТ 23734-98 Тракторы промышленные. Методы испытаний. М.: ИПК. Изд-во стандартов. 1998. 16 с.
6. Методика определения показателей эффективности снижения воздействия на почву движителей техники, перемещающейся в технологическом цикле по полям / Всерос. ин-т механизации сел. хоз-ва и др. [Разраб. В. А. Русанов и др.]. М.: ВИМ. 1994. 39 с.
7. Таркинский В.Е., Трубицын Н.В., Воронин Е.С. Техническое средство мониторинга твердости почвы в системе координатного земледелия // Техника и оборудование для села. 2020. № 12. С. 17-19.
8. Sivarajan S., Maharlooei M., Bajwa S. G., Nowatzki J. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield, Soil and Tillage Research / Volume 175. 2018. P. 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.001>.
9. Небогин И.С., Баутин В.Н., Ильченко И.Р., Юшков Е.С. Воздействие на почву зерноуборочных комбайнов // Сб. науч. трудов. Т. 118. М.: ВИМ. 1988. С. 141-148.

## Soil Hardness Changes Under the Influence of the Wheels of the ACROS 550 Grain Harvester

V.Yu Revenko, V.I. Skorlyakov, T.A. Yurina  
(KubNIITIM)

**Summary.** The results of the weight distribution of the ACROS 550 combine harvester with a seven meters wide header, with an empty and filled hopper, are given. The ranges of change in the values of the maximum normal pressure on the soil of the combine wheels, the hardness of the soil and its resistance to plow processing in relation to the beginning and end of the working cycle of filling the bunker with grain have been established.

**Keywords:** combine harvester, operating weight, maximum normal pressure, soil hardness, plow resistance.

## ПРАВИЛА направления научных статей в редакцию журнала «Техника и оборудование для села»

К публикации принимаются соответствующие профилю журнала статьи, содержащие новые, ранее не опубликованные материалы.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), поэтому автор(ы) публикации предоставляет(ют) редакции журнала «Техника и оборудование для села» неисключительные права для их публикации.

Направляемые в редакцию статьи должны отвечать следующей схеме изложения материала: постановка проблемы (степень изученности вопроса, обзор литературы по теме); цель исследований; материалы и методы исследований; результаты исследований и обсуждение; заключение; список использованных источников (только те, на которые имеются ссылки в тексте).

Материал следует излагать предельно лаконично и понятно. Расчетные зависимости должны иметь исходные данные и конечный результат без промежуточных выкладок (за исключением случая, когда сам математический аппарат расчета обладает новизной и составляет предмет исследования).

Структура статьи следующая:

- ✓ индекс УДК (слева);
- ✓ название статьи (прописными буквами по центру);
- ✓ инициалы, фамилия, ученая степень, ученое звание, должность, название организации (сокращенное, официальное), электронный адрес;
- ✓ аннотация (40-50 слов), ключевые слова (5-7 слов);
- ✓ текст статьи;
- ✓ список использованных источников (библиографические ссылки должны быть оформлены по ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»);
- ✓ название статьи, инициалы и фамилия автора(ов), аннотация и ключевые слова на английском языке.

Принимаются материалы, представленные непосредственно в редакцию в бумажном (компьютерная распечатка) и электронном виде или присланные по электронной почте.

## Внимание! Бумажный и электронный носители должны быть идентичными.

Материал должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word 97-2003, -2007, -2010, -2016, шрифт – 14 пт, межстрочный интервал – 1,5 пт, абзацный отступ – 1 см, без форматирования. Для выравнивания использовать только «выключку» текста, но не пробелы, а также автоматическую расстановку переносов.

Символ перевода строки (Enter) – только в конце абзаца. При подготовке текста к публикации не применять команды «нумерованный список по умолчанию» и «маркированный список по умолчанию».

Графики и диаграммы должны быть переведены в формат Word/Excel, таблицы – в формат Microsoft Word (шрифт – не менее 10 пт), формулы – в формате Microsoft Equation, иллюстрации в формате JPEG или TIF с разрешением не менее 300 dpi должны передаваться отдельными файлами.

Объем рукописи – не более 15 стандартных страниц машинописного текста, включая таблицы (число рисунков и таблиц – не более трех).

Заголовок статьи не должен превышать 50 знаков. Автор обозначает соподчиненность заголовков и подзаголовков, нумерует иллюстрации и таблицы, которые должны быть размещены в тексте после абзацев, содержащих ссылку на них. Рукописи не возвращаются. Образцы оформления статей и библиографических ссылок размещены на сайте <https://rosinformagrotech.ru>

Редакция в обязательном порядке осуществляет рецензирование, необходимое научное и стилистическое редактирование всех материалов, публикуемых в журнале. За фактологическую сторону материалов юридическую и иную ответственность несут авторы.



ОРГАНИЗАТОРЫ  
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЧУВАШИИ  
КАЗЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ЧУВАШИИ  
«АГРО-ИННОВАЦИИ»

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР КАРТОФЕЛЯ ИМЕНИ А.Г. ЛОРХА

Технологии



XV МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА  
**КАРТОФЕЛЬ**  
**2-3 марта 2023**

СОРТА КАРТОФЕЛЯ, СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ,  
ПИТАНИЯ, МОНИТОРИНГА

КОНФЕРЕНЦИЯ, КРУГЛЫЕ СТОЛЫ  
ПО АКТУАЛЬНЫМ ВОПРОСАМ  
РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ, ПРЕЗЕНТАЦИИ

СОПУТСТВУЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ,  
НАПРАВЛЕННЫЕ НА УКРЕПЛЕНИЕ  
ДЕЛОВЫХ СВЯЗЕЙ ОТРАСЛИ

ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ,  
МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ АПК

В ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОМ  
ЦЕНТРЕ «КАСКАД»  
Г. ЧЕБОКСАРЫ,  
ПРЕЗИДЕНТСКИЙ БУЛЬВАР, 20

ТЕЛ. +7(8352)45-93-26  
КАРТОФЕЛЬ.АГРОИН.РУС



Идеи

Опыт

Инновации

6+

УДК 633.522:631.352.5

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-22-26

# Анализ работы аппарата для измельчения стеблей технической конопли на отрезки заданной длины

**Р.А. Попов,***канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
r.porov@fncll.ru***Г.А. Перов,***канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
зав. лабораторией,  
g.perov@fncll.ru  
(ФГБНУ ФНЦ ЛК)*

**Аннотация.** Рассмотрена кинематика работы цилиндрического измельчающего аппарата для резки стеблей технической конопли в процессе уборки. Определены основные параметры и режимы работы измельчителя. Построены графические зависимости диапазона длины резки стеблей от количества ножей на барабане измельчителя и скорости его вращения.

**Ключевые слова:** техническая конопля, уборка конопли, стебли, измельчение стеблей, измельчающий аппарат, параметры.

## Постановка проблемы

В последнее время в России активно возрождается коноплеводство, прослеживается тенденция к увеличению посевных площадей, валового сбора семян и пеньковолокна [1, 2], что свидетельствует об уникальности технической конопли и растущем интересе к ней среди потребителей. Техническая (безнаркотическая) конопля – стратегическая и весьма конкурентоспособная сельскохозяйственная культура с огромным бизнес-потенциалом, способная заместить хлопок [3].

Вместе с тем одной из главных проблем в коноплеводстве является механизация уборочных работ, обусловленная необходимостью сбора волокнистых стеблей, достигающих в высоту в среднем 2-2,5 м и более и обладающих в период технической

спелости значительной прочностью [4, 5]. В настоящее время некоторые коноплесеющие хозяйства вынуждены заниматься выращиванием конопли исключительно для получения семян, поскольку сбор и обработка стеблевой массы не всегда позволяют получать волокно необходимого качества [6]. Более того, из-за острой нехватки в России специализированной коноплеуборочной техники, пенькозаводов и линий по переработке конопляной тресты стеблевая масса в большинстве случаев попросту утилизируется.

Для получения качественного пеньковолокна, пригодного для текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности и других сфер переработки, а также упрощения подбора конопляной тресты в технологическом процессе уборки конопли необходимо предусмотреть операцию измельчения стеблей на отрезки заданной длины. В связи с этим возникает необходимость исследования процесса измельчения волокнистых стеблей и разработки измельчающего аппарата, обеспечивающего точную (расчетную) длину резки растений.

Вопросу исследования измельчающих аппаратов посвящен ряд работ [7-9], однако процесс измельчения стеблей технической конопли с учетом особенностей их строения является малоизученным. Поэтому проведение теоретического анализа работы аппарата для измельчения стеблей конопли является весьма актуальным вопросом.

В настоящее время в ФГБНУ ФНЦ ЛК ведется научно-исследовательская работа по разработке многофункционального адаптера для различных технологий уборки технической конопли с одновремен-

ным измельчением стеблей. Адаптер оборудован барабанным измельчителем для резки стеблей в заданных диапазонах длины. Это дает гарантию стандартной длины отрезков для упрощения дальнейшей обработки на последующих этапах и получения качественного лубяного сырья для производства пеньковолокна с минимальными затратами.

**Цель исследования** – теоретическое обоснование параметров и режимов работы аппарата для измельчения стеблей технической конопли.

## Материалы и методы исследования

Объектом исследования является одна из частей многофункционального адаптера для уборки технической конопли – измельчающий аппарат. Рассмотрен процесс измельчения стеблей технической конопли на отрезки заданной длины цилиндрическим измельчителем барабанного типа. Аналогичные аппараты применяются в современных самоходных и прицепных кормоуборочных комбайнах, что объясняется их высокой пропускной способностью и непрерывным резанием с постоянным крутящим моментом.

Пропускная способность многофункционального адаптера для уборки технической конопли и степень измельчения стеблей определяют геометрические и кинематические параметры измельчающего аппарата: диаметр питающих валцов, скорость подачи срезанной массы конопли в измельчитель, диаметр измельчающего барабана и частоту его вращения, а также число ножей на барабане и угол их расположения.

При анализе работы измельчителя стеблей технической ко-



нопли руководствовались теорией измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна [10] и теорией резания лезвием [11]. Однако из-за различия физико-механических и технологических свойств конопли, строения стебля, условий уборки измельчение и работа измельчающего аппарата имеют ряд особенностей.

Рассмотрим кинематику цилиндрического измельчающего аппарата для резки стеблей технической конопли на отрезки (барабан измельчителя радиусом  $r_{\text{бар}}$ , м, по концам лезвий ножей) с числом ножей на барабане  $Z$ , шт. Для установления математических зависимостей между параметрами измельчителя построим траектории движения лезвий двух соседних ножей относительно слоя стеблей технической конопли, приняв некоторое допущение, что не слой подается к измельчителю, а измельчитель движется на неподвижный слой стеблей со скоростью  $V_{\text{сл}}$ , м/с.

Расположим неподвижные оси координат так, чтобы ось  $X$  находилась на уровне нижней точки диаметра барабана и была направлена в сторону его мнимого движения, а ось  $Y$  – по диаметру вертикально вверх. За начальное положение точки 1 лезвия в момент времени  $t = 0$  примем его верхнее положение на вертикальном диаметре.

### Результаты исследований и обсуждение

В процессе работы барабан совершает вращательное движение в вертикальной плоскости с угловой скоростью  $\omega$ , с<sup>-1</sup>. В данном случае лезвие ножа описывает трохоиду. Расстояния между одноименными точками соседних трохоид равны между собой и соответствуют расчетной длине резки слоя стеблей технической конопли (рис. 1).

По истечении времени  $t$ , с, барабан измельчителя переместится на расстояние, равное  $V_{\text{сл}} t$ , а лезвие ножа барабана, вращающегося равномерно, повернется на угол  $\omega t$ . Траекторию движения точки  $K$  лезвия в параметрической форме запишем в виде следующих уравнений:

$$\begin{cases} X_K = V_{\text{сл}} t + r_{\text{бар}} \sin \omega t \\ Y_K = r_{\text{бар}} (1 + \cos \omega t) \end{cases} \quad (1)$$

Продифференцировав по времени уравнения (1), получим уравнения составляющих скорости

$$\begin{cases} V_X = \dot{X}_K = V_{\text{сл}} + \omega r_{\text{бар}} \cos \omega t \\ V_Y = \dot{Y}_K = -\omega r_{\text{бар}} \sin \omega t \end{cases} \quad (2)$$

Скорость лезвия в точке  $K$  (абсолютная)  $V_K$ , м/с, будет равна

$$V_K = \sqrt{V_{\text{сл}}^2 + 2V_{\text{сл}} \omega r_{\text{бар}} \cos \omega t + \omega^2 r_{\text{бар}}^2} \quad (3)$$

При условии  $\omega t = 2\pi$  величина  $V_K$  будет иметь максимальное значение, а при  $\omega t = \pi$  – минимальное:

$$\begin{cases} V_{K\text{max}} = V_{\text{сл}} + \omega r_{\text{бар}} \\ V_{K\text{min}} = V_{\text{сл}} - \omega r_{\text{бар}} \end{cases}$$

Для резки стеблей технической конопли на отрезки заданной длины  $l_{\text{ст}}$ , м, необходимо, чтобы за время поворота лезвия на угол  $\gamma = 2\pi/Z$  (где  $\gamma$  – центральный угол между двумя соседними лезвиями, град.) слой стеблей был подан в измельчитель на величину

$$l_{\text{см}} = V_{\text{сл}} t_1,$$

где

$$t_1 = \frac{\gamma}{\omega} = \frac{2\pi}{Z} \omega, \text{ или } l_{\text{см}} = V_{\text{сл}} \frac{2\pi}{Z\omega}.$$

Отсюда количество ножей на барабане

$$Z = \frac{2\pi V_{\text{сл}}}{l_{\text{см}} \omega} \quad (4)$$

Срезанная режущим аппаратом масса стеблей технической конопли должна подаваться в измельчитель таким образом, чтобы вращение барабана этому не препятствовало, т.е. горизонтальная составляющая скорости  $V_X = 0$ . Приравняв к нулю выражение для  $V_X$  уравнения (2), получим:

$$\cos \omega t = -\frac{V_{\text{сл}}}{\omega r_{\text{бар}}} \quad (5)$$

Тогда

$$\omega t = \arccos \left( -\frac{V_{\text{сл}}}{\omega r_{\text{бар}}} \right) \quad (6)$$

Знак «-» в правой части выражения (6) означает, что срезанная масса должна подаваться к барабану измельчителя ниже его горизонтального диаметра. Подставив значение  $\cos \omega t$  в уравнение (1) для  $Y_K$ , получим ординату этой точки

$$Y_K = r_{\text{бар}} - \frac{V_{\text{сл}}}{\omega} \quad (7)$$

Если приравнять высоту слоя стеблей к высоте приемной горловины измельчителя, то ордината противорезающего бруса  $Y_{\text{БР}}$  запишется в следующем виде:

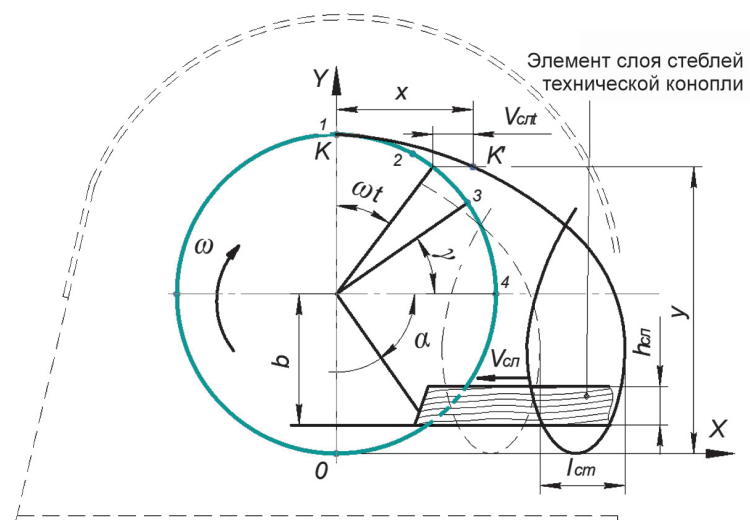


Рис. 1. Схема работы аппарата для измельчения стеблей технической конопли

$$Y_{BP} = r_{\text{бар}} - \left( \frac{V_{\text{сл}}}{\omega} \right) - h_{\text{сл}}, \quad (8)$$

где  $h_{\text{сл}}$  – высота слоя стеблей конопли, подаваемая в измельчитель, м.

При этом горизонтальная ось барабана измельчителя будет располагаться выше противорежущего бруса на величину

$$b = h_{\text{сл}} + \left( \frac{V_{\text{сл}}}{\omega} \right), \quad (9)$$

где  $b$  – расстояние от горизонтальной оси барабана до кромки противорежущего бруса, м.

Для обеспечения оптимального процесса измельчения стеблей технической конопли необходимо выполнить условие, чтобы вертикальная составляющая скорости лезвия в точке контакта со слоем не была меньше скорости резания, т.е.

$$V_Y = -r_{\text{бар}} \omega \sin \omega t \geq V_{\text{рез}}.$$

Отсюда

$$\sin \omega t = -\frac{V_{\text{рез}}}{\omega r_{\text{бар}}}, \quad (10)$$

где  $V_{\text{рез}}$  – скорость резки стеблей при измельчении, м/с.

Угловую скорость измельчающего барабана определим из совместного решения уравнений (6) и (10):

$$\omega = \frac{1}{r_{\text{бар}}} \sqrt{V_{\text{рез}}^2 + V_{\text{сл}}^2}. \quad (11)$$

После отрезания части стеблей от всего слоя им сообщается импульс силы  $P_{\text{СТ}}$  Н·с, под действием которого порция растений транспортируется к выходному отверстию измельчителя и укладывается в валок на поле. Величина данного импульса определяется из выражения

$$P_{\text{СТ}} \Delta t = m V_{\text{абс}} k_{\text{см}},$$

где  $m$  – масса отрезанной порции стеблей технической конопли, кг;

$V_{\text{абс}}$  – абсолютная скорость схода порции стеблей с лопасти лезвия, м/с;

$k_{\text{см}}$  – коэффициент, учитывающий жесткость стеблей технической конопли;

$\Delta t = (\pi - \alpha) / \omega$  время поворота ножа от противорежущего бруса до схода

отрезанной порции стеблей с лопасти лезвия, с;

$\alpha$  – угол между диаметром барабана и противорежущим брусом, град.

Абсолютная скорость отрезанной порции стеблей в момент схода равна

$$V_{\text{абс}} = \sqrt{V_{\text{неп}}^2 + V_{\text{отн}}^2}, \quad (12)$$

где  $V_{\text{неп}}$  – переносная (или окружная скорость барабана  $V_{\text{неп}} = \omega r_{\text{бар}}$ ), м/с;

$V_{\text{отн}}$  – относительная скорость (или скорость движения порции стеблей конопли по лопасти), м/с.

Для корректного протекания процесса измельчения стеблей важным моментом является расположение горизонтальной оси измельчающего барабана относительно слоя подаваемых стеблей. Это обусловлено кинематикой работы измельчителя и зависит от соотношения линейной скорости слоя стеблей и горизонтальной составляющей окружной скорости барабана. Изобразим план скоростей перемещения режущей кромки ножа измельчителя (рис. 2).

Результирующая скорость лезвия ножа  $V_P$ , м/с, в зависимости от его положения на барабане меняет свое направление относительно движения слоя стеблей. При этом изменяет-

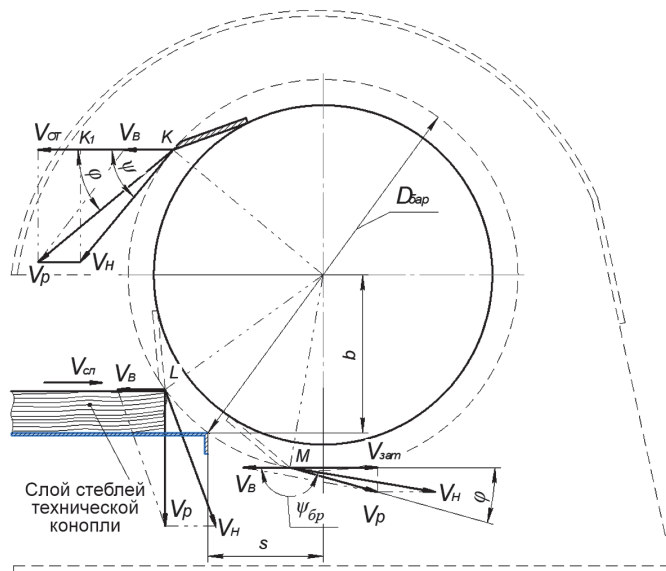
ся характер воздействия ножа на слой. Вектор скорости  $V_P$  направлен таким образом, что в точке  $K$  нож отталкивает слой, поступающий в измельчитель. Поэтому важно, чтобы подача стеблей осуществлялась в измельчающий аппарат во II квадранте барабана, поскольку в дальнейшем результирующая скорость  $V_P$  будет направлена практически вдоль слоя и условия протекания рабочего процесса будут нарушены. В данном случае при встрече со стеблями лезвие будет способствовать затягиванию слоя в зазор режущей пары и обеспечивать измельчение на отрезки заданной длины.

Следовательно, подача стеблей должна происходить там, где проекция вектора скорости  $V_P$  на ось  $X$ , обозначенная как  $V_{OT}$ , равнялась 0. С другой стороны,  $V_{OT} = V_P \cos \varphi$ , где  $\varphi$  – угол между векторами скорости  $V_P$  и  $V_{OT}$  град. Тогда для выполнения данного условия угол  $\varphi$  должен быть равен  $\pi/2$ .

Положение ножа в любой точке барабана можно выразить из параллелограмма скоростей как

$$V_P^2 = V_{\text{с}}^2 + V_{\text{н}}^2 - 2V_{\text{с}}V_{\text{н}} \cos \psi, \quad (13)$$

где  $V_{\text{с}}$  – линейная скорость подающих валцов, м/с;



**Рис. 2. Схема к обоснованию расположения горизонтальной оси измельчителя относительно подачи стеблей технической конопли**

$V_n$  – линейная скорость ножей на барабане, м/с;

$\psi$  – текущий угол поворота барабана, град.

При взаимодействии лезвия ножа со слоем стеблей в точке  $L$  уравнение (13) принимает вид

$$V_p^2 = V_n^2 - V_v^2. \quad (14)$$

Для еще большего смещения вниз положения ножа  $V_{от}$  меняет свой знак и становится направленной по ходу движения слоя. Это означает, что слой стеблей под действием ножа будет затягиваться вперед (вместо  $V_{от}$  появляется  $V_{зам}$ ). Для изменения условия отталкивания слоя на его затягивание в измельчитель выразим  $\cos \psi$  из уравнений (13) и (14):

$$\begin{aligned} \cos \psi &= \frac{KK_1}{V_n} = \frac{V_{от} - V_v}{V_n} = \\ &= \frac{V_p \cos \varphi - V_v}{V_n}, \end{aligned} \quad (15)$$

откуда  
при  $\varphi = \pi/2$   $\cos \psi = -\frac{V_v}{V_n}$

(знак «-» появляется в геометрии скоростей для II квадранта барабана).

Поскольку высота слоя срезанной массы равна высоте приемной горловины, то выражение для величины  $b$  запишется в следующем виде:

$$b - h_{грл} = \frac{D_{бар}}{2} \cos \psi,$$

откуда  $b = h_{грл} + \frac{D_{бар}}{2} \frac{V_v}{V_n},$

где  $D_{бар}$  – диаметр барабана измельчителя, м;

$h_{грл}$  – высота приемной горловины измельчителя, м.

Координату кромки противореза  $s$ , м, от вертикальной оси барабана можно определить из выражения

$$s = \frac{b}{\tan \psi_{бр}}, \quad (16)$$

где  $\psi_{бр}$  угол, определяющий положение кромки противорезающего бруса относительно оси барабана, град.

(т.е.  $\sin \psi_{бр} = \frac{2b}{D_{бар}}$ ).

Исходя из обеспечения скользящего резания, угол наклона лезвия ножа установим в пределах 8-10° к образующей барабана, руководствуясь исследованиями [12], что позволит исключить проскальзывание ножа в процессе реза и смещение стеблей к боковой стенке барабана.

Уточним пропускную способность измельчителя стеблей технической конопли. Пропускная способность измельчителя  $q_{изм}$ , кг/с, зависит от площади приемной горловины измельчающего аппарата и скорости подачи массы стеблей питающими вальцами:

$$q_{изм} = b_{грл} h_{грл} V_{сл} \rho_{сл} k_{грл}, \quad (17)$$

где  $b_{грл}$  – ширина горловины измельчителя, м;

$\rho_{сл}$  – плотность массы стеблей технической конопли после подающих вальцов, кг/м³;

$k_{грл}$  – коэффициент использования «живого» сечения горловины (для грубостебельных культур  $k_{грл} = 0,55-0,7$ ).

Скорость подачи слоя стеблей технической конопли в измельчитель должна быть не меньше скорости движения агрегата ( $V_{сл} \geq V_{маш}$ ). При средней скорости движения агрегата 7 км/ч (1,9 м/с) примем скорость слоя 2,0 м/с, плотность массы стеблей  $\rho_{сл} = 100$  кг/м³. Тогда

$$q_{изм} = 0,3 \cdot 0,15 \cdot 2,0 \cdot 100 \cdot 0,6 = 5,4 \text{ кг/с}.$$

Угловую скорость измельчающего барабана определим из выражения (11). Приняв радиус измельчителя  $R = 0,3$  м, скорость резания  $V_{рез} = 1,3 V_{сл}$  и подставив полученные значения в выражение (11), получим:

$$\omega = \frac{1}{0,3} \sqrt{2,6^2 + 2,0^2} = 11 \text{ с}^{-1}.$$

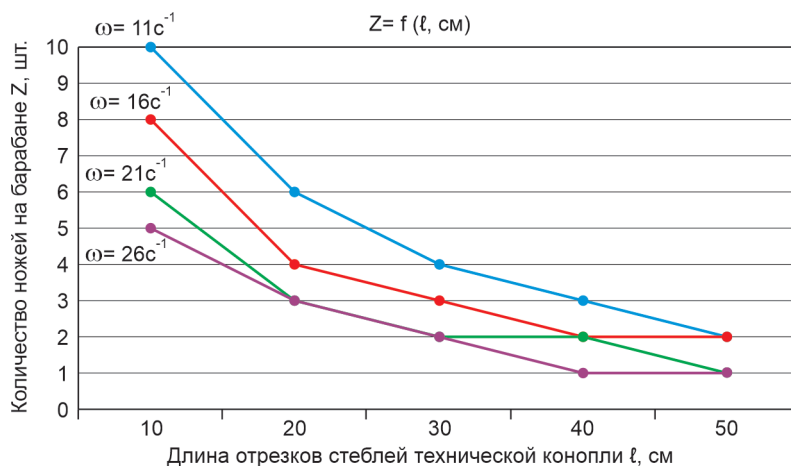
Количество ножей на барабане определим из выражения (4). Исходя из заданной длины отрезков стеблей, необходимой для дальнейшей обработки, зависимость количества ножей на барабане  $Z$  от длины отрезков  $l$  при различной скорости вращения измельчителя можно изобразить графически (рис. 3).

График наглядно демонстрирует зависимость диапазона длины резки стеблей конопли в соответствии с требованиями ее переработки (от 10 до 50 см) от числа ножей на барабане измельчителя и скорости его вращения. Данные параметры также влияют на количество быстроизнашивающихся деталей (лезвий), металлоемкость узла и момент инерции измельчающего барабана.

### Выводы

1. Рассмотрена кинематика работы измельчающего аппарата для резки стеблей технической конопли, получены аналитические выражения для определения основных параметров и режимов работы измельчителя.

2. Теоретическим путем определены зависимости диапазона длины резки стеблей (от 10 до 50 см) от числа ножей на барабане измельчителя и скорости его вращения.



**Рис. 3. Графические зависимости для определения диапазона длины отрезков стеблей технической конопли**



3. Полученные результаты исследований будут использованы в дальнейшей работе при проектировании многофункционального адаптера для уборки технической конопли.

**Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).**

## Список

### использованных источников

1. ЕМИСС. Государственная статистика. Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения: 06.10.2022).
2. Попов Р.А., Великанова И.В. Пути повышения эффективности уборки посевной конопли в условиях технико-технологической модернизации // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации: матер. VII Междунар. науч. конф. 2022. С. 80-87.
3. Кабунина И.В. Современная структура мирового рынка производства конопли // Международный с.-х. журнал. 2021. № 4 (382). С. 40-44.
4. Попов Р.А., Перов Г.А. Анализ работы режущего аппарата для бесподпор-

ного среза стеблей технической конопли // Вестник Ульяновской ГСХА. 2020. № 3. С. 14-21.

5. Давыдова С.А., Попов Р.А., Голубев И.Г. Техническое обеспечение возделывания и уборки безнаркотической конопли // Техника и оборудование для села. 2020. № 8. С. 12-17.

6. Иванов С., Адамович А., Руциньш А. Расширение возможностей использования продукции индустриальной конопли // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 91. С. 118-126.

7. Белов М.И. Методика расчета длины резки растений кормоуборочными комбайнами: роторным и двойного измельчения // Инженерные технологии и системы. 2019. № 2. С. 279-294.

8. Расчет измельчителя кормоуборочного комбайна с ускорителем выгрузки растений / А.И. Чепурной [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 12. С. 31-35.

9. Хамидов Б.Т., Акабиров Л.Х., Досумов Ш.Р. Исследование процесса измельчения материалов на основе тематической модели // Universum: Технические науки: электрон. науч. журн. 2019. № 10(67). С. 18-22.

10. Особов В.И. Механическая технология кормов. М.: Колос, 2009. 344 с.

11. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих

аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 311 с.

12. Райков В.Л. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров рабочих органов комбайна для уборки сахарного сорго: дис. ... д-ра техн. наук: 255.01. Кишинев, 2017. 165 с.

## Analysis of the Operation of an Apparatus for Grinding Technical Hemp Stalks into Segments of a Given Length

R.A. Popov,  
G.A. Perov

(Federal Research Center  
for Bast Fiber Crops)

**Summary.** The kinematics of the operation of a cylindrical grinding apparatus for cutting technical hemp stalks during harvesting is considered. The main parameters and operating modes of the grinder are determined. Graphical dependences of the stem cutting length range on the number of knives on the chopper drum and its rotation speed are plotted.

**Keywords:** industrial hemp, hemp harvesting, stems, stem cutting, grinding apparatus, parameters.

## Реферат

**Цель исследования** – теоретическое обоснование параметров и режимов работы аппарата для измельчения стеблей технической конопли. Для получения качественного пеньковолокна, пригодного для текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности и других сфер переработки, а также упрощения подбора конопляной тресты в технологическом процессе уборки конопли необходима операция по измельчению стеблей на отрезки заданной длины. В связи с этим возникает необходимость исследования процесса измельчения волокнистых стеблей и разработки измельчающего аппарата, обеспечивающего точную (расчетную) длину резки. Объектом исследования является одна из частей многофункционального адаптера для уборки технической конопли – измельчающий аппарат. Рассмотрена кинематика процесса измельчения стеблей технической конопли на отрезки заданной длины цилиндрическим измельчителем барабанного типа. Пропускную способность многофункционального адаптера для уборки технической конопли и степень измельчения стеблей определяют геометрические и кинематические параметры измельчающего аппарата: диаметр питающих валцов, скорость подачи срезанной массы конопли в измельчитель, диаметр измельчающего барабана и частоту его вращения, а также число ножей на барабане и угол их расположения. Данные параметры также влияют на количество быстроизнашивающихся деталей (лезвий), металлоемкость узла и момент инерции измельчающего барабана. Получены аналитические выражения для определения основных параметров и режимов работы измельчителя. Теоретическим путем определены зависимости диапазона длины резки стеблей (от 10 до 50 см) от числа ножей на барабане измельчителя и скорости его вращения. Полученные результаты исследований будут использованы в дальнейшей работе при проектировании многофункционального адаптера для уборки технической конопли.

## Abstract

**The purpose of the research** is a theoretical substantiation of the parameters and modes of operation of the technical hemp stalks grinding machine. To obtain high-quality hemp fiber suitable for the textile, pulp and paper industry and other processing areas, as well as to simplify the selection of hemp trusts in the technological process of hemp harvesting, an operation is required to grind the stems into segments of a given length. In this regard, there is a need to study the process of grinding fibrous stems and develop a grinding machine that provides an accurate (calculated) cutting length. The object of the study is one of the parts of the multifunctional adapter for harvesting technical hemp which is a grinding device. The kinematics of the process of grinding technical hemp stalks into segments of a given length by a cylindrical drum-type grinder is considered. The throughput of the multifunctional adapter for harvesting technical hemp and the degree of chopping of the stems are determined by the geometric and kinematic parameters of the chopping apparatus: the diameter of the feed rollers, the feed rate of the cut mass of hemp into the grinder, the diameter of the chopping drum and the frequency of its rotation, as well as the number of knives on the drum and the angle of their location. These parameters also affect the number of wear parts (blades), the metal content of the assembly and the moment of inertia of the grinding drum. Analytical expressions were obtained to determine the main parameters and operating modes of the grinder. The dependences of the stem cutting length range (from 10 to 50 cm) on the number of knives on the chopper drum and its rotation speed were determined theoretically. The results of the research will be used in further work when designing a multifunctional adapter for harvesting technical hemp.

УДК 631.356.46 (2)

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-27-29

# Исследование влияния лопастного интенсификатора на полноту сепарации

**П.И. Гаджиев,**

д-р техн. наук, проф.,

pgadjiev@yandex.ru

(ФГБОУ ВО РГАЗУ);

**А.В. Шемякин,**

д-р техн. наук, проф.,

shem.alex62@yandex.ru

**И.А. Успенский,**

д-р техн. наук, проф.,

ivan.uspensckij@yandex.ru

(ФГБОУ ВО РГАЗУ);

**Г.Г. Рамазанова,**

канд. техн. наук, доц.,

gulbike@yandex.ru

(ФГБОУ ВО РГАЗУ);

**И.П. Гаджиев,**

соискатель,

imgadjiev@mail.ru

(ФГБОУ ВО РГАЗУ)

## Постановка проблемы

Оценка работы картофелеуборочных комбайнов показывает, что на переувлажненных почвах возникают определенные трудности, которые приводят к уменьшению полноты сепарации почвы, а также увеличению повреждаемости клубней. С целью повышения эффективности процесса сепарации почвенно-клубненоносной массы при уборке картофеля, особенно на тяжелых переувлажненных почвах (влажность выше 24%), сепарирующие рабочие органы картофелеуборочных машин оснащают различными интенсификаторами [1-3].

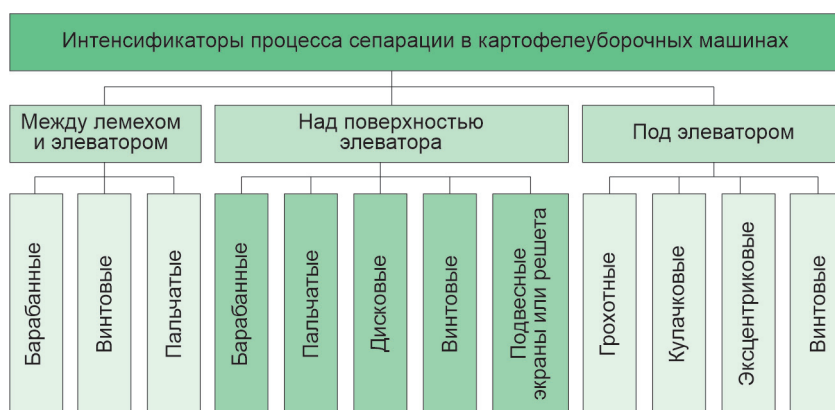
По месту установки в картофелеуборочных машинах интенсификаторы можно разделить на три вида (рис. 1).

Интенсификаторы, размещенные между лемехом и элеватором, выполняют в виде продольных шнеков с винтовой наживкой, прутковых барабанов, штифтовых и лопастных битеров, пальцев. Размещенные над поверхностью пруткового элеватора выполняют в виде пальцев, наклонных дисков и пайлерных валов, подвижных экранов и решеток, поперечных шнеков с винтовой наживкой и барабанов с центробежной сепарацией, а расположенные под элеватором представляют собой встряхиватели прутков или полотна элеватора. Их выполняют в виде эксцентриковых звездочек приводного вала и кулачков на двуплечих рычагах, грохота, винтовых поверхностей [4].

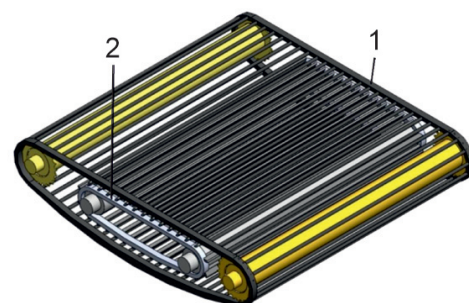
В сепарирующем устройстве применяется интенсификатор в виде прижимного транспортера с лопастями, который установлен под элеватором (рис. 2).

**Аннотация.** Приведены результаты сравнительной агротехнической оценки наиболее значимых факторов, определяющих полноту сепарации сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин с установленным интенсификатором в виде прижимного транспортера. Анализ результатов показал, что в этом случае полнота сепарации на переувлажненных почвах достигается свыше 90%.

**Ключевые слова:** полнота сепарации, уборка картофеля, угол наклона лопасти, интенсификатор, элеватор.



**Рис. 1. Классификация интенсификаторов сепарации в картофелеуборочных машинах**



**Рис. 2. Сепарирующий элеватор картофелеуборочной машины:**  
1 – сепарирующий элеватор;  
2 – интенсификатор с лопастями

Расстояние между прижимным транспортером и плотным элеватором регулируется по мере загруженности клубненосной массы, лопасти установлены под углом, транспортер вращается в противоположную движению полотна элеватора сторону, тем самым очищая от залипания почвенным пластом прутков элеватора.

**Цель исследований** – повышение полноты сепарации почвы при уборке картофеля путем оснащения сепарирующего устройства лопастным интенсификатором.

### Материалы и методы исследования

В настоящее время ведется работа по усовершенствованию сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин с целью повышения полноты сепарации на переувлажненных почвах. Для подтверждения данных теоретических исследований влияния важнейших факторов, определяющих полноту сепарации почвы при уборке картофеля с применением сепарирующего устройства, оснащенного лопастным интенсификатором, был разработан план проведения полнофакторного эксперимента.

Суть исследований заключалась в решении компротиссионной задачи – варьируя значениями наиболее значимых факторов: расстояние от ленты транспортера интенсификатора до прутка  $r(x_1)$ , угол наклона лопасти к плоскости ленты  $\alpha(x_2)$  и шаг установки лопастей  $m(x_3)$ , повлиять на полноту сепарации при уборке картофеля, обеспечить максимальное значение полноты сепарации. Интервал варьирования расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка ( $x_1$ ), угла установки лопасти к плоскости ленты ( $x_2$ ) и шага установки лопастей ( $x_3$ ) определялся конструктивными особенностями основного элеватора картофелеуборочного комбайна [5]. В зависимости от условий проведения каждого опыта меняли верхний и нижний уровень факторов. Во всех случаях влажность почвы составляла в среднем 26,3%. В таблице представлены уровни и интервалы варьирования факторов [6].

В качестве исследуемого материала принят лопастной интенсификатор сепарирующего устройства.

### Результаты исследований и обсуждение

При проведении исследования процесса сепарации почвенно-клубненосной массы в качестве критерия оптимизации (функции отклика) рассматривалась минимизация повреждения клубней, которая определялась согласно ГОСТ 28713 – 2018<sup>1</sup> и выражалась в процентах.

По полученным данным полнофакторного эксперимента составлено уравнение регрессии (1) для определения рациональных параметров, обеспечивающих эффективное значение сепарации ( $Y$ ) при уборке картофеля:

$$Y = 90,875 - 0,115 \cdot x_1 + 0,682 \cdot x_2 - 0,31 \cdot x_3 + 1,564 \cdot x_1^2 - 1,747 \cdot x_2^2 - 0,901 \cdot x_3^2 - 1,059 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,054 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,491 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

По критерию Фишера уравнение регрессии является адекватным и применимым для решения производствен-

<sup>1</sup> ГОСТ 28713 – 2018. Машины для уборки картофеля. Методы испытаний.

### Факторы и интервалы их варьирования

| Наименование фактора                                    | Нижний уровень (-1) | Основной уровень (0) | Верхний уровень (+1) | Интервал варьирования |
|---------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Расстояние от ленты транспортера до прутка $x_1(r)$ , м | 0,025               | 0,030                | 0,035                | 0,005                 |
| Угол наклона лопасти $x_2(\alpha)$ , град.              | 77                  | 82                   | 87                   | 5                     |
| Шаг установки лопастей $x_3(m)$ , м                     | 0,17                | 0,21                 | 0,25                 | 0,04                  |

ных задач. Определим значения факторов, обеспечивающих эффективное значение сепарации.

Примем в качестве постоянного фактора  $x_1 = 0$  ( $r = 0,03$ ), тогда уравнение регрессии (1) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y = 90,875 + 0,682 \cdot x_2 - 0,31 \cdot x_3 - 1,747 \cdot x_2^2 - 0,901 \cdot x_3^2 + 0,491 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Из анализа графиков отклика (рис. 3) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Полнота сепарации составляет  $Y_{opt} = 90,96\%$  и достигается при следующих значениях факторов: угол наклона лопасти к плоскости ленты транспортера  $\alpha = 82,89^\circ$ , шаг установки лопасти  $m = 0,205$  м при расстоянии от ленты транспортера до прутка  $r = 0,03$  м.

Примем в качестве постоянного фактора  $x_2 = 0$  ( $\alpha = 82^\circ$ ), тогда уравнение регрессии (1) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y = 90,875 - 0,115 \cdot x_1 - 0,31 \cdot x_3 + 1,564 \cdot x_1^2 - 0,901 \cdot x_3^2 - 1,054 \cdot x_1 \cdot x_3. \quad (3)$$

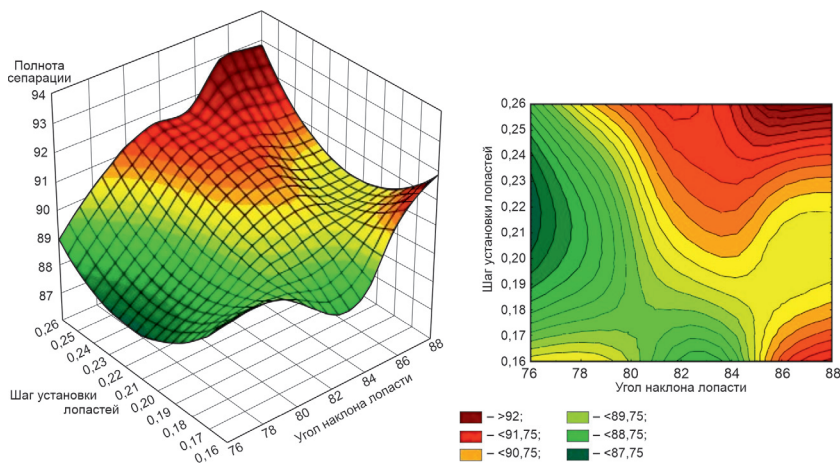
Из анализа графиков отклика (рис. 4) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Полнота сепарации составляет  $Y_{opt} = 90,9\%$  и достигается при следующих значениях факторов: расстояние от ленты транспортера до прутка  $r = 0,03$  м, шаг установки транспортера  $m = 0,204$  м при угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера  $\alpha = 82^\circ$ .

Примем в качестве постоянного фактора  $x_3 = 0$  ( $m = 0,21$  м), тогда уравнение регрессии (1) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

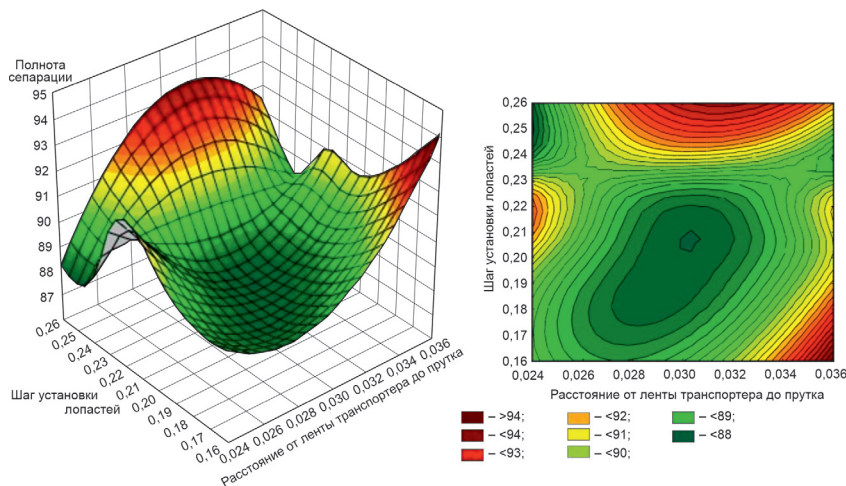
$$Y = 90,875 - 0,115 \cdot x_1 + 0,682 \cdot x_2 + 1,564 \cdot x_1^2 - 1,747 \cdot x_2^2 - 1,059 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (4)$$

Из анализа графиков отклика (рис. 5) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Полнота сепарации составляет  $Y_{opt} = 90,93\%$  и достигается при следующих значениях факторов: расстояние от ленты транспортера до прутка  $r = 0,03$  м, угол наклона лопасти к плоскости ленты транспортера  $\alpha = 82,84^\circ$  при шаге установки лопастей  $m = 0,21$  м.

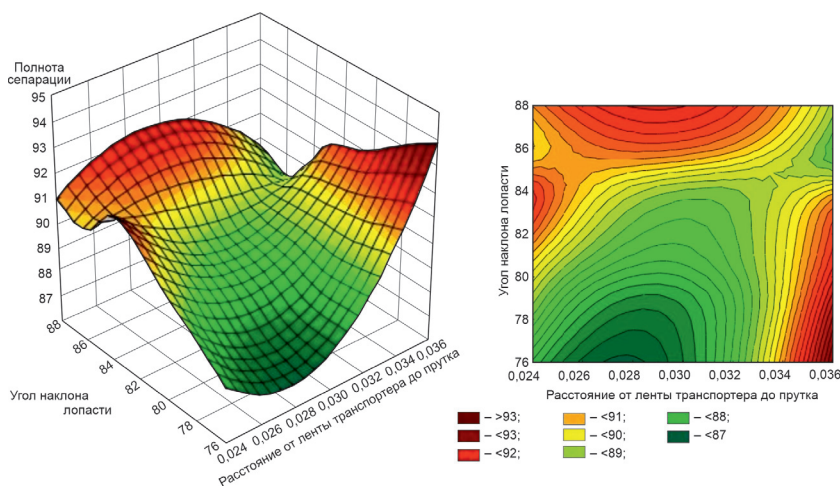




**Рис. 3. Зависимость полноты сепарации от угла наклона лопасти и шага установки лопастей при расстоянии от ленты транспортера до прутка  $r = 0,03$  м**



**Рис. 4. Зависимость полноты сепарации от расстояния от ленты транспортера до прутка и от шага установки транспортера при угле наклона лопасти  $\alpha = 82^\circ$**



**Рис. 5. Зависимость полноты сепарации от расстояния от ленты транспортера до прутка и от угла наклона лопасти при шаге установки лопастей  $m = 0,21$  м**

## Выводы

1. Благодаря применению лопатного интенсификатора сепарации на основном элеваторе картофелеуборочного комбайна полнота сепарации увеличилась за счет очистки прутков элеватора от залипания почвенным пластом и сокращения количества соударений их с прутками элеватора.

2. Полнота сепарации составила 90,93% и обеспечивается при расстоянии от ленты транспортера до прутка  $r = 0,03$  м, угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера  $\alpha = 82^\circ$ , шаге установки лопастей  $m = 0,21$  м. Тем самым, полученные теоретические предпосылки, подтверждены экспериментальными данными.

## Список

### использованных источников

1. Байбобоев Н.Г., Акбаров Ш.Б., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г. Повышение эффективности сепарации картофелеуборочных машин с применением дискового ворошителя // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 35-39.
2. Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах // Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С. 98-106.
3. Weil Z., Li H., Mao Y. Experiment and Analysis of Potato-Soil Separation Based on Impact Recording Technology // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2019. Vol. 12, Issue 5. Pp. 71-80.
4. Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля // Наука в центральной России. 2022. № 3 (57). С. 41-47.
5. Успенский И.А., Юхин И.А., Мачнев А.В., Голиков А.А. Формирование комплекса картофелеуборочных и транспортных машин // Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 27-31.
6. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. М.: Инфра-М, 2006. 512 с.

## Exploring the Influence of a Paddle Intensifier on the Completeness of Separation

P.I. Gadzhiev, A.V. Shemyakin,  
I.A. Uspenskiy,  
G.G. Ramazanov, I.P. Gadzhiev

**Summary.** The results of a comparative agro-technical assessment of the most significant factors that determine the completeness of separation of the separating working body of potato harvesters with an installed intensifier in the form of a pressure conveyor are presented. An analysis of the results showed that in this case, the completeness of separation on waterlogged soils is over 90%.

**Keywords:** completeness of separation, potato harvesting, blade inclination angle, intensifier, elevator.

УДК 631.3

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-30-32

# Смеситель-дозатор сухих сыпучих материалов

**С.Ю. Булатов,**

д-р техн. наук,  
доц., проф.,  
bulatov\_sergey\_urevich@mail.ru  
(ГБОУ ВО НГИЭУ);

**А.А. Зыкин,**

канд. техн. наук, доц.,  
zykin.andrey@mail.ru  
(ФГБОУ ВО «ВятГУ»);

**К.Е. Миронов,**

канд. техн. наук, доц.,  
mieronow@mail.ru  
(ГБОУ ВО НГИЭУ);

**А.Г. Сергеев,**

канд. техн. наук,  
ген. директор,  
office@dozaagro.ru  
(ООО «Доза-Агро»);

**Н.П. Шкилев,**

д-р с.-х. наук,  
науч. сотр.,  
ngiei-126@mail.ru  
(ГБОУ ВО НГИЭУ)

**Аннотация.** Предложена конструкция смесителя сухих сыпучих компонентов, в котором емкость для кормовой смеси вращается, а компоненты подаются из накопительного бункера через выгрузные окна, выполненные в виде секторов. Выгрузка осуществляется самотеком либо принудительно катушками. Рассмотрено три варианта катушек. Представлено математическое выражение для расчета объемов канавок катушек, исходя из их конструктивных особенностей.

**Ключевые слова:** качество смешивания, комбикорм, компоненты, конструкция, смеситель кормов, смешивание.

## Постановка проблемы

Корма необходимы для жизнедеятельности животных. Качественное кормление может обеспечить не только их раскрытие, но и повышение племенного потенциала. Для организации кормления необходимо учитывать виды кормов и потребности животных в питательных веществах.

По происхождению выделяют растительные, животные и минеральные корма. Основную часть корма для сельскохозяйственных животных составляют растительные корма, среди которых выделяют зеленые, грубые, сочные и концентрированные.

К концентрированным кормам относятся зерновые культуры, продукты переработки зерновых и масличных культур, отходы свеклосахарного и бродильного производства, травяная мука, а также приготовленные на их основе комбикорма.

Комбикормовая продукция представляет собой однородную смесь различных кормовых ингредиентов, предназначенную для скормливания животным конкретного вида, возраста и физиологического состояния. Комбикорма обычно содержат зерновые корма, травяную муку, сухой жом, белково-витаминные и микробиологические добавки, минеральные вещества и компоненты, корма животного происхождения [1].

Заводы комбикормовой промышленности производят полнорационные корма, комбикорма-концентраты и балансирующие кормовые добавки. Концентрированные корма, являющиеся важнейшим компонентом комбикормов, имеют высокую питательную ценность, в них содержится до 12% протеина и относительно мало клетчатки (3-10%). При этом кормовые ингредиенты предварительно должны быть очищены, измельчены, а сам комбикорм приготавливается по специально разработанным рецептам [2]. Важнейшим требованием к процессу приготовления комбикормов является равномерное смешивание компонентов, которое обеспечивает высокую поедаемость животными, лучшую усвояемость, а также снижает потери корма.

**Цель исследования** – разработка перспективного смесителя,

обеспечивающего качественное смешивание сыпучих материалов при невысоких энергозатратах.

## Материалы и методы исследования

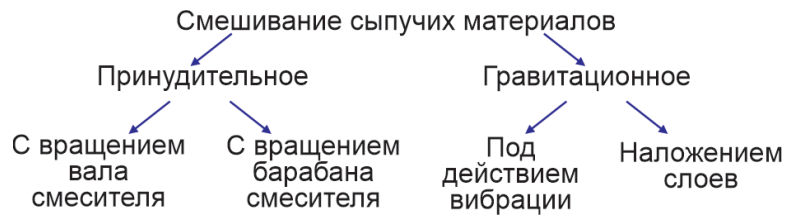
Для реализации поставленной цели были проведены мониторинг известных способов смешивания сыпучих материалов и сравнительный анализ смесителей с целью выбора решения по снижению энергопотребления процесса смешивания путем разработки конструкции перспективного смесителя, обладающего невысоким энергопотреблением процесса смешивания при качественном выполнении данной операции.

## Результаты исследований и обсуждение

Под смешиванием понимается механический процесс равномерного распределения отдельных компонентов во всем объеме смеси под действием внешних сил. На рис. 1 представлена общая классификация способов смешивания сыпучих материалов.

Наиболее распространенным является принудительное смешивание [3], которое происходит за счет вращения рабочих органов, закрепленных на вращающемся валу или барабане смесителя [4]. Наибольшее распространение в кормоприготовлении получили смесители с вращающимися рабочими органами, установленными на валу смесителя. Такой способ позволяет эффективно смешивать компоненты, однако является относительно энергозатратным.

С точки зрения энергопотребления перспективным является гравитационное смешивание [5-7], частицы компонентов равномерно распределяются в общем объеме за счет собственного веса при помощи вибрации или послойного наложения.



**Рис. 1. Общая классификация способов смешивания сыпучих материалов**

Так, минимизируя «толщину» каждого отдельного слоя, можно добиться высокой равномерности распределения компонентов во всем объеме смеси. Разработка схемы смесителя проводилась по результатам анализа существующих смесительных машин. Расчет отдельных элементов осуществлялся с использованием математического аппарата и законов физики.

На базе ГБОУ ВО НГИЭУ разработана конструкция смесителя сухих сыпучих компонентов [8]. Особенностью технического решения является то, что в предлагаемом устройстве емкость для смеси вращается, а компоненты подаются в емкость из каждой секции бункера радиально равномерно. Предлагаемый смеситель состоит из бункера 1, разделенного на несколько секций, и цилиндрической

емкости 2 для смешивания, которая установлена на вращающемся основании 3 (рис. 2). В днище бункера выполнены выгрузные окна 4 в виде сектора кольца, радиус  $R$  внешней дуги которого меньше внутреннего радиуса цилиндрической емкости, а радиус  $r$  внутренней дуги минимален с учетом конструктивных особенностей смесителя. Площадь выгрузного окна кольца удовлетворяет условию

$$S = \pi \left( \frac{\alpha}{360} \right) (R^2 - r^2), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол сектора кольца.

Количество подаваемых компонентов можно регулировать, изменяя угол сектора выгрузного окна с помощью шиберов. Второй вариант изменения количества подаваемых компонентов может быть осуществ-

влен установкой в выгрузных окнах дозирующих устройств в виде вращающихся усеченных конусов с продольными, сужающимися к оси вращения емкости канавками на образующей поверхности. При этом объем канавок удовлетворяет условию

$$V = \pi \left( \frac{\alpha}{360} \right) (R^2 - r^2) h, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол сектора кольца (в границах которого выполнена канавка) на развертке образующей поверхности усеченного конуса;

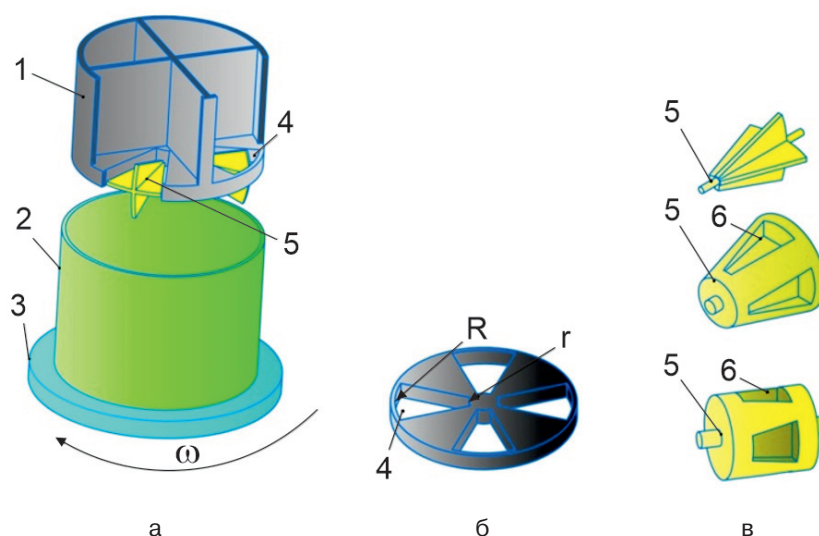
$R$  – радиус внешней дуги сектора кольца (в границах которого выполнена канавка) на развертке образующей поверхности усеченного конуса;

$r$  – радиус внутренней дуги сектора кольца (в границах которого выполнена канавка) на развертке образующей поверхности усеченного конуса;

$h$  – глубина канавки внутри усеченного конуса.

Устройство работает следующим образом. Каждый компонент смеси загружается в отдельную секцию бункера, откуда при открытии шибера компоненты смеси самотеком (см. рис. 2 б) или при вращении дозирующего устройства (см. рис. 2 в) радиально равномерно сыплются внутрь цилиндрической емкости, установленной на вращающемся основании. Количество секций бункера зависит от количества ингредиентов, соответствующих технологии и рецептам приготовления комбикормов. Ссыпающиеся компоненты накладываются друг на друга, благодаря чему происходит постепенное послойное заполнение цилиндрической емкости. Когда емкость окажется заполненной, подача компонентов из бункеров прекращается и основание перестает вращаться. После чего готовую смесь из цилиндрической емкости можно использовать по прямому назначению.

Данный способ смешивания позволяет снизить энергопотребление процесса за счет отсутствия активных перемешивающих рабочих органов и вибраторов. При этом качество смешивания повышается за счет равномерного распределения



**Рис. 2. Конструкция предлагаемого смесителя:**

а – трехмерная модель смесителя; б – трехмерная модель днища бункера; в – варианты изготовления дозирующих устройств; 1 – бункер; 2 – цилиндрическая емкость; 3 – основание; 4 – выгрузное окно; 5 – дозирующее устройство; 6 – продольные, сужающиеся к оси вращения емкости канавки



компонентов смеси, различных по физико-механическим свойствам. Предлагаемая конструкция позволяет быстро и точно настраивать подачу каждого компонента, а также изменять ее в зависимости от требований к готовой смеси.

К смесителям предъявляются следующие требования: высокое качество смешивания компонентов, низкое энергопотребление процесса смешивания, высокая производительность смесителя [9, 10]. Работа смесителя оценивается совокупностью этих показателей.

Можно предположить, что на показатели работы предлагаемого смесителя влияет ряд факторов (частота вращения основания цилиндрической емкости, количество подаваемого материала из каждого бункера, высота подачи компонентов над поверхностью смеси, физические свойства смешиваемых компонентов) [6, 11-13].

Предлагаемый смеситель кормов может использоваться в фермерских хозяйствах, так как обладает простотой устройства, мобильностью и способно удовлетворить потребность в комбикормах как крупных, так и небольших хозяйств. Предлагаемая конструкция может быть использована для установок различной производительности.

С целью получения рациональной конструкции на базе ГБОУ ВО НГИЭУ планируется изготовление экспериментальной установки, в которой будет обеспечена возможность изменения частоты вращения основания цилиндрической емкости, количества подаваемого материала из каждого бункера, высоты подачи компонентов над поверхностью смеси, количества бункеров с компонентами смеси, для исследования совместного влияния конструктивных и технологических факторов на критерии оптимизации.

## Выводы

1. В результате проделанной работы предложена схема общей классификации способов смешивания сыпучих материалов, проведен сравнительный анализ смесителей, предложено решение по снижению

энергопотребления процесса смешивания.

2. На базе ГБОУ ВО НГИЭУ выполнена конструкция перспективного смесителя, обладающего невысоким энергопотреблением процесса смешивания за счет отсутствия активных перемешивающих рабочих органов и вибраторов. При этом качество смешивания повышается за счет равномерного распределения компонентов смеси, различных по физико-механическим свойствам.

3. Предлагаемая конструкция позволяет быстро и точно настраивать подачу каждого компонента, а также изменять ее в зависимости от требований к готовой смеси. Оформлена заявка на патент.

## Список

### использованных источников

1. Булатов С.Ю. Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования: дис. ... д-ра техн. наук. Княгинино, 2018. 412 с.
2. Булатов С.Ю. Совершенствование рабочего процесса кормоприготовительных машин путем обоснования их конструктивных и режимных параметров // Вестник НГИЭИ. 2017. № 2 (69). С. 45-53.
3. Чилингарян Н.О. Классификация дозаторов-смесителей кормов // Вклад молодых ученых в аграрную науку: матер. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов. Самара: РИЦ СГСХА. 2013. С. 168-173.
4. Фролов Н.В., Мальцев В.С. Результаты экспериментальных исследований дозатора-смесителя концентрированных кормов // Вестник Ульяновской ГСХА: научно-теоретический журнал. 2011. № 2 (14). С. 119-123.
5. Новиков В.В., Симченкова С.П., Грецов А.С. Результаты экспериментальных исследований энергоёмкости подготовки кормов смесителем-дозатором пресс-экструдера // Известия Самарской ГСХА. 2012. № 3. С. 112-116.
6. Новиков В.В., Савельев Ю.А., Симченкова С.П. Обоснование производительности смесителя-дозатора // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 3. С. 129-133.
7. Мальцев Г.С., Мальцев В.С. Анализ расположения перегородок бункера дозатора-смесителя в зависимости от со-

става смеси // Известия Самарской ГСХА. № 3. 2009. С. 84-87.

8. Пат. 2761635 РФ, № 2020134884А. Способ смешивания кормов и устройства его осуществления. Миронов К.Е.; Заявл. 23.10.2020; опубл. 13.12.2021. Бюл. № 35.

9. Коновалов В.В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Д.Н. Азиаткин, А.С. Грецов // Известия Самарской ГСХА. 2013. № 3. С. 72-78.

10. Петрова С.С. Сравнительные исследования смесителя с круглыми и плоскими лопастями / С.С. Петрова, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев, М.В. Коновалова // Известия Самарской ГСХА. № 3. 2011. С. 121-124.

11. Новиков В.В., Азиаткин Д.Н., Мишанин А.Л. Результаты исследования неравномерности дозирования смеси смесителем-дозатором // Нива Поволжья. 2013. № 3 (28). С. 95-100.

12. Аниекевич А.А. Математическое моделирование процессов непрерывного и дискретного дозирования сыпучих материалов в смесительном агрегате: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: РИЦ КемТИППа, 2007. 20 с.

13. Мишин К.М. Совершенствование рабочего процесса смесителя концентрированных кормов и жира с обоснованием его конструктивно-режимных параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2001. 25 с.

## Dosing Mixer for Dry Bulk Materials

S.Yu. Bulatov

(NGIEU)

A.A. Zykin

(Vyatka State University)

K.E. Mironov

(NGIEU)

A.G. Sergeev

(Doza-Agro)

N.P. Shkilev

(NGIEU)

**Summary.** A design of a mixer for dry bulk components is proposed. The container for the feed mixture rotates, and the components are fed from the storage hopper through the unloading windows made in the form of sectors. Unloading is carried out by gravity or forcibly coils. Three variants of coils are considered. A mathematical expression is presented for calculating the volumes of coil grooves, based on their design features.

**Keywords:** mixing quality, compound feed, components, design, feed mixer, mixing.

# ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ

XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

## МВС: ЗЕРНО-КОМБИКОРМА-ВЕТЕРИНАРИЯ - 2023



### 21-23 ИЮНЯ

### МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОНЫ № 55, 57



**СПЕЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:**



МИНСЕЛЬХОЗ РОССИИ



РОССИЙСКИЙ  
ЗЕРНОВОЙ СОЮЗ



АССОЦИАЦИЯ  
«РОСРЫБХОЗ»



СОЮЗ  
КОМБИКОРМИЩИКОВ



СОЮЗРОССАХАР



НАЦИОНАЛЬНАЯ  
ВЕТЕРИНАРНАЯ  
АССОЦИАЦИЯ



АССОЦИАЦИЯ ПТИЦЕВОДОВ  
СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО  
ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА



СОЮЗ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ЗООБИЗНЕСА



АССОЦИАЦИЯ  
«ВЕТБИОПРОМ»



АССОЦИАЦИЯ  
«ВЕТБЕЗОПАСНОСТЬ»



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ  
СВИНОВОДОВ



РОСПТИЦЕСОЮЗ



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР  
МОСКОВСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ  
ЦЕНТР МАРКЕТИНГА «ЭКСПОХЛЕБ»



ТЕЛ.: (495) 755-50-35, 755-50-38  
E-MAIL: [INFO@EXPOKHLEB.COM](mailto:INFO@EXPOKHLEB.COM)  
[WWW.MVC-EXPOKHLEB.RU](http://WWW.MVC-EXPOKHLEB.RU)



16+

УДК 631

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-34-38

# Применение технологий 3D-печати и 3D-сканирования при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники

Ю.В. Катаев,

канд. техн. наук,  
вед. науч. сотр.,  
ykataev@mail.ru

Ю.А. Гончарова,

науч. сотр.  
lopatina.julia@yandex.ru

А.С. Свиридов,

мл. науч. сотр., аспирант,  
sviridov.vim@ya.ru

С.П. Тужилин,

мл. науч. сотр.,  
sptuzh@gmail.com  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

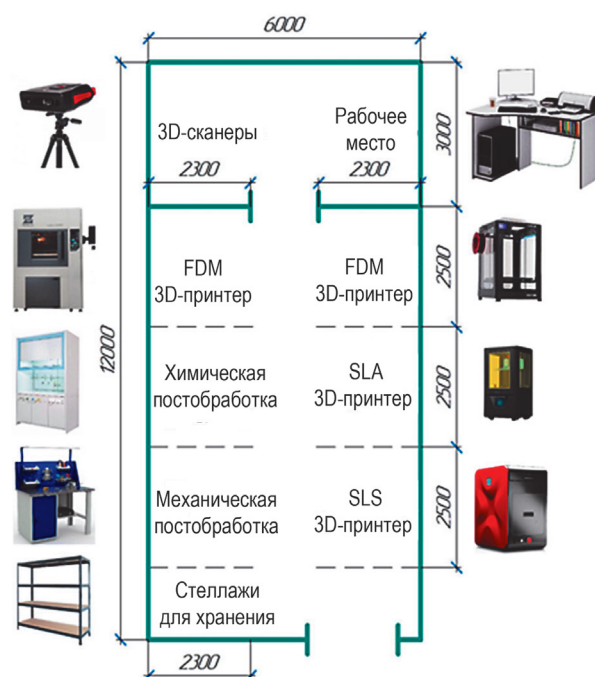
**Аннотация.** Представлены данные по изучению концепции 3D-фермы на производстве, дана оценка возможностей и перспектив использования данной концепции в АПК на основе реальных кейсов, выполненных с использованием материально-технической базы ФНАЦ ВИМ. Были определе-

ны основные преимущества и недостатки 3D-печати, изучен мировой опыт использования аддитивных технологий, а также участков 3D-печати и 3D-сканирования на базе ФНАЦ ВИМ как при изготовлении прототипов и макетов, так и изделий для ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования. Определены дальнейшие перспективы применения 3D-ферм на ремонтных предприятиях.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, 3D-сканер, аддитивные технологии, ремонт, восстановление работоспособности, прототипирование, макет, полимер, композит.

## Постановка проблемы

Технологии аддитивного производства получают с каждым годом все большее развитие и в некоторых сферах постепенно начинают заменять традиционные. Применение



**Рис. 1. Цифровая 3D-ферма для изготовления и ремонта сельскохозяйственной техники**

аддитивных технологий позволяет значительно уменьшить материальные и временные затраты в условиях единичного и мелкосерийного производства полимерных и композиционных деталей, объем использования которых в сельскохозяйственной технике постоянно увеличивается [1-4].

Одной из наиболее эффективных форм организации аддитивного производства является 3D-ферма, состоящая из нескольких связанных между собой 3D-принтеров, которая может управляться одним оператором. При подобном устройстве оператор имеет возможность удаленно отправлять детали на печать, наблюдать за процессом печати и при необходимости вмешиваться в него, внося корректировки, также оператор будет оперативно получать уведомления об окончании процесса печати и работы

принтера, возникновении неисправностей и израсходования материалов, необходимых для печати. Наиболее часто в составе 3D-ферм используют принтеры, работающие по технологии FDM, SLA, SLS.

**Цель исследования** – изучение концепции 3D-фермы, состоящей из участков 3D-сканирования, 3D-печати и финишной обработки изделий (рис. 1), а также возможностей и перспектив использования данной концепции в АПК, взяв за основу реальные кейсы.

## Материалы и методы исследования

При проведении исследований в качестве исходных данных использована информация из открытых информационных источников в виде отчетов о НИР, публикаций в отечественных и зарубежных журналах и др.

Применялись методы сбора, изучения и сравнительного анализа информации, рассматривались реальные кейсы, выполненные с использованием материально-технической базы ФНАЦ ВИМ. Также в исследовании были использованы материалы, полученные в рамках выполнения этапов тем НИР и НИОКР в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

## Результаты исследований и обсуждение

По сравнению со многими традиционно применяемыми технологиями 3D-печать выгодно отличается возможностью изготовления изделий сложной формы без использования специальной дорогостоящей оснастки. Традиционными технологиями, по-



звляющими достичь подобной сложности форм полимерных изделий без изготовления сложной оснастки, являются методы механической обработки с использованием станков с ЧПУ, а также некоторые виды литья.

Применение фрезерных станков с ЧПУ обеспечивает высокую точность и качество поверхности изделий, однако сложность получаемых с их помощью форм по сравнению с 3D-печатью все же ограничена. При этом станки с ЧПУ по сравнению с 3D-принтерами обладают гораздо более высокой стоимостью. Кроме того, для их использования необходимы создание сложных управляющих программ и высококвалифицированный персонал [4]. Также при использовании станков для получения деталей сложных форм необходимо совершать множество технологических операций и переходов, что существенно увеличивает время и сложность изготовления изделий. Помимо прочего, в отличие от 3D-принтеров, станки необходимо переналаживать каждый раз при смене номенклатуры производимых изделий, что делает применение 3D-печати в условиях единичного или мелкосерийного ремонтного производства более целесообразным.

Наряду с 3D-печатью широкое распространение для изготовления полимерных изделий в условиях мелких серий получила в настоящий момент технология литья термореактивных полимеров в силиконовые формы. Наиболее часто применимым для литья материалом является полиуретан, поскольку его различные марки позволяют получить широкий спектр продукции, начиная от прочных и твердых изделий и заканчивая гибкими эластомерными [5]. С использованием технологии литья в силиконовые формы можно получать изделия достаточно высокой точности, а также с низкой шероховатостью и высоким комплексом физико-механических свойств [6]. Однако, как показывают расчеты, экономически целесообразным данный метод становится, начиная с объема партии не менее 5 шт., что выгодно выделяет 3D-печать как метод изготовления деталей на ремонтных предприятиях. При

этом применяемые при 3D-печати материалы по своим свойствам не уступают, а иногда даже превосходят полиуретаны.

Несмотря на весомый ряд преимуществ, 3D-печать обладает и некоторыми недостатками. К ним относится низкая прочность получаемых изделий при использовании некоторых технологий и материалов. Например, при печати методом FDM часто наблюдается плохая межслойная адгезия, из-за чего изделия могут расслаиваться. Также недостатком метода FDM является низкое качество поверхности деталей, из-за чего они часто нуждаются в постобработке химическими или механическими методами [7].

В настоящее время опубликовано большое количество научных работ российских и зарубежных авторов, посвященных применению технологий аддитивного производства в различных отраслях науки и техники. Так, в работе [8] изучается возможность применения данных технологий для прототипирования электронных средств. Утверждается, что использование данных технологий для создания прототипов изделий, отвечающих требованиям, предъявляемым к готовой продукции, вполне целесообразно. Кроме того, эти технологии позволяют анализировать ошибки при проектировании и сократить время на запуск изделия в производство. При этом прототипы составляющих электронных средств можно проверить на функциональность, а также протестировать работоспособность изделия в условиях эксплуатации.

В работе [9] авторы успешно применяют технологии аддитивного производства для изготовления опор скольжения узлов сельскохозяйственной техники, указывая на целесообразность их применения в условиях ремонтного производства. Авторы [10] нашли применение аддитивным технологиям при сервисе садовой техники, а в работе [11] – успешно использовали эти технологии для ремонта системы судовой пожарной автоматики, что позволило существенно снизить затраты на ремонт. В работе [12] указывается на целе-

сообразность использования аддитивных технологий для изготовления опытных образцов деталей, что позволяет снизить расходы на оснастку и количество отходов производства за счёт вторичной переработки материалов, используемых в качестве расходных для данных технологий, а также сократить время, затрачиваемое на опытно-конструкторские работы.

На целесообразность применения стереолитографии для изготовления небольших деталей указано в работе [13]. Данная технология позволяет снизить как материальные, так и временные затраты на производство деталей в различных отраслях. В работе [14] описано успешное применение аддитивных технологий для изготовления рентгеновских коллиматоров сложной конфигурации. Оригинальные коллиматоры выполнены полностью из вольфрама, в то время как новые изготовлены по технологии FDM из PLA-пластика, наполненного порошком вольфрама. Это позволило существенно сократить затраты.

В работе [15] рассмотрена возможность изготовления электрохимических устройств для хранения энергии экструзионными методами аддитивных технологий. При этом применение данных технологий позволяет получить бездефектные тонкие элементы таких устройств из разных материалов. Более того, под действием сдвига при экструзии через сопло расходный материал выравнивается, что повышает проводимость элементов устройства и, как следствие, повышает его качество. В работе [16] исследована возможность применения аддитивных технологий для изучения и контроля сборочных узлов. При этом технологии позволяют проверить фактические допуски деталей и определить порядок сборки узла с наименьшими затратами и в кратчайшие сроки.

Сфера аддитивных технологий бурно развивается, так что можно ожидать дальнейшее повсеместное внедрение методов аддитивного производства для решения разнообразных задач, с которыми специалисты сталкиваются во многих областях

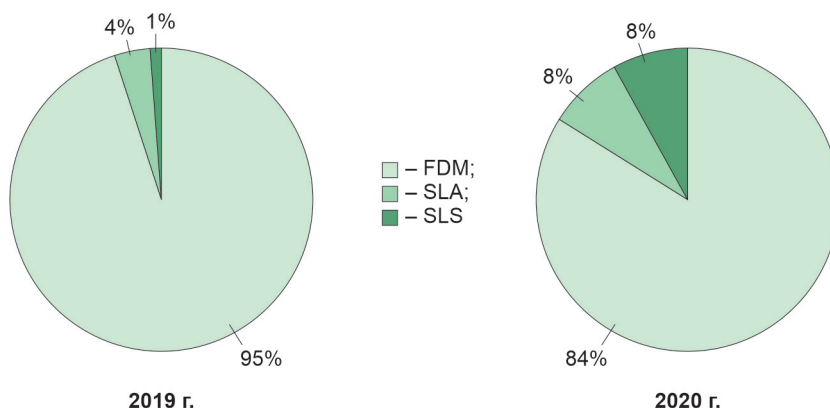
науки и техники. В начале 2018 г. руководством ФГБНУ ФНАЦ ВИМ было принято решение об организации аддитивного производства на базе института. Ключевые направления – изготовление макетов, прототипов, полнофункциональных опытных образцов, а также ремонт техники и оборудования. Существующая в настоящий момент в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ цифровая ферма позволяет оперативно проводить обратное проектирование необходимых деталей, а также быстро изготавливать как детали макетов и прототипов, так и полнофункциональные детали для ремонта различной техники и оборудования.

На рис. 2 представлена статистическая информация об использовании аддитивного оборудования различных типов в составе созданного в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ участка за 2019-2020 гг. Наиболее часто при печати применялся пластик ABS, на него приходится 72 % от общей массы применяемых материалов. На втором месте по частоте использования находится полиамид (12 %), на третьем – композиционные материалы (9 %). На долю всех остальных материалов приходится 7 %.

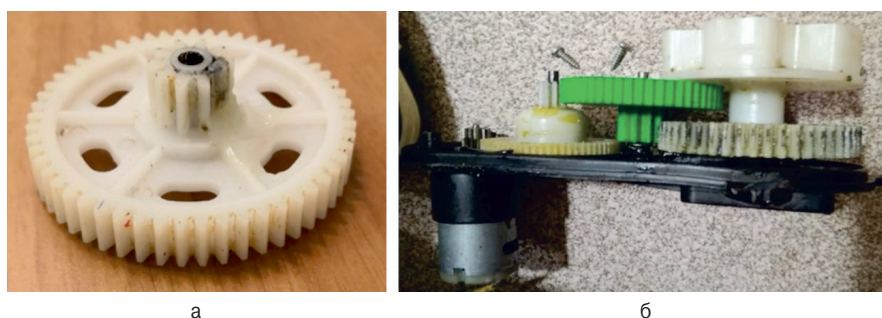
За это время было изготовлено множество прототипов и функциональных деталей для ряда научно-исследовательских работ, проводимых в лабораториях института (рис. 3).

Кроме того, с использованием 3D-фермы был отремонтирован привод насоса низкого давления (рис. 4). Причина отказа – износ зуба шестерни, входящей в состав привода. С помощью 3D-сканирования была получена цифровая модель зубчатого колеса, на ее основе с помощью специальных программ создана CAD-модель, которую далее доработали в соответствующих редакторах. Следующим шагом стала распечатка полученной модели на 3D-принтере, работающем по технологии FDM.

С использованием цифрового 3D-сканера из состава фермы была произведена оценка износа фрикционных дисков трактора К-701 (рис. 5).



**Рис. 2. Данные по загрузке разного типа оборудования**



**Рис. 4. Ремонт привода насоса низкого давления:**

а – изношенное колесо; б – отремонтированный привод насоса с зубчатым колесом, изготовленным способом 3D-печати



Рис. 5. Цифровые модели фрикционных дисков со следами износа

Данные фрикционные диски содержат на поверхности сложный рельеф, из-за которого оценка износа традиционными методами весьма затруднена, при этом для осуществления процесса 3D-сканирования такой рельеф никакой сложности не составил. Проведенная оценка величины износа фрикционных дисков позволила сделать вывод о возможности их дальнейшей эксплуатации и общем ресурсе их работы.

3D-сканирование также успешно применялось для создания моделей запасных частей различной сельскохозяйственной техники, вышедших из строя и подлежащих замене (рис. 6). На основе полученных 3D-моделей в последствии с помощью 3D-печати были изготовлены запасные части, что позволило существенно сократить сроки ремонта техники.

В случае сложной поломки сельскохозяйственной техники ремонт обычно выполняют в течение одной или двух недель, если же проблема несложная, то на ее решение обычно хватает нескольких дней. Однако в случае ремонта зарубежной техники, которая в настоящее время преобладает в структуре парка используемых сельскохозяйственных машин, сроки и стоимость ремонта

существенно увеличиваются из-за покупки запасных частей у компании-производителя и транспортировки их к месту ремонта [9]. Проводить ремонт иностранной техники самостоятельно зачастую невозможно из-за отсутствия необходимой конструкторской документации.

С помощью 3D-сканирования можно проводить реверс-инжиниринг или обратное проектирование отказавших деталей сельскохозяйственной техники и, таким образом, быстро получать необходимые 3D-модели и чертежи, которые далее можно использовать для оперативного ремонта сельскохозяйственной техники, в частности, с помощью распечатки на 3D-принтере изношенных и подлежащих замене деталей. В настоящий момент существует широкая номенклатура материалов печати с разнообразными механическими, физическими и прочими функциональными свойствами, что позволяет в каждом случае подобрать материал, повторяющий свойства оригинального.

3D-сканирование на ремонтном предприятии перспективно для использования в качестве средства контроля геометрии деталей сельскохозяйственной техники [18-20]. Для этого с помощью 3D-сканера

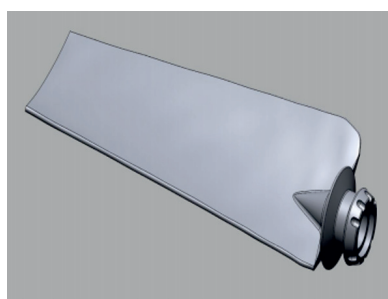
создается цифровая модель реального изделия и сравнивается с его цифровой идеальной спроектированной моделью. С помощью подобного сравнения можно оценить величину износа деталей, оценить остаточный ресурс работы и назначить способы восстановления геометрии изделия.

## Выводы

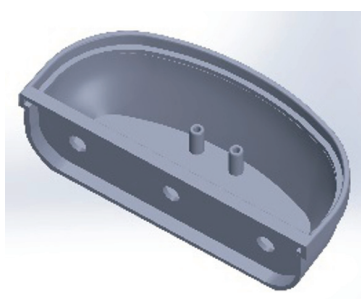
1. Использование на ремонтных предприятиях 3D-ферм, состоящих из участков 3D-печати, 3D-сканирования и постобработки изделий, приводит к ускорению процессов восстановления работоспособности техники, поскольку с их помощью можно быстро производить запасные части из полимерных и композиционных материалов и заменять ими отказавшие оригинальные детали. Ремонт, проведенный в наиболее возможные кратчайшие сроки, позволяет значительно сократить простои сельскохозяйственной техники и связанные с ними потери от простоя.

2. Применение технологий аддитивного производства позволило снизить стоимость, а также повысить скорость проводимых исследований и производственных процессов на базе ФГБНУ ФНАЦ ВМ.

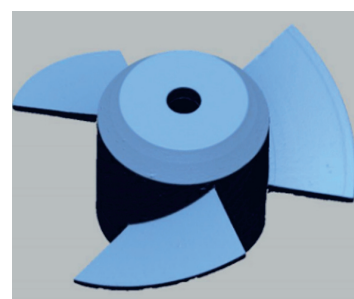
3. Тем не менее, отсутствие необходимых базовых знаний об аддитивных технологиях и навыков использования 3D-принтеров и 3D-сканеров существенно затрудняет скорость их внедрения на различных предприятиях сельскохозяйственного сектора, как производящих новую сельхозтехнику, так и занимающихся ремонтом и техническим обслуживанием.



а



б



в

Рис. 6. Примеры сканирования запасных частей для сельскохозяйственной техники:

а – лопасть опрыскивателя; б – корпус фары; в – винт



## Список

### использованных источников

1. **Дорохов А.С., Свиридов А.С.** Перспективы применения полимеров в деталях сельскохозяйственных машин // «Горячкинские чтения»: сб. II Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения акад. В.П. Горячкина. 2019. С. 273-277.
2. **Izmailov A.Yu., Moskovsky M.N., Podlesnyi D.S.** Development of a set of working units from polymeric materials for the design of combine harvesters // MATEC Web of Conferences. 2018.
3. **Денисов В.А., Кудряшова Е.Ю., Романов И.В., Решиков Е.О.** Сравнительные испытания на износостойкость слоистых полимеров с добавлением армирующих волокон / Тр. ГОСНИТИ. 2018. Т. 132. С. 164-175.
4. **Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Kataev Yu.V.** Measurement risk management method at machine-building enterprises // Journal of Physics: Conference Series. 2020. P. 52060.
5. **Karande A.M., Kalbande D.R.** Weight Assignment Algorithms for Designing Fully Connected Neural Network // IJISA. 2018. No. 6. 68-76.
6. **Шекшаева Н.Н., Князьков А.С.** Особенности технологии вакуумного литья мелких деталей в силиконовые формы: матер. XXI науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского ГУ им. Н.П. Огарёва. В 3-х ч. Ижевск, 2017. С. 708-711.
7. **Медведева С.И., Некрасов А.А., Шепелёв С.О.** Преимущество 3D-печати в изготовлении прототипов в робототехнике // Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем: матер. Междунар. конф. 2016. С. 113-117.
8. **Романова Е. Б., Веселова Т. И.** Применение RP-технологий при про-

тотипировании электронных средств // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. № 5. С. 401-405.

9. **Краснящих К.А., Свиридов А.С.** Применение быстрого прототипирования в АПК на примере опор скольжения // Наука без границ. 2018. № 2 (19). С. 51-55.

10. **Дорохов А.С., Свиридов А.С.** Применение аддитивных технологий при техническом сервисе садовой техники // Агроинженерия. 2020. № 6 (100). С. 39-44.

11. **Десятьев А.В., Гришин П.Р., Пчелинцев А.В., Морозов В.Н.** Опыт применения 3D-печати в судовом машиностроении на примере ремонта системы судовой пожарной автоматики // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2019. № 54-55. С. 87-95.

12. **Сбоева И.А., Бородин Ю.Н.** Патентное исследование конструкций герметичных насосов в разрезе применения технологий 3D-печати для их прототипирования // StudNet. 2021. №1. С. 111.

13. **Baban K. Suryatal, Sunil S. Sarawade, Suhas P. Deshmukh.** Fabrication of medium scale 3D components using stereolithography system for rapid prototyping // Journal of King Saud University - Engineering Sciences. 2021.

14. **Khong J.C., Speller R., Dorkings S.** Rapid prototyping of cost-efficient X-ray collimators // Manufacturing Letters. 2019. Vol. 20. Pp. 49-53.

15. **Gillian F. Hawes, Sarish Rehman, Michael A. Pope.** Rapid prototyping of electrochemical energy storage devices based on two dimensional materials // Current Opinion in Electrochemistry. 2020. No. 20. Pp. 36-45.

16. **Ahmad A., Darmoul S., Ameen W., Mustufa H.** Rapid Prototyping for Assembly Training and Validation // IFAC-PapersOnLine. 2015. No. 48. Pp. 412-417.

17. **Kriesi C., Bjelland O., Steinert M.** Fast and iterative prototyping for injection molding – a case study of rapidly prototyping // Procedia Manufacturing. 2018. No 21. Pp. 205-212.

18. **Скорыходов Д.М.** Влияние факторов на точность контроля качества запасных частей сельскохозяйственной техники автоматизированным измерительным устройством // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. 2018. № 2(84). С. 44-49.

19. **Скорыходов Д.М., Дорохов А.С.** Экспериментальные исследования автоматизированного измерительного устройства // «Горячкинские чтения»: сб. Междунар. науч. конф. молодых учёных и специалистов, посвящ. 150-летию со дня рождения акад. В.П. Горячкина. 2018. С. 217-220.

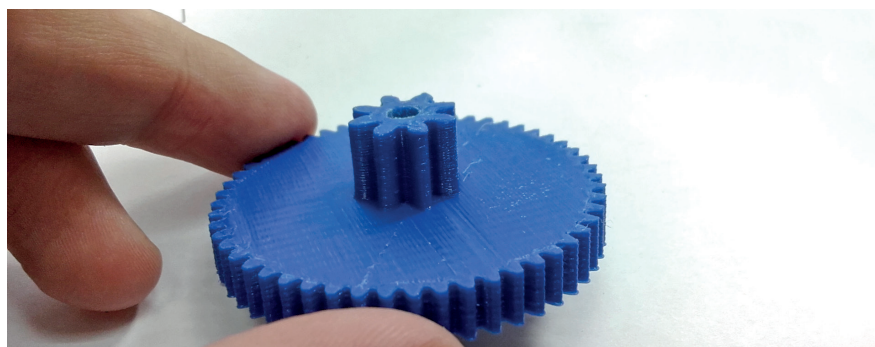
20. **Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Дорохов А.С.** Компьютерные технологии проектирования в учебном процессе агроинженерных вузов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина. 2010. № 4(43). С. 82-85.

## Application of 3D Printing and 3D Scanning Technologies in the Manufacture and Repair of Agricultural Machinery

**Yu.V. Kataev, Yu.A. Goncharova, A.S. Sviridov, S.P. Tuzhilin, (VIM)**

**Summary.** Data are presented on the study of the concept of a 3D farm in production, as well as an assessment of the possibilities and prospects for using this concept in the agribusiness based on real cases performed using the material and technical base of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM. The main advantages and disadvantages of 3D printing were identified, the world experience in the use of additive technologies, as well as 3D printing and 3D scanning sites using technical base of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, both in the manufacture of prototypes and mock-ups, and products for the repair of agricultural machinery and equipment, was studied. Further prospects for the use of 3D farms at repair enterprises are determined.

**Keywords:** 3D printer, 3D scanner, additive technologies, repair, recovery, prototyping, layout, polymer, composite.





# Би<sup>масса</sup>

топливо и энергия

Конгресс & экспо

## Темы конгресса:

- Состояние отрасли: развитие технологий и рынка биотоплив
- Производство пищевого и технического спирта: тонкости технологии, реконструкция заводов, новые виды сырья
- Топливный биоэтанол, бутанол и другие транспортные биотоплива
- Пиролиз и газификация: бионефть и сингаз. Стандарты и рынок печного биотоплива
- Биодизель, биокеросин и растительные масла как топливо
- Твердые биотоплива: пеллеты, брикеты, щепа
- Другие вопросы биотопливной отрасли

## Кто будет участвовать:

Производители зерна и сахара, переработчики древесины, ЦБК, нефтяные компании, банки, инженеринговые компании, производители оборудования, и все, кому интересы топлива из возобновляемого сырья.

**12-13 апреля 2023**

**Отель «Холидей Инн Лесная»**

Москва

+7 (495) 585-5167

info@biotoplivo.ru

www.biotoplivo.com

КРУПНЕЙШАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ВЫСТАВКА В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**15-16 марта 2023**

**ВОЛГОГРАД АРЕНА**

33-я межрегиональная выставка с международным участием

**АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ  
КОМПЛЕКС**



ВЦ «ЦАРИЦЫНСКАЯ ЯРМАРКА» Волгоград, ул. М. Еременко 42

Тел./факс: (8442) 26-50-34

e-mail: nastya@zarexpo.ru, www.zarexpo.ru



УДК 631.171:621.577

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-40-45

# Физическое моделирование процесса сушки с применением термоэлектрического теплового насоса

**Д.А. Тихомиров,**

д-р техн. наук,  
чл.-корр. РАН,  
гл. науч. сотр.,  
tihda@mail.ru

**И.С. Яшин,**

аспирант,  
mr\_sprite13@mail.ru

**А.В. Хищенко,**

канд. техн. наук,  
ст. науч. сотр.,  
education.science@yandex.ru

**А.В. Кузьмичев,**

науч. сотр.,  
alkumkuzm@mail.ru  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

**Аннотация.** Разработана функционально-технологическая схема и физическая модель конвективной термоэлектрической сушилки для овощей, фруктов, грибов, семян, лекарственных растений и других материалов бытового назначения. Подготовлен лабораторный стенд и проведены исследования тепловых и электрических параметров термоэлектрической сушилки, работающей в режиме теплового насоса. Экспериментальные исследования действующего образца термоэлектрической сушилки показали высокую энергетическую эффективность разрабатываемой установки.

**Ключевые слова:** термоэлектрическая сушилка, тепловой насос, энергосбережение, конвективная сушка, элементы Пельтье.

## Постановка проблемы

Тепловая сушка продуктов и материалов является составной частью многих технологий сельхозпроизводства и относится к наиболее энергоемким процессам. В то же время она является одним из наиболее экономичных способов переработки сырья. Сушеные фрукты и овощи обладают высокой энергетической ценностью,

так как содержат значительное количество химических элементов и сохраняют свои свойства в течение долгого времени. Они занимают меньший объем и имеют длительный срок хранения, могут использоваться в качестве сырья для производства пищевых концентратов в различных отраслях пищевой промышленности [1, 2].

В бытовых сушилках малой производительности, как правило, применяют конвективный способ нагрева материала. В процессе сушки из продукта удаляется влага (остаточная влажность овощей составляет 10-12 %, фруктов – 18-25 %). Известные серийно выпускаемые бытовые электросушилки для пищевых продуктов (Элвин СУ-1, Ezidri Ultra FD 1000, SUPRA DFS-211, «Ветерок», «Ветерок-2», Polaris PFD 0205AD, «Суховей-3», «Суховей МП-5», Smile FD 993, Saturn ST-FP011 и другие модели) [3] в рабочем режиме сбрасывают с влажным воздухом в окружающее пространство и тепло, полученное от электронагревателя. Таким образом, недостатками известных сушилок бытового назначения являются значительные потери тепловой энергии, а также неравномерность нагрева слоев продукта из-за застоя воздуха и уменьшения его температуры по мере продвижения снизу-вверх, в результате чего продукты на нижних поддонах сушатся быстрее, чем на верхних [4]. Поэтому разработка энергоэффективной сушильной установки представляется актуальной задачей.

**Цель исследования** – обоснование применения термоэлектрического теплового насоса на базе элементов Пельтье в качестве нагревателя сушильного агента в электросушилках для овощей и фруктов, что позво-

лит обеспечивать снижение затрат электроэнергии в процессе сушки при сохранении высоких показателей качества готового продукта.

## Материалы и методы исследования

В последнее время термоэлектрические модули и сборки на базе элементов Пельтье находят достаточно широкое применение в различных технологических процессах сельхозпроизводства: осушение и подогрев воздуха [5, 6], пастеризация и охлаждение молока [7], локальный обогрев молодняка животных [8] и др. [9]. Эффективность использования термоэлектрического теплового насоса в конструкции сушильной установки объясняется тем, что по данным исследований, в большинстве современных термоэлектрических тепловых насосов коэффициент преобразования (COP) находится на уровне 1,2-2,5 [10], т.е. на сушку продукта будет затрачиваться меньше тепловой энергии, чем при использовании сушилок бытового назначения, представленных на рынке, где в качестве нагревателя сушильного агента используется, как правило, трубчатый электрический нагреватель (ТЭН).

Принцип работы теплового насоса сводится к тому, что холодный контур термоэлектрической сборки ассимилирует теплоту из отработанного воздуха сушилки и передает ее на горячий контур, что повышает выработку тепловой энергии на горячей стороне термоэлектрического модуля, используемой для нагрева воздуха и экономии энергии потребляемой из сети.

Для проведения физического моделирования режимов работы предлагаемой конструкции сушильной



установки [11, 12] следует обеспечить следующие параметры: мощность (230±40) Вт; температура сушильного агента 30-70 °С; доля рециркуляции сушильного агента 30-60 %; продукт сушки – овощи, фрукты, грибы, лекарственные растения, семена и др.; режим работы – периодический; источник тепловой энергии – термоэлектрический модуль Пельтье; тип сушилki по способу тепло- и массообмена – конвективная.

Для проведения физического моделирования процесса сушки в конвективной термоэлектрической сушилке на основании ранее разработанной структурной схемы [5, 11] разработана и изготовлена термоэлектрическая сборка (рис. 1), которая представляет собой термоэлектрический насос на базе элемента Пельтье TEC1-22818 и является источником нагрева сушильного агента. Технические параметры вентиляторов и термоэлемента Пельтье представлены в табл. 1 и 2.

Для организации циркуляции теплоносителя (воздух) в сушильной камере и прохождения его через радиатор горячего контура применен вентилятор. С горячей стороны термоэлемента прикреплен воздушный радиатор, размещенный в сушильной камере установки. Воздух забирается из нижней части сушильной камеры, проходит через каналы радиатора горячего контура, где нагревается, и подается на решета (лотки) с высушиваемым материалом. Между радиатором и вентилятором горячего контура размещена теплоизолирующая вставка, которая защищает электродвигатель вентилятора от перегрева и обеспечивает равномерное распределение воздушного потока по каналам радиатора горячего контура.

Термоэлектрический элемент Пельтье установлен между радиаторами горячего и холодного контуров, при этом отклонение от плоскостности поверхности обоих радиаторов не должно превышать 0,02 мм ( $\Delta \leq 0,02$  мм). В этом случае обеспечивается требуемый отвод теплоты от термоэлемента, а также существенно повышается срок его службы из-за

Таблица 1. Параметры термоэлектрического элемента

| Тип модуля | Напряжение питания, В | Ток, А | Максимальная разница температур сторон, град. | Максимальная потребляемая мощность, Вт | Размер, мм | Масса, г |
|------------|-----------------------|--------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------------|----------|
| TEC1-22818 | 24                    | 16     | 70                                            | 360                                    | 50x50x4    | 35       |

Таблица 2. Параметры вентиляторов холодного и горячего контуров сборки

| Тип вентилятора     | Производительность, м³/мин | Скорость вращения, мин | Напряжение питания, В | Ток, А | Габаритные размеры, мм | Срок службы, ч |
|---------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|--------|------------------------|----------------|
| Бесщеточный GDSTIME | 1,23                       | 2800                   | 12                    | 0,2    | 80x80x25               | 35000          |
| Everflow R127015DU  | 1,4                        | 2800                   | 12                    | 0,23   | 80x80x35               | 45000          |

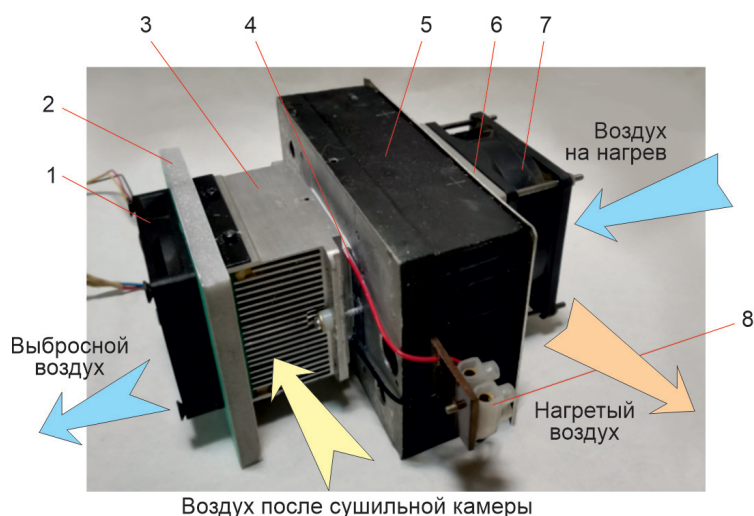


Рис. 1. Общий вид термоэлектрической сборки на базе элемента Пельтье:

- 1 – вентилятор холодного контура; 2, 6 – теплоизолирующая вставка; 3 – воздушный радиатор холодного контура; 4 – элемент Пельтье; 5 – воздушный радиатор горячего контура; 7 – вентилятор горячего контура; 8 – клеммная колодка питания элемента Пельтье

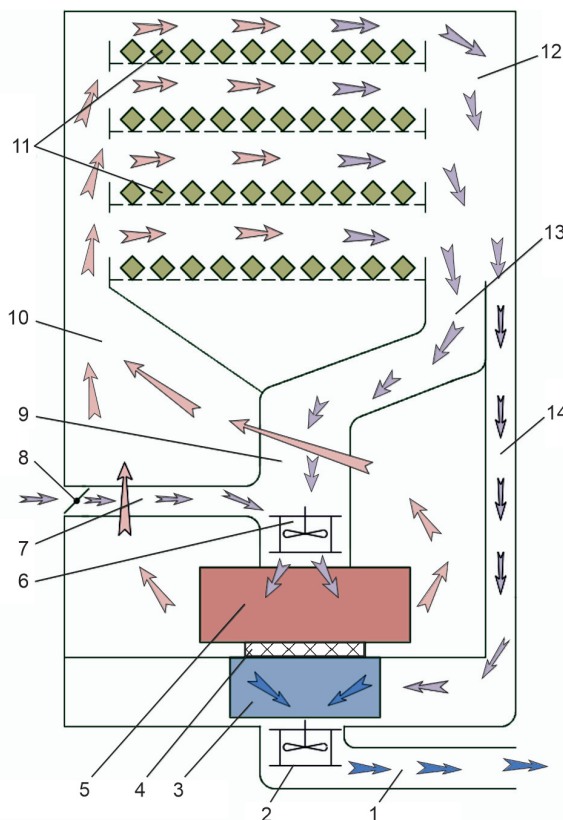
отсутствия внутренних механических напряжений. Для снижения перетока теплоты по крепежным элементам конструкции термоэлектрической сборки использованы теплоизолирующие прокладки.

Для отбора теплоты от отработанного воздуха, выходящего из сушильной камеры, используется радиатор холодного контура. Подачу воздуха обеспечивает вентилятор, работающий на разрежение. Часть теплоты от удаляемого отработанного воздуха

через радиатор холодного контура, термоэлемент Пельтье возвращается на воздушный радиатор горячего контура, в котором подогревается сушильный агент (воздух). Между радиатором и вентилятором холодного контура размещена теплоизолирующая вставка, которая отделяет сушильную камеру от вытяжного канала установки и обеспечивает равномерное распределение воздушного потока по каналам радиатора холодного контура.

**Рис. 2. Схема сушилки для овощей и фруктов с применением термоэлектрического теплового насоса:**

- 1 – выбросной канал;
- 2 – вытяжной вентилятор;
- 3 – радиатор холодной стороны;
- 4 – элементы Пельтье;
- 5 – радиатор горячей стороны;
- 6 – циркуляционный вентилятор;
- 7 – приточный канал;
- 8 – заслонка регулируемая;
- 9 – камера смешивания;
- 10 – приточный воздуховод;
- 11 – сушильная камера;
- 12 – вытяжная камера;
- 13 – циркуляционный воздуховод;
- 14 – канал удаляемого воздуха



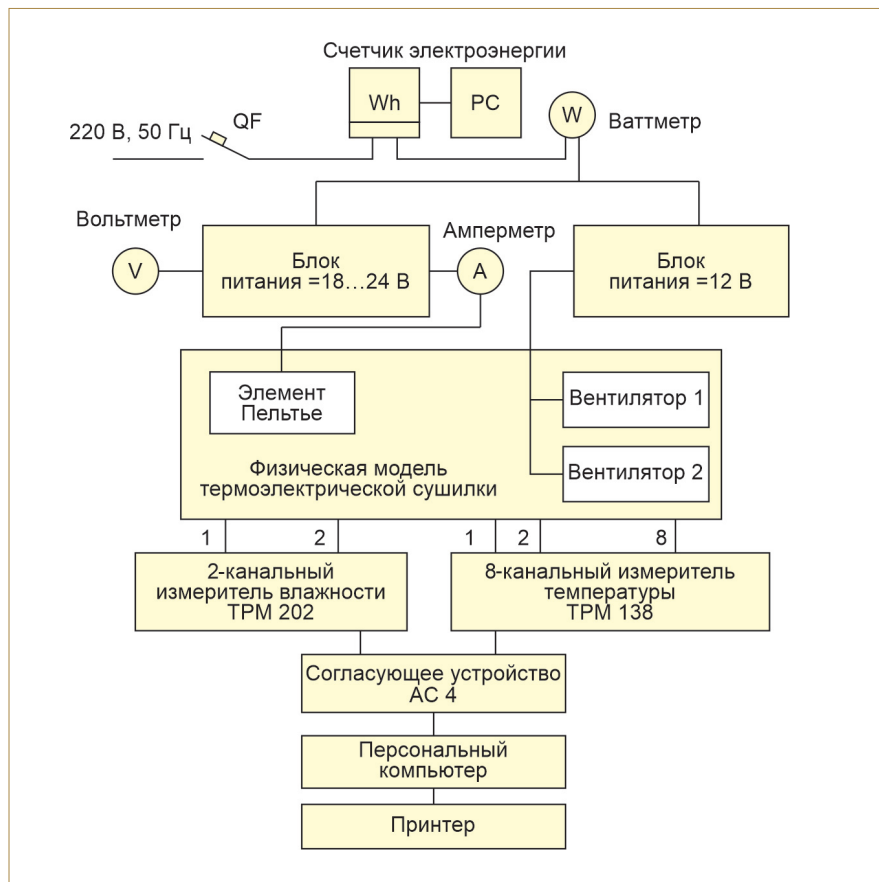
Разработанная и изготовленная физическая модель термоэлектрической сборки, работающая в режиме теплового насоса, является основным элементом термоэлектрической сушилки конвективного типа, на базе которой будут проводиться моделирование процесса сушки и лабораторные исследования. На рис. 2 представлена функционально-технологическая схема сушилки для овощей и фруктов с применением термоэлектрического теплового насоса. На основании разработанной функционально-технологической схемы изготовлена физическая модель термоэлектрической сушилки производительностью до 1 кг/ч, потребляемой мощностью до 360 Вт для исследования параметров и определения рациональных режимов ее работы.

Для снятия электрических, тепловых, конструкционных характеристик и параметров исследуемой физической модели термоэлектрической конвективной сушилки разработана структурная схема (рис. 3) и изготовлен лабораторный стенд.

### Результаты исследований и обсуждение

По результатам расчетов и физического моделирования процесса сушки с применением термоэлектрических элементов Пельтье и термоэлектрических модулей, в соответствии с функционально-технологической схемой [4] изготовлен действующий образец сушилки термоэлектрической (рис. 4), работающий в режиме теплового насоса. В процессе сушки яблок фиксировалась температура сушильного агента (воздуха) и радиаторов сборки в восьми характерных точках объема сушилки, а также относительная влажность воздуха и расход воздуха (сушильного агента) на входе и выходе его из сушилки.

На графиках (рис. 5) представлено изменение температуры воздуха в характерных точках сушилки и радиаторов сборки в зависимости от времени.

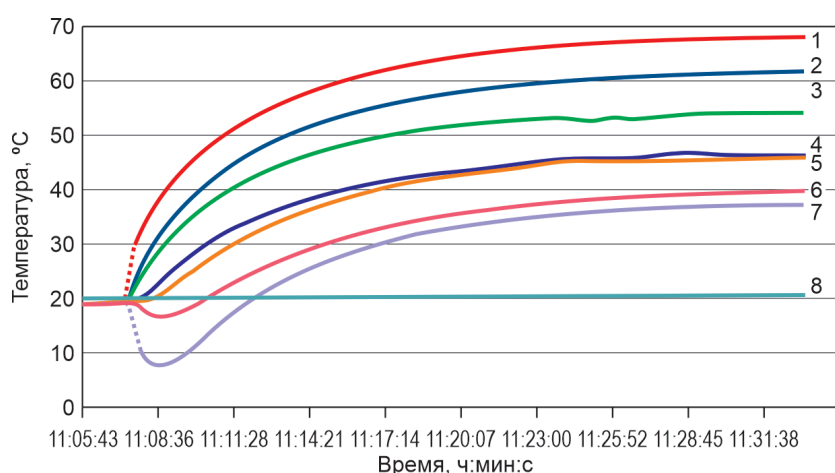


**Рис. 3. Структурная схема лабораторного стенда**



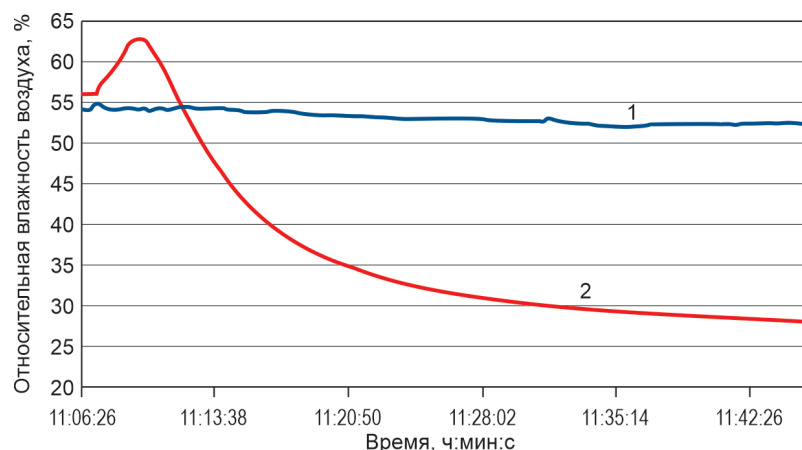
**Рис. 4. Общий вид сушилки термоэлектрической:**

- 1 – лотки с высушиваемым материалом, крышка;
- 2 – регулятор объема приточного воздуха;
- 3 – автоматический выключатель;
- 4 – датчик-регулятор температуры и влажности сушильного агента;
- 5 – выходной канал охлажденного сушильного агента;
- 6 – направляющие защитной крышки



**Рис. 5. Зависимость температуры теплоносителя и радиаторов сборки в характерных точках сушилки от времени:**

- 1 – температура радиатора горячего контура; 2 – температура воздуха на выходе радиатора горячего контура; 3 – температура воздуха на входе в радиатор горячего контура; 4 – температура воздуха на выходе из сушильной камеры; 5 – температура воздуха на входе в радиатор холодного контура; 6 – температура воздуха на выходе из радиатора холодного контура; 7 – температура радиатора холодного контура; 8 – температура приточного воздуха (окружающей среды)



**Рис. 6. Изменение относительной влажности воздуха на входе (график 1) и выходе (график 2) сушилки в зависимости от времени**

Подтверждением того, что термоэлектрическая сборка утилизирует сбросное тепло сушильного агента, прошедшего сквозь сушильные лотки с высушиваемым продуктом, является значение температуры в установившемся режиме в холодном контуре термоэлектрической сборки. Так, согласно графикам 5 и 6 (см. рис. 5) в установившемся режиме температура воздуха на входе в радиатор холодного контура равна 45,1 °С, а на выходе из него – 41,8 °С. Таким образом, сушильный агент охлаждается на  $t = 3,3$  °С.

На рис. 6 представлено изменение относительной влажности сушильного агента (воздуха) на входе (график 1) и выходе (график 2) из сушилки в зависимости от времени. Пик на графике 2 обусловлен удалением поверхностной влаги высушиваемого продукта.

Технические параметры действующего образца термоэлектрической сушилки показаны в табл. 3.

Для расчета энергетической эффективности применения термоэлектрического теплового насоса определим количество теплоты (тепло Пельтье)  $Q_x$ , поглощающееся на холодном спае термоэлемента. Эта теплота поглощается из отработанного сушильного агента сушилки. Количество теплоты определялось теоретическим расчетным и экспериментальным путем с применением статистических методов повторения и обработки результатов.

Теоретический расчет основан на определении термо-ЭДС холодного контура термоэлектрического модуля.



Таблица 3. Техническая характеристика термоэлектрической сушилки

| Показатели                                                                          | Значение                |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|
|                                                                                     | по техническому заданию | данные испытаний |
| Мощность установки, потребляемая из электрической сети (не более), Вт               | 250                     | 237              |
| Теплота, возвращаемая установкой (не менее), Вт                                     | 50                      | 51,5             |
| Напряжение питания, В:                                                              |                         |                  |
| установки                                                                           | 220                     | 219              |
| одного термоэлемента                                                                | 20                      | 19               |
| Число термоэлементов Пельтье                                                        | 1                       | 1                |
| Объем материала (продукта) для сушки, л                                             | 10                      | 9,6              |
| Максимальная температура сушильного агента (воздух), °С                             | 70                      | 67               |
| Среднее время сушки продукта (яблоки) при начальной влажности 85% и конечной 23%, ч | 8                       | 7,5              |
| Габаритные размеры установки, мм                                                    | 1,0х0,7х0,06            | 1,0х0,7х0,06     |
| Масса панели, кг                                                                    | 7                       | 6,7              |

Величина термо-ЭДС на холодных спаях термоэлектрического модуля определяется с помощью уравнения [13]

$$V_x = ET_x N_{II}, \quad (1)$$

где  $V_x$  – термо-ЭДС на холодной стороне модуля, В;

$E$  – коэффициент термо-ЭДС (Зеебека) для термоэлектрического спая, равный 96 мкВ/К;

$N_{II}$  – количество спаев в модуле (в модуле Пельтье размером 50×50 мм находится 228 спаев);  $T_x$  – температура холодного радиатора термоэлектрического модуля, равная 38 °С (определена опытным путем на физической модели сушилки).

Подставляя числовые значения, получим  $V_x = 6,8$  В. Из проведенных опытов по сушке продукта установлено, что средняя величина тока термоэлемента составляет  $(8,2 \pm 0,4)$  А. Тогда количество теплоты  $Q_x$ , поглощенной холодным контуром термоэлектрического насоса из сушильного агента, равно 55,7 Вт.

Для подтверждения полученного теоретическим путем значения поглощаемой теплоты были проведены замеры расхода воздуха (сушильного агента), проходящего через радиатор холодного контура, и температуры на входе в радиатор и выходе из него.

Получены следующие экспериментальные средние значения величин:

$$t_{вх} = (45,1 \pm 0,6) \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{вых} = (41,8 \pm 0,5) \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$L_{возд} = (12 \pm 1) \text{ л/с}.$$

Для определения теплового потока, поглощаемого холодным контуром, омываемого сушильным агентом с вышеназванными параметрами, воспользуемся уравнением

$$Q_x = cL_B \Delta t, \quad (2)$$

где  $c$  – теплоемкость воздуха, 1,3 кДж/м³·°С;

$L_B$  – расход воздуха, 12 л/с;

$\Delta t$  – разность температур воздуха на входе и выходе радиатора холодного контура, 3,3 °С.

Подставив числовые значения, получим  $Q_x = 51,5$  Вт.

Полученные расчетным и экспериментальным путем значения поглощенного тепла холодным контуром термоэлектрического модуля в целом имеют достаточно близкие значения и качественно подтверждают работу термоэлектрической сборки в режиме теплового насоса. Снижение энергозатрат составляет около 20 % за счет использования теплоты уходящего воздуха в окружающую среду.

## Выводы

1. Реализована функционально-технологическая схема сушильной установки, работающей в режиме термоэлектрического теплового насоса, обеспечивающая снижение энергозатрат путем использования части теплоты удаляемого сушильного агента при конвективной сушке. Новизна разработки защищена патентом на изобретение РФ. С использованием лабораторного стенда проведено физическое моделирование процесса сушки яблок для определения рациональных режимов работы установки с пониженным энергопотреблением.

2. По результатам расчетов и физического моделирования процесса сушки с применением термоэлектрических элементов Пельтье и в соответствии с функционально-технологической схемой изготовлен действующий образец термоэлектрической сушильной установки. Проведены его лабораторные испытания, подтвердившие энергоэффективность представленной конструкции.

3. Установлено, что применение термоэлектрического теплового насоса позволяет уменьшить мощность нагревателя сушильного агента и соответственно расход электроэнергии до 20-25 % на процесс сушки по сравнению с традиционными конвективными сушилками малой производительности (бытового назначения).

## Список

### использованных источников

1. Машины и аппараты пищевых производств. В 3-х кн. : учебник для вузов. Кн. Т. 1 / С. Т. Антипов и др.; Минсельхозпрод, УО «БГАУ»; под ред. В.А. Панфилова, В.Я. Груданова. Минск: БГАУ, 2008. 580 с.

2. Теплотехническое оборудование: учебник / В.М. Боровков, А.А. Калютник, В.В. Сергеев. 2-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 192 с.

3. Сушилки для овощей и фруктов: каталог [Электронный ресурс]. URL: [https://market.yatdex.ru/search?text=каталог%20сушилки%20для%20овощей%20и%20фруктов&lr=213&clid=830&utm\\_medium=cpc&cra=0&onstock=0&local-offers-first=05](https://market.yatdex.ru/search?text=каталог%20сушилки%20для%20овощей%20и%20фруктов&lr=213&clid=830&utm_medium=cpc&cra=0&onstock=0&local-offers-first=05) (дата обращения: 12.09.2022) .

4. Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Кузьмичев А.В., Ламонов Н.Г. Принцип

построения энергосберегающей сушильной установки с применением термоэлектричества // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 1 (42). С. 16-22. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-16-22.

5. **Tikhomirov Dmitry A., Trunov Stanislav S., Kuzmichev Aleksey V., Rastimeshin Sergey A., Shepvalova Olga V.** Energy-efficient thermoelectric unit for microclimate control on cattle breeding premises // Energy Reports. 2020. Vol. 6S6. Pp. 293-305.

6. **Venkatesan K., Venkataraman M.** Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach // International journal of thermophysics. 2020. Vol. 41. Issue: 4. Article Number: 38. DOI: 10.1007/s10765-020-2613-2.

7. **Кирсанов В.В., Кравченко В.Н., Фионов Р.Ф.** Применение термоэлектрических модулей в пастеризационно-охладительных установках для обработки жидких пищевых продуктов: моногр. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2011. 88 с.

8. **Тихомиров Д.А., Хименко А.В., Кузьмичев А.В.** Напольный обогрев поросят с

применением термоэлектрического теплового насоса // Техника и оборудование для села. 2021. № 9 (291). С. 28-32.

9. **Patel, Viral K.; Gluesenkamp, Kyle R.; Goodman, Dakota;** et al. Experimental evaluation and thermodynamic system modeling of thermoelectric heat pump clothes // Applied energy. 2018. Vol. 217. Pp. 221-232.

10. Zhao, Dongliang. A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications // Applied Thermal Engineering. 2014. 66 (1-2): 15-24. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.01.074.

11. **Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Хименко А.В., Кузьмичев А.В., Ламонов Н.Г.** Термоэлектрическая сушилка для овощей и фруктов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 3 (44). С. 3-8. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-3-3-8.

12. **Патентна изобретение № 2749682 С1.** Термоэлектрическая сушилка / Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Кузьмичев А.В., Ламонов Н. Г. Заявитель и патентообладатель: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Заявка № 2020142072 от 21.12.2020, опубл. 16.06.2021.

13. **Покорный Е.Г., Щербина А.Г.** Расчет полупроводниковых охлаждающих устройств. Л.: Наука. 1969. 206 с.

### Physical Modeling of the Drying Process Using Thermoelectric Heat Pump

**D.A. Tikhomirov, I.S. Yashin, A.V. Khimenko, A.V. Kuzmichev (VIM)**

**Summary.** A functional and technological scheme and a physical model of a convective thermoelectric dryer for vegetables, fruits, mushrooms, seeds, medicinal plants and other household materials have been developed. A laboratory bench has been prepared and studies of the thermal and electrical parameters of a thermoelectric dryer operating in a heat pump mode have been carried out. Experimental studies of the operating sample of the thermoelectric dryer have shown the high energy efficiency of the plant being developed.

**Keywords:** thermoelectric dryer, heat pump, energy saving, convective drying, Peltier elements.



АССОЦИАЦИЯ  
ТЕПЛИЦЫ РОССИИ

31 - 2  
мая июня  
2023

Двадцатая юбилейная выставка

# Защищенный грунт России

Москва,  
ВДНХ,  
павильон 57



(495) 651 08 39, (499) 178 01 59, info@rusteplica.ru

УДК 631.3

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-46-48

# Оценка современных смесителей-раздатчиков кормов

**С. А. Свиридова,**  
науч. сотр.,  
зав. лабораторией,  
S1161803@yandex.ru

**В. Е. Таркинский,**  
д-р техн. наук,  
зам. директора по науч. работе,  
tarkivskiy@yandex.ru

**Д. А. Петухов,**  
канд. техн. наук,  
зав. лабораторией,  
dmitriy@pet@mail.ru  
(Новокубанский филиал  
ФГБНУ «Росинформагротех»  
[КубНИИТИМ])

**Аннотация.** Представлены результаты зоотехнической и экономической оценок использования смесителей-раздатчиков кормов.

**Ключевые слова:** смеситель-раздатчик, кормосмесь, техническая, характеристика, показатель, качество, экономическая, оценка.

## Постановка проблемы

В соответствии с Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы к 2025 г. производство мяса в живой массе должно составить 12,1 млн т, молока – 33,8 млн т. Одной из важнейших составляющих для достижения поставленных целей является необходимость увеличения производства кормов всех видов [1]. Получение качественных, экологически безопасных и сбалансированных кормов в достаточном количестве возможно только при техническом перевооружении АПК современной высокопроизводительной техникой для кормопроизводства [2, 3].

Одним из основных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 г. [4] является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству. В настоящее время его осуществле-

ние невозможно без перевооружения технологий производства сельскохозяйственной продукции современной техникой.

Повышение эффективности производства продукции животноводства напрямую зависит от применяемого технологического оборудования для приготовления и раздачи кормов животным [5]. Машины для приготовления и раздачи кормов должны быть не только высокопроизводительными, но и обеспечивать приготовление полноценных, качественных кормосмесей для животных и соответствовать нормативным показателям при раздаче. Измельчители-смесители-раздатчики кормов конструктивно отличаются между собой расположением шнековых рабочих органов. Кормораздатчики с вертикально расположенными шнеками обычно применяются для беспривязного содержания крупного рогатого скота (КРС). Для привязного содержания животных используют кормораздатчики с горизонтальными шнеками, так как они лучше доизмельчают грубые корма.

Протоколы испытаний и информационные отчеты системы МИС Минсельхоза России не позволяют системно обобщить эффективность технических средств как в региональном аспекте, так и среди однотипных видов техники [6]. Сельхозтоваропроизводители страны функционируют в различных природно-климатических условиях, имеют разные организационные структуры, финансовые и материальные возможности, поэтому вопрос приобретения наиболее эффективных моделей смесителей-раздатчиков кормов с точки зрения конкретных факторов производства является для них наиболее актуальным.

**Цель исследований** – анализ эффективности применения современных смесителей-раздатчиков кормов.

## Материалы и методы исследования

На основании результатов государственных испытаний за 2014, 2019 и 2020 гг. [7-9] смесителей-раздатчиков кормов с бункером объемом 12 м<sup>3</sup>, получивших положительное заключение по результатам испытаний на МИС, были выбраны технические характеристики и функциональные показатели. На основе показателей эксплуатационно-технологической оценки проведены расчеты по определению показателей экономической оценки на 700 голов КРС, или 42 т корма, на одну смену продолжительностью работы 18 ч. Для расчетов цена на смесители-раздатчики взята без НДС.

## Результаты исследований и обсуждение

В результате проведенных исследований проанализированы пять образцов смесителей-раздатчиков кормов с бункером вместимостью 12 м<sup>3</sup> от трех производителей (табл. 1-3).

Смесители-раздатчики кормов предназначены для приготовления (доизмельчения и смешивания) и раздачи кормовых смесей по заданной программе из различных компонентов (зеленая масса, силос, сенаж, рассыпное и прессованное сено, солома, комбикорм, корнеплоды, брикетированные корма, твердые или жидкие кормовые добавки) с применением электронной системы взвешивания компонентов кормовой смеси.

По качеству выполнения технологического процесса практически все испытанные образцы измельчителей-смесителей-раздатчиков кормов с бункером объемом 12 м<sup>3</sup> соответствуют нормативным требованиям стандартов СТО АИСТ 1.14.1 [10] и СТО АИСТ 1.14.2 [11] по следующим показателям:

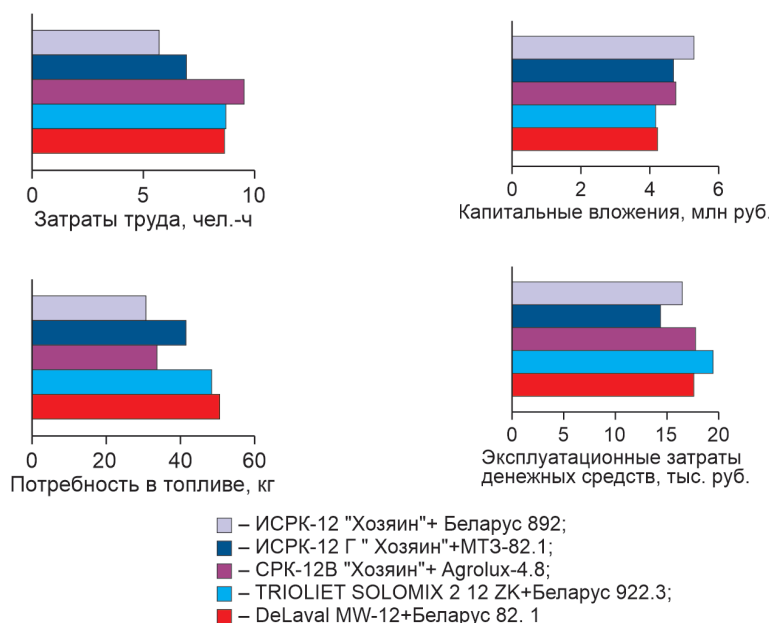


Таблица 1. Общие сведения о смесителях-раздатчиках кормов

| Марка                      | Изготовитель                              | МИС                          |
|----------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| СРК-12В «Хозяин»           | ООО «Интенсивные технологии»              | Северо-Западная              |
| ИСПК-12Г «Хозяин»          |                                           | Подольская                   |
| ИСПК-12 «Хозяин»           |                                           | Алтайская<br>Северо-Западная |
| TRIOLET SOLOMIX 2 тип 12ZK | ООО «Колнаг»                              | Северо-Западная              |
| DeLaval MW-12              | «DeLaval Operations»<br>SP.Z.O.O., Польша | Владимирская                 |

Таблица 2. Техническая характеристика смесителей-раздатчиков кормов

| Марка                      | Агрегатирование, класс | Рабочая скорость, км/ч | Грузоподъемность, т | Габаритные размеры, мм |        |        | Масса, кг |
|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|--------|--------|-----------|
|                            |                        |                        |                     | длина                  | ширина | высота |           |
| СРК-12В «Хозяин»           | 1,4-2                  | До 8                   | 5,2                 | 6600                   | 2200   | 2400   | 5500      |
| ИСПК-12Г «Хозяин»          | 1,4                    | 8-12                   | 3,5                 | 6780                   | 2350   | 2540   | 5110      |
| ИСПК-12 «Хозяин»           | 1,4                    |                        | 4,0                 | 6400                   | 2150   | 2540   | 4500      |
| TRIOLET SOLOMIX 2 тип 12ZK | 1,4-2                  | До 9                   | 3,5                 | 5600                   | 2200   | 2400   | 5000      |
| DeLaval MW-12              | 1,4                    | 1,8-5,4                | 4,95                | 5700                   | 2700   | 2830   | 5043      |



Показатели экономической оценки смесителей-раздатчиков кормов

Таблица 3. Зоотехнические показатели работы агрегатов со смесителями-раздатчиками кормов

| Марка                      | Неравномерность, %     |                                       | Потери корма при раздаче, % | Полнота выгрузки корма из бункера, % | Отклонение от заданной нормы раздачи корма, % |
|----------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                            | смешивания компонентов | раздачи корма по длине кормовой линии |                             |                                      |                                               |
| СРК-12В «Хозяин»           | 18,2                   | 17,2                                  | 0                           | 99,7                                 | 15,4                                          |
| ИСПК-12Г «Хозяин»          | 11                     | 11,4                                  | 0                           | 98,9                                 | 7,7                                           |
| ИСПК-12 «Хозяин»           | Н.д.                   | 14,8                                  | 1,0                         | 99,3                                 | 12,7                                          |
| TRIOLET SOLOMIX 2 тип 12ZK | 11,9                   | 14,8                                  | 0                           | 99,8                                 | 11,3                                          |
| DeLaval MW-12              | 1,5                    | Н.д.                                  | Н.д.                        | 99,6                                 | Н.д.                                          |

● неравномерность смешивания компонентов (коэффициент вариации) – не более 20 % (за исключением ИСПК-12 «Хозяин»);

● неравномерность раздачи корма по длине кормовой линии – не более 15 % (кроме СРК-12В «Хозяин», DeLaval MW-12);

● потери корма при раздаче – не более 1 % (кроме DeLaval MW-12);

● полнота выгрузки корма из бункера – не более 1 %.

По показателю отклонения от установочной нормы раздачи корма нормативному уровню (не более 15 %) соответствуют модели ИСПК-12 «Хозяин» и TRIOLET SOLOMIX 2 тип 12ZK.

Все модели смесителей-раздатчиков кормов были испытаны на приготовлении, транспортировке и раздаче кормосмесей. Показатели экономической оценки агрегатов с анализируемыми смесителями-раздатчиками приведены в табл. 4 и на рисунке.

Наименьшие затраты труда из пяти агрегатов с измельчителями-смесителями-раздатчиками кормов, испытанных на приготовлении, транспортировке и раздаче кормосмесей, наблюдаются при работе агрегата с DeLaval MW-12 (5,7 на 700 голов КРС), наибольшие – при применении агрегата с СРК-12В «Хозяин» (выше на 66,7 %).

Необходимая потребность в технике и обслуживающем персонале в расчете на 700 голов для всех испытанных агрегатов одинаковая и составляет один МТА и один рабочий.

Наименьшая потребность в топливе наблюдается при работе агрегата с кормосмесителем-раздатчиком DeLaval MW-12 (30,7 кг на 700 голов), наибольшая – при работе агрегата с ИСПК-12 «Хозяин» (выше на 64 %).

Таблица 4. Показатели экономической оценки агрегатов с кормораздатчиками

| Показатели                                                               | ИСКРК-12<br>«Хозяин» | ИСКРК-12Г<br>«Хозяин» | СРК-12В<br>«Хозяин» | TRIOLET SOLOMIX 2<br>тип 12ZK | DeLaval MW-12 |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|
| Агрегатирование                                                          | Беларус 892          | МТЗ-82.1              | Agrolux-4.8         | Беларус 922.3                 | Беларус 82.1  |
| Производительность в час сменного времени, т                             | 4,86                 | 4,82                  | 4,49                | 6,12                          | 7,40          |
| Расход топлива кг/т                                                      | 1,20                 | 1,15                  | 0,80                | 0,99                          | 0,73          |
| Цена, руб.:                                                              |                      |                       |                     |                               |               |
| трактора                                                                 | 2 435 750            | 1 887 500             | 3 000 000           | 2 972 667                     | 1 887 500     |
| кормораздатчика                                                          | 1 768 575            | 2 280 832             | 1 749 166           | 1 710 021                     | 3 375 000     |
| <i>Показатели экономической оценки (на 700 голов КРС или 42 т корма)</i> |                      |                       |                     |                               |               |
| Затраты труда, чел.-ч                                                    | 8,6                  | 8,7                   | 9,5                 | 6,9                           | 5,7           |
| Потребность:                                                             |                      |                       |                     |                               |               |
| в МТА, шт.                                                               | 1                    | 1                     | 1                   | 1                             | 1             |
| обслуживающем персонале, человек                                         | 1                    | 1                     | 1                   | 1                             | 1             |
| топливе, кг                                                              | 50,4                 | 48,3                  | 33,6                | 41,6                          | 30,7          |
| капитальных вложениях – всего, тыс. руб.                                 | 4 204                | 4 168                 | 4 749               | 4 683                         | 5 263         |
| в том числе в смесители-раздатчики                                       | 1 769                | 2 281                 | 1 749               | 1 710                         | 3 375         |
| Эксплуатационные затраты<br>денежных средств, руб.                       | 17 555               | 19 580                | 17 767              | 14 325                        | 16 502        |

#### Список

##### использованных источников

Минимальная потребность в капитальных вложениях отмечена у агрегата ИСКРК-12Г «Хозяин» + МТЗ-82.1 (4 168 тыс. руб.), максимальная – у DeLaval MW-12+Беларус-82.1 (выше на 26,3 %).

Минимальные эксплуатационные затраты денежных средств получены при работе агрегата со смесителем-кормораздатчиком TRIOLET SOLOMIX 2 тип 12ZK (14,3 тыс. руб. на 700 голов), максимальные – при применении агрегата с ИСКРК-12Г «Хозяин» (выше на 36,7 %).

#### Выводы

1. Из пяти испытанных агрегатов со смесителями-раздатчиками кормов с бункером объемом 12 м<sup>3</sup>, испытанных на приготовлении, транспортировке и раздаче кормосмеси, по критерию минимума капитальных вложений наиболее эффективным является машинно-тракторный агрегат с измельчителем-смесителем-раздатчиком кормов ИСКРК-12Г «Хозяин» производства ООО «Интенсивные технологии».

По критерию минимума эксплуатационных затрат наиболее эффективным является агрегат со смесителем кормораздатчиком TRIOLET SOLOMIX 2 тип 12ZK производства ООО «Колнаг».

1. О внесении изменений в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. Постановление Правительства РФ № 1489 от 03.09.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru> (дата обращения 14.10.2022).

2. Свиридова С.А., Чумак Е.В. Оценка комбикормовой установки // От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК: сб. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, УрГАУ, 2022. С. 76.

3. Свиридова С.А., Юрченко Т.В. Испытать раздатчики // Агробизнес. 2022. № 3 (75). С. 80-81.

4. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2016, № 49, ст. 6887).

5. Зайцев С.П., Зайцев П.В., Ларкин С.В. Повышение эффективности функционирования ленточного кормораздатчика, используемого в животноводстве // Вестник Чувашской ГСХА. 2021. № 4. С. 109-112.

6. Свиридова С.А., Петухов Д.А. Информационное обеспечение сельхозтоваропроизводителей по эффективности применения субсидируемой техники // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: сб. тр. по матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. С. 426-429.

7. ФГБУ «ГИЦ» – Результаты испытаний за 2014 год [Электронный ресурс]. URL: <http://sistemamis.ru/protocols/2019> (дата обращения: 20.07.2022).

8. ФГБУ «ГИЦ» – Результаты испытаний за 2019 год [Электронный ресурс]. URL: <http://sistemamis.ru/protocols/2019> (дата обращения: 25.07.2022).

9. ФГБУ «ГИЦ» – Результаты испытаний за 2020 год [Электронный ресурс]. URL: <http://sistemamis.ru/protocols/2020> (дата обращения: 29.07.2022).

10. СТО АИСТ 1.14.1–2020 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для животноводства. Показатели назначения и надежности. Общие требования. М.: Росинформагротех, 2020. 26 с.

11. СТО АИСТ 1.14.2–2020 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для кормопроизводства. Показатели назначения и надежности. Общие требования. М.: Росинформагротех, 2020. 26 с.

#### Evaluation of Modern Feed Mixers

S.A. Sviridova, V.E. Tarkivskiy,  
D.A. Petukhov  
(KubNIITiM)

**Summary.** The results of zootechnical and economic assessments of the use of feed mixer-distributors are presented.

**Keywords:** mixer-distributor, feed mixture, technical, characteristic, indicator, quality, economic, evaluation.