

Редакционная коллегия:

главный редактор – **Федоренко В.Ф.**,
д-р техн. наук, проф., академик РАН;
зам. главного редактора – **Мишулов 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 Лапина Т.Н.

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА
MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA

В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Пуляев Н.Н., Прокофьев М.М.
Перспективы развития тракторостроения в России..... 2

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

Зерноуборочный комбайн Т500: условия могут быть разными... .. 8

Технологии, машины и оборудование для АПК

Петрашев А.И. Карданный вал в приводе навесного оборудования с боковым
смещением вала приема мощности 10
Костенко М.Ю., Успенский И.А., Юхин И.А., Липатов Н.В., Тетерин В.С.,
Пехнов С.А. Разработка шнекового дозирующего устройства твердых
минеральных удобрений 16
Войтюк М.М., Виноградов П.Н., Оганесян С.А., Золотцева Е.П.
О проблемах и перспективах строительства и реконструкции хранилищ сена,
сенажа, брикетов и гранул 22
Манохина А.А., Старовойтов В.И., Жевора С.В., Старовойтова О.А. Влияние
молекулярной сушки на физико-химические параметры и антиоксидантную
активность клубней топинамбура 27

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

Виноградов А.В., Виноградова А.В., Голиков И.О., Лансберг А.А. Методика
выбора мест установки пунктов секционирования и ступенчатого регулирования
напряжения 32

Аграрная экономика

Водяников В.Т., Столяров С.В., Анохин И.А. Методические аспекты
технико-экономической оценки систем сельского электроснабжения 38
Худякова Е.В., Никаноров М.С., Королькова А.П., Степанцевич М.Н. Новые
направления развития сельскохозяйственной кооперации 43

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; 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 23.05.2023 Заказ 116

УДК 629.3.014

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7

Перспективы развития тракторостроения в России

О.Н. Дидманидзе,
акад. РАН, д-р техн. наук,
проф., зав. кафедрой,
didmanidze@rgau-msha.ru

Е.П. Парлюк,
д-р техн. наук,
доц., проф. кафедры,
kparlyuk@rgau-msha.ru

Н.Н. Пуляев,
канд. техн. наук, доц.,
pulyaev@rgau-msha.ru

М.М. Прокофьев,
студент,
imaickprof@mail.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»)

но, так и конструктивно. Рассмотрены используемые виды топлива с целью достижения экономической и технологической независимости страны на фоне сложной внешнеполитической обстановки.

Ключевые слова: агротехнологии, энергосредство, машиностроение, сельское хозяйство, экологичность, сцепные характеристики, система онлайн-мониторинга.

Постановка проблемы

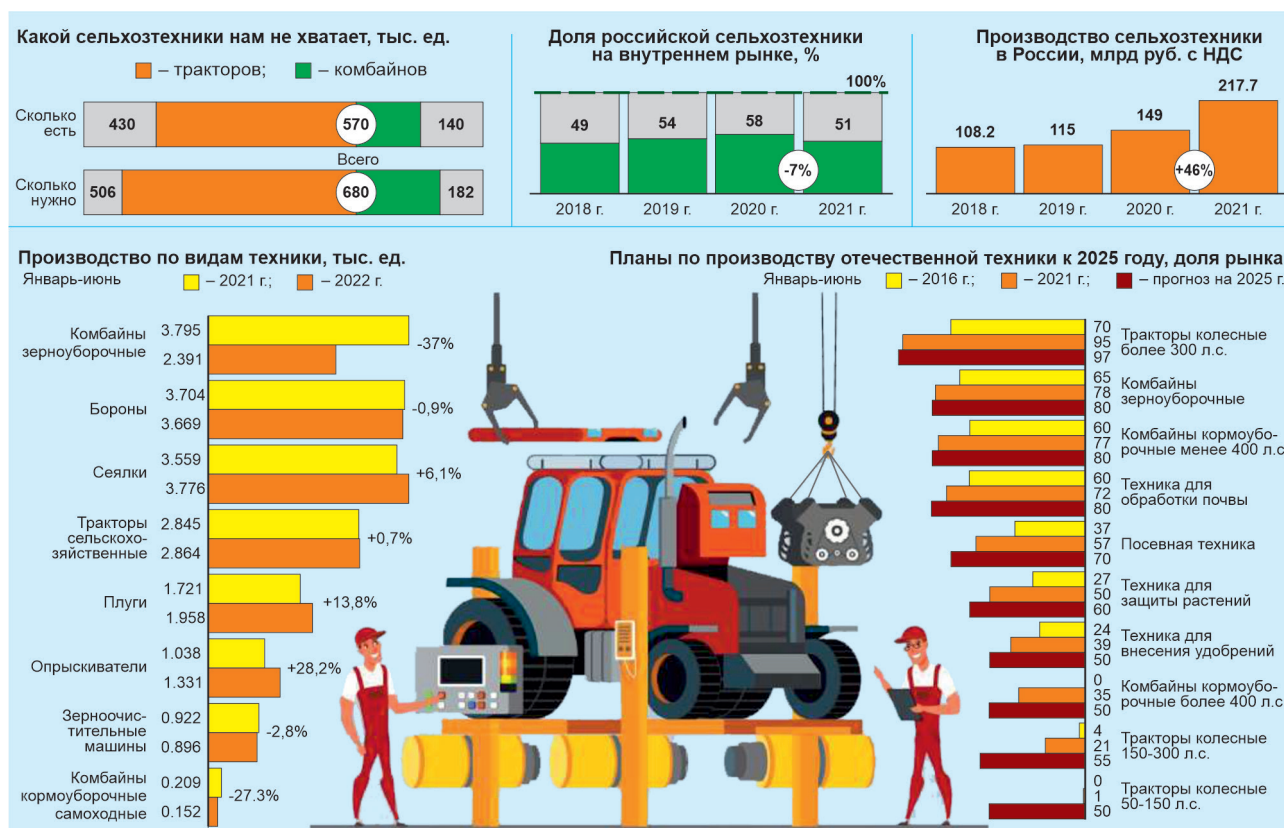
После значительного спада темпов развития различных отраслей экономики и промышленности Российской Федерации в последние 5-10 лет наблюдается заметное наращивание мощностей отечественного сельскохозяйственного машиностроения [1, 2].

В современных условиях развития конкуренции в создании новой техники и появления новых мировых производителей и поставщиков отечественным производителям сельскохозяйственной техники приходится наращивать темпы разработки и освоения машин с высокими функциональными свойствами, отвечающих современным требованиям агротехнологии. В том числе, это касается разработки мобильных энергосредств как одних из основных технических средств сельскохозяйственного производства [3].

Чтобы разобраться в перспективах развития тракторостроения в России, необходимо рассмотреть современный рынок тракторов, используемых в нашей стране, а также обратить внимание на запросы потребителей данных машин (рис. 1) и количество производимой техники (рис. 2) [4, 5].

По данным Минсельхоза России [3], имеется острая необходимость в наращивании производства тракторов как с колесными, так и с гусенич-

Аннотация. Проведен краткий анализ количества необходимых тракторов в сельском хозяйстве Российской Федерации и перспектив развития тракторов как агрегат-



Источник: Минсельхоз России, Росспецмаш, Росагролизинг.

Рис. 1. Анализ рынка используемой сельхозтехники в Российской Федерации [4]

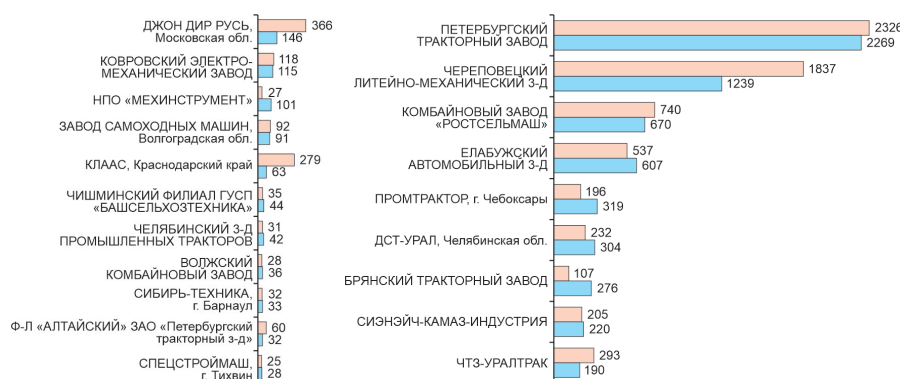


Рис. 2. Основные производители тракторов в России (отгрузка, шт.) [4]

ными движителями. Аналогичная ситуация складывается и по остальным видам сельскохозяйственной техники [6-8]. Анализ состояния машинно-тракторного парка показывает, что в настоящее время в основном парк формируется за счет импорта тракторной техники из СНГ [1].

Цель исследования – анализ текущего состояния отечественного тракторостроения и пути его развития с учетом нынешних мировых реалий.

Материалы и методы исследования

Анализ состояния проблемы обеспечения экономической, технологической и экологической безопасности России проведен на основе изучения литературных источников, натурных обследований сельскохозяйственных предприятий, оценки статистических данных и отчетов надзорных органов, научных публикаций и использования мировых источников данных в различных сферах машиностроения в сельском хозяйстве. Также использованы статистические данные Минсельхоза России о развитии сельского хозяйства, ОПЕК и ООО «Газпром газомоторное топливо» [4, 5, 9].

Результаты исследований и обсуждение

В настоящее время обрабатывается порядка 77 млн га пашни из 400 млн га имеющихся земель сельскохозяйственного назначения. Развитие агропромышленного комплекса страны предполагает включение в

севооборот и необрабатываемых земель. Оценка технологической потребности сельскохозяйственных тракторов на перспективу (для 90 млн га пашни) показывает, что остродефицитными являются почти все тяговые классы колёсных и гусеничных машин, кроме колесных машин тягового класса 1,4 (см. таблицу).

Особенно следует отметить отсутствие в парке машин с гусеничными и полугусеничными движителями. В настоящее время их доля составляет не более 10 %. Для увеличения показателей производительности техники на полях необходимо увеличить эту цифру до 40 %. Это решение вызвано тем, что у гусеничного движителя давление на грунт опорной поверхности из-за увеличения площади контакта меньше, чем у машин с колесным решением, что позволяет уберечь почву от негативного влияния давления, которое возникает при движении машины.

Стремление повысить производительность машинотракторного агрегата потребовало увеличения мощности двигателя трактора, которое ограничивается сцепными качествами машины с опорной поверхностью. Вопрос увеличения сцепных качеств движителя для повышения тягового усилия остается актуальным и в настоящее время.

Лучшими сцепными характеристиками обладает гусеничный движитель, однако сложность конструкции и обслуживания, высокая стоимость и материалоемкость по сравнению с колесным движителем ограничивают его широкое использование на сельскохозяйственных тракторах. Развитие технического решения резиноармированной гусеницы дало новый толчок в разработке тракторов с гусеничным движителем, имеющим важные для сельского хозяйства преимущества перед колесными тракторами (рис. 3).

Исключение жесткого звена из рабочей части гусеницы позволило гусеничной технике свободнее перемещаться по дорогам с твердым покрытием, так как по мере развития сети транспортных дорог процесс доставки на поля техники с металлическими гусеницами существенно усложняется. Применение резиноармированных гусениц упрощает переезды гусеничной техники с одного поля на другое, сокращает затраты времени на выполнение вспомогательных операций, увеличивая производительность полевых работ.

Расчетная потребность тракторов для 90 млн га пашни [4]

Тяговый класс	Потребность в тракторах, тыс. шт.		Наличие тракторов, тыс. шт.		Дефицит тракторов (от потребности), %	
	колесных	гусеничных	колесных	гусеничных	колесных	гусеничных
0,6	70	X	12,5	X	82,1	X
0,9	23,3	X	1,3	X	94,9	X
1,4	132,2	X	139,2	X	-	X
2,0	38,9	17,6	20,4	0,5	47,6	97,2
3,0	77,8	149,4	19,6	4	74,8	97,3
4,0	46,7	79,1	1,8	0,7	96,1	99,1
5,0	31,1	45,7	3,9	-	87,5	100
6,0	15,6	3,5	13,2	-	15,4	100
8,0	0,8	1,8	0,4	-	50	100
Всего	435,6	298,7	212,3	5,2	51,3	98,3



Рис. 3. Образцы современных тракторов с резиноармированными гусеницами:

а, б, в – двухгусеничная ходовая система; г – комбинированная система; д, е – четырехгусеничная система



Рис. 4. Усовершенствованная компоновка с шарнирно-сочлененной рамой



Рис. 5. Шасси с изменяемыми колеями и клиренсом

Скорость движения в транспортном режиме может быть увеличена до 40-50 км/ч, при этом шумы и вибрация машины существенно снижаются.

Анализ современных тенденций развития мобильной техники для АПК показывает семь перспективных направлений:

1. По общим компоновочным конструкторским решениям – создание МЭС с шарнирно-сочлененной рамой высокой степени автоматизации агрегатов и управления полнокомплектной машиной (рис. 4) с обеспечением экологической безопасности эксплуатации, интегральной компоновочной схемой конструкции с изменяемой колеей и клиренсом, применение ВОМ с электроприводом (рис. 5).

2. По энергоустановкам – применение электромеханических и электрических силовых приводов, в том числе на автономных аккумуляторных батареях, топливных элементах, га-

зотурбинных установках совместно с электрогенератором, а также применением газодизельных технологий (рис. 6).

3. По силовым передачам – создание автоматизированных коробок перемены передач без разрыва потока мощности, гибридной схемой передачи крутящего момента (механический, гидравлический, электрический) и автономным электроприводом с применением тяговых электродвигателей и мотор-колес. Также предлагается использование модульной компоновки трактора (рис. 7).

4. По ходовым несущим системам – применение шин сверхнизкого давления, широкопрофильных и сдвоенных адаптивных ходовых систем и систем поддрессоривания, несущих систем на полимерно-композитных материалах, а также сменных полугусеничных движителей.

5. По системам управления – применение технических средств автономного вождения, джойстикового управления, сенсорных средств, автоматизация управления ДВС, КПП, навесным устройством.

6. По кабине и техническим средствам обеспечения труда – применение реверсивного поста управления оператора, обеспечение обзорности с места водителя, применение джойстиков управления и монитора.

7. По обеспечению технического сервиса и мониторинга состояния агрегатов и узлов – применение CAN-шин, средств коммуникации ISOBUS.

Основными проблемами реализации названных тенденций являются:

- отсутствие производственных мощностей, отвечающих высоким технологическим требованиям современного уровня индустриализации;
- отсутствие элементной (компонентной) базы электрических машин, в том числе тяговых электродвигателей и мотор-колес, отвечающих требованиям безопасности, силовой преобразовательной техники (инверторы, преобразователи и др.), высокоёмких тяговых АКБ, элементов гидропривода (гидромотор, гидронасосы, распределители), бортовой электроники высокой степени герме-

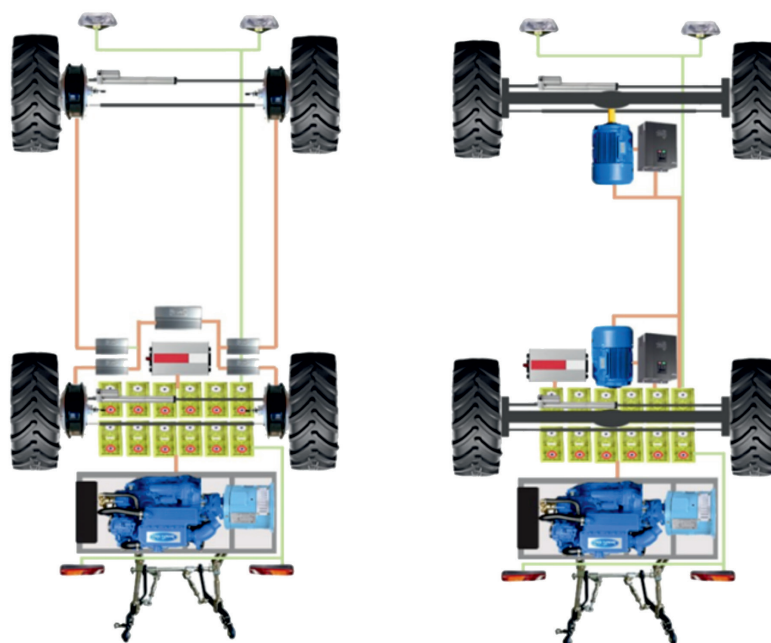


Рис. 6. Электрическая (слева) и электромеханическая (справа) трансмиссии



Рис. 7. Модульная компоновка

тизации, пыле-, влаге- и виброзащитности, шин сверхнизкого давления, резиноармированных гусениц, широкопрофильных шин, бортовых компьютеров и контроллерной техники по доступным ценам, маломощных и малооборотных газотурбинных установок и других комплектующих, которые стали недоступны после введения санкций, что требует скорейшего освоения отечественными предприятиями.

Конец XIX - начало XX века было временем освоения электроэнергии

для решения энергетических задач в промышленных процессах, в том числе для получения механической энергии. В XXI в. производители техники вновь вернулись к электротяге в сельскохозяйственных тракторах. Основные причины такого решения:

- активное развитие электрического автомобильного транспорта и доказанные преимущества его использования;
- появление на рынке накопителей электроэнергии с высокими удель-

ными показателями по доступным ценам;

- широкое внедрение электронных систем в управление и оптимизацию процессов, диагностику и защиту систем;

- появление электродвигателей с высокими удельными энергетическими характеристиками и КПД, способными работать в широком диапазоне частот вращения.

Образцы электротракторов различных силовых схем, представляемые производителями на выставках, создавались на базе техники, которая использовала ДВС в качестве источника механической энергии. Современные требования, предъявляемые к производителям, диктуют необходимость постоянного совершенствования методов и средств проектирования новых образцов техники. Разработка таких подходов поможет определить новые решения при создании современной техники, повысить степень унификации и взаимозаменяемости отдельных частей конструкции, проектировать комплексы универсальных машин.

В ближайшее время производители пойдут по пути создания тракторов с ДВС, имеющих мощность, превышающую не менее чем в 2 раза требуемую для тяговых задач в базовой комплектации. Тракторы будут оснащаться бесступенчатой трансмиссией, позволяющей оптимизировать режим работы двигателя и рабочего агрегата. Эти задачи уже решаются внедрением электронных систем управления, которые согласуются с рабочими орудиями и навигационным оборудованием, способны использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

Востребованными останутся как тракторы с колесным, так и с гусеничным движителем. Изменение гусеничного движителя для сельскохозяйственных тракторов пойдет в направлении создания резиноармированной гусеницы или ее аналога с целью снижения стоимости и повышения ресурса.

На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с ги-

бридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, а также способность обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для выполнения рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода и создания тягового усилия. Отечественное машиностроение будет стремиться к разработке собственных инновационных технологий производства, что позволит снизить затраты производителей, уменьшить конечную стоимость продукта и увеличить долю отечественных производителей на рынке сельскохозяйственной техники.

Уже в настоящее время имеется необходимость использования альтернативных видов топлива, таких как сжиженный природный газ, который может составить значительную конкуренцию дизельному топливу [10]. Необходимо отметить экологическую составляющую перехода использования машин с дизельного топлива на сжиженный природный газ. По данным ООО «Газпром газомоторное топливо», использование сжиженного газа является наиболее предпочтительным на фоне остальных видов топлива, используемых в промышленных масштабах по всему миру [5]. По данным ОПЕК, в 2021 г. Россия занимала второе место в мире по уровню добычи природного газа и первое – по запасам газа на всей территории страны [9].

Минсельхоз России в 2023 г. планирует выделить 500 млн руб. на компенсацию части затрат сельскохозяйственных товаропроизводителей для перевода тракторов на природный газ [4]. По оценке министерства, стоимость часа работы на тракторе МТЗ-82 при использовании дизельного топлива составляет 316 руб., а при использовании газодизеля (дизтопливо и компримированный природный газ) – 237 руб. Еще ниже она становится, если применять сжиженный (СПГ) или компримированный природный газ (КПГ) – 172 и 151 руб/ч соответственно.

Таким образом, экономия на топливе при работе на СПГ и КПГ по

сравнению с дизтопливом составит 1723 и 1987 руб. за одну смену, а для газодизеля – 953 руб. Предоставление льготных инвестиционных кредитов на приобретение оборудования для перевода тракторов на газомоторное топливо – одно из направлений их целевого использования. По озвученным в декабре оценкам Россельхозбанка, рынок газомоторного топлива может стать одним из самых быстрорастущих, в том числе в рамках реализации ресурсосберегающих проектов в АПК: потребление природного газа в качестве моторного топлива за пять лет может достигнуть 300-400 млн м³ в год, а количество работающей на нем техники – 50-70 тыс. шт.

Объем потребления в Российской Федерации газомоторного топлива, в том числе в АПК, в ближайшей перспективе может увеличиться в 3,5 раза, сократив тем самым расходы сельхозтоваропроизводителей на топливо на 100 млрд руб. в год (по подсчетам Россельхозбанка).

Согласно материалам Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, в 2023 г. в АПК прогнозируется наличие 430,6 тыс. тракторов, 124,9 тыс. зерноуборочных комбайнов и 15,4 тыс. кормоуборочных (в 2022 г. эти показатели составляли 426,4 тыс., 123,5 тыс. и 15,6 тыс. соответственно). Объемы приобретения тракторов в 2023 г. оцениваются в 11,03 тыс. ед. (в 2021 и 2020 гг. – 14,73 тыс. и 11,34 тыс. соответственно), зерноуборочных комбайнов – в 4,7 тыс. (6,59 тыс. и 4,71 тыс.) и кормоуборочных – 0,5 тыс. (против 0,67 тыс. – в 2021 г. и 0,55 тыс. – в 2022 г.) [4].

Выводы

1. Анализ современного машинно-тракторного парка показывает острую нехватку как колесных, так и гусеничных тракторов практически всех тяговых классов. Подобная ситуация обстоит и с другой сельскохозяйственной техникой. Для определения стратегии развития отечественного тракторостроения необходимо дать обоснование: трак-

торы каких классов нужны для России и разработать исходные требования для тракторов тяговых классов от 0,6 до 8.

2. Необходимо разработать концепцию гибридных тягово-транспортных средств с учетом современных технологий, обосновав, для каких классов тяги это целесообразно. Имеющийся научно-технический потенциал отечественного машиностроения направлен на развитие и усовершенствование тракторов в сельском хозяйстве, которые могут использовать сжиженный природный газ как альтернативу дизельному топливу.

3. Кроме того, следует обеспечить перевод двигателей внутреннего сгорания на альтернативные источники энергии, включая электрическую. Развитие производства отечественных энергетических средств, работающих на альтернативных топливах в агропромышленном комплексе, позволит не только улучшить экологическую обстановку, но и соз-

дать дополнительные производственные мощности, что положительно скажется на трудоустройстве в регионах.

Список

использованных источников

1. Будущее тракторостроения в России / В.И. Трухачев, О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : сб. статей 26-й Московской междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 12-13 мая 2022 г.). М. : ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева», 2022. С. 15-21.

2. Горбачев И.В. Состояние и перспективы развития тракторостроения для АПК России / И.В. Горбачев, А.М. Нефедов // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 1. С. 3-6.

3. Чашин Н. Новые направления развития тракторостроения / Н. Чашин, Л. Де-нежко, Л. Новопашин // Анализ технологий, используемых в АПК : сб. статей

науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Екатеринбург, 20 октября 2022 г.). Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2022. С. 6-7.

4. Официальный сайт Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mcx.gov>.

Prospects for the Development of Tractor Construction in Russia

O.N. Didmanidze, E.P. Parlyuk, N.N. Pulyaev, M.M. Prokofiev

(Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

Summary: A brief analysis of the number of tractors needed in agriculture of the Russian Federation and the prospects for the development of tractors both aggregately and constructively is carried out. The types of fuel used in order to achieve economic and technological independence of the country in the conditions of a difficult foreign policy are considered.

Key words: agricultural technologies, energy, mechanical engineering, agriculture, environmental friendliness, grip characteristics, online monitoring system.



V СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА ПЛОДЫ И ОВОЩИ РОССИИ 2023

26-27 ОКТЯБРЯ 2023 г. / СОЧИ



ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Новые направления в отрасли садоводства и виноградарства
- Перспективы отрасли плодородства и виноградарства
- Технологии хранения и предпродажной подготовки фруктов и ягод
- Инфраструктура сбыта плодов и ягод. Как реализовать?
- Переговоры с сетями
- Государственная поддержка развития плодово-ягодной отрасли

АУДИТОРИЯ ФОРУМА

Предприятия фруктового садоводства, виноградарства и ягодоводства; Компании, производящие удобрения; Предприятия по переработке и хранению плодово-ягодной продукции; Крестьянские фермерские хозяйства, выращивающие плодово-ягодные культуры открытого грунта; Крупнейшие агропарки и оптово-распределительные центры; Представители крупнейших торговых сетей; Госорганы; Представители профильных ассоциаций и союзов.

По вопросам выступления +7 (988) 248-47-17
и спонсорства:

По вопросам +7 (909) 450-36-10
участия: +7 (960) 476-53-39

e-mail: events@agbz.ru
Регистрация на сайте: fruitforum.ru



Решение ИТ Конгресс В.А.

Зерноуборочный комбайн Т500: условия могут быть разными...



... А результат всегда отличный. Зерноуборочный комбайн Т500 разрабатывался специально для высокоурожайных полей под сложные с любой точки зрения условия уборки. Неровный рельеф и затрудненный съезд в поля, влажный или сухой фон, засоренный или высоко-соломистый хлебостой.

Буква «Т» в индексе комбайна означает «Tetra Processor», в этом кроется первая составляющая высокой производительности Т500 (30 т/ч). Уникальная система обмола, с которой не придется «скучать» по знаменитому на весь мир «ростсельмашевскому» молотильному барабану самого большого диаметра (800 мм) в отрасли. Когда-то его по-

явление было чем-то вроде на чуда. Спустя полтора десятка лет чудо повторилось, ведь никому больше не удалось «втиснуть» такой огромный барабан в двухбарабанное МСУ. Между тем барабан-сепаратор немногим меньше – 750 мм!

Нет, слово «втиснуть» не подходит, потому что еще одна особенность Tetra Processor – «разнесенные» на

большое расстояние барабаны. По сравнению с «компактной компоновкой» такое решение позволило воспроизвести еще один «родовой» признак уборочной техники Ростсельмаш – максимально пологую и протяженную траекторию передвижения вороха. Результат впечатляет: площадь обмола и первичной сепарации – 3 м².

Усиленная наклонная камера с цепочно-планчатым устройством подачи, электрогидравлическая система копирования рельефа обеспечивают комфортную работу с широкозахватными орудиями. Правильно обмолачивать и сухую, и влажную культуру помогает гибкое цельное подбарабанье. Во-первых, регулировать молотильные зазоры можно не только на входе и выходе, но и «в середине» МСУ. Во-вторых, при работе с сухим ворохом можно и вовсе «сбросить» часть подбарабанья, расположенную под сепаратором. Это позволяет перевести комбайн в режим однобарабанника и предотвратить дополнительное травмирование зерна. В МСУ выделяется из вороха до 95 % ценного продукта, остальное сепарирует 6-клавишный соломотряс площадью 5,3 м².

Следующее преимущество Т500 – система очистки OptiFlow площадью 5,8 м². Новая конструкция решет с улучшенной геометрией и увеличенной толщиной гребенок, оригинальная схема подвеса с большим перепадом по высоте, дополнительное решето, система компенсации продольного уклона 4D и мощный двухпоточный вентилятор, который равномерно продувает оба яруса – вот составляющие, обеспечивающие безупречную чистоту зерна, которое попадает во внушительного объема бункер – 9 300 л. И все эти тонны зерна можно выгрузить менее чем за 2 мин.

Оперативно настраивать рабочие органы и выполнять тонкие регулировки «по ходу дела» помогают умная бортовая информационно-голосовая система Adviser IV и многочисленные сервомоторы, приводящие команды в действие, т.е. все настройки выполняются из кабины и на основании объективной информации, собранной компьютером. Параметры работы агрегатов и узлов комбайна доступны не только механизатору: через систему РСМ Агротроник данные передаются на сервер, и все имеющие допуск лица могут с ними ознакомиться в режиме онлайн. Это может стать подспорьем в сложных условиях, когда механизатору требуется грамотный совет.

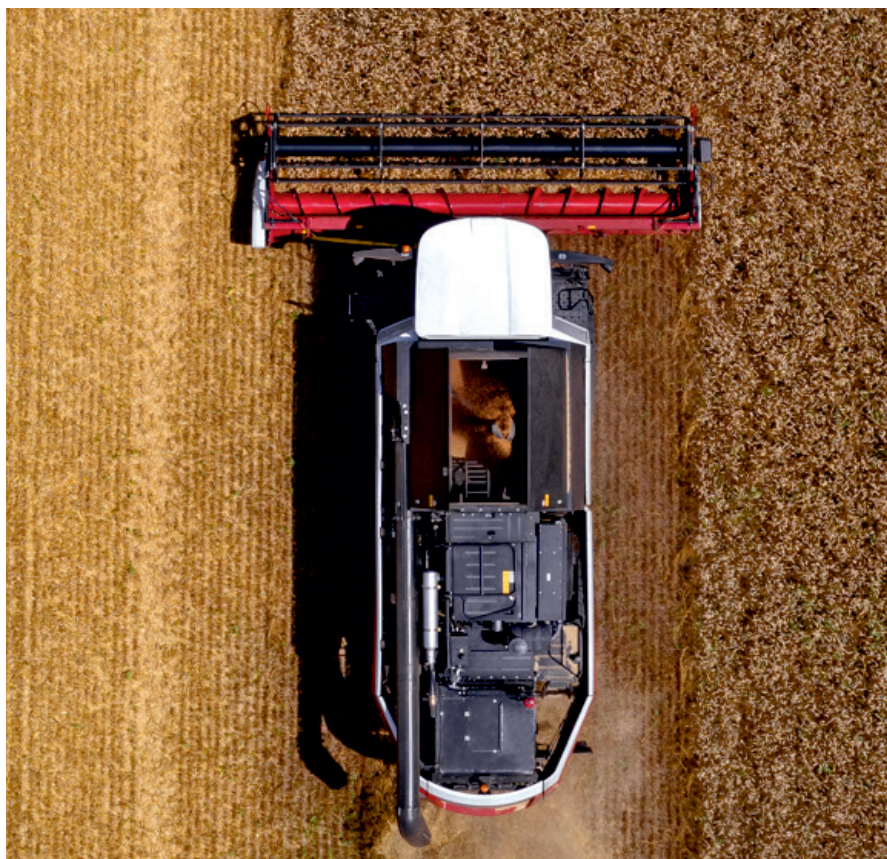
Наконец, мощный двигатель 360 л.с., клиренс в 500 мм, возможность выбрать версию изготовления с полным приводом, установить колеса большого типоразмера обеспечивают комбайну Т500 отличную проходимость и дают возможность эксплуатировать его в регионах со сложными почвенно-климатическими условиями.

Красивый, производительный и «умный» зерноуборочный комбайн Т500 может стать еще производителем

нее и умнее – производитель предлагает сразу несколько электронных систем, нацеленных на повышение рентабельности машины. Это и нашумевшая в профессиональных кругах система РСМ Агротроник Пилот 2.0 (или РСМ Агротроник Пилот 1.0), и РСМ Ночное видение, и специфические системы помощи механизатору для зерноуборочных комбайнов, и многое другое. Узнать о ЗУК Т500 и предлагаемых электронных инструментах можно на сайте Ростсельмаш.

Техническая характеристика Т500 (УК D16)

Номинальная мощность двигателя, л.с.	360
Диаметр барабана мол/сепаратора., мм	800
Ширина молотилки, мм	1500
Общая площадь подбарабанья (системы обмолота), м ²	3
Число клавиш соломотряса	6
Площадь соломотряса, м ²	5,3
Площадь очистки, м ²	5.85
Объем зернового бункера, л	9300
Скорость выгрузки, л/с	120
Вместимость топливного бака, л	850
Клиренс, мм	До 500



УДК 631.3.072.32: 631.3-1/-9

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-10-15

Карданный вал в приводе навесного оборудования с боковым смещением вала приема мощности

А.И. Петрашев,

д-р техн. наук, зав. лабораторией,
vitin-10.pet@mail.ru
(ФГБНУ ВНИИТиН)

Аннотация. Рассмотрена проблема выбора телескопического карданного вала при проектировании привода навесного оборудования с боковым смещением вала приема мощности. Получены зависимости для определения длины карданного вала и его рабочего угла отклонения от оси ВОМ трактора. Проведена привязка этих зависимостей к параметрам навески трактора и агрегируемого навесного оборудования. Предложен рациональный способ уменьшения длины карданного вала до нужного размера.

Ключевые слова: телескопический карданный вал, рабочий угол отклонения, вал приема мощности, навесное оборудование.

Постановка проблемы

В гаражах, мастерских, на пунктах техобслуживания для производства сжатого воздуха при консервации техники используются компрессорные установки с электроприводом [1]. В полевых условиях, на машинных и бригадных дворах, площадках хранения техники предпочтительнее применение навесного компрессорного оборудования с приводом от ВОМ трактора [2, 3] посредством телескопического карданного вала.

Карданный вал состоит из трубы с вилкой, штока с вилкой, двух концевых вилок и двух крестовин, шарнирно соединяющих концевые вилки с вилками на трубе и штоке. При выборе карданного вала для привода навесного оборудования следует оценить длину и рабочий угол его отклонения от оси ВОМ. Минимальная длина телескопического карданного вала измеряется в сжатом состоянии, а при определении его максимальной длины учитывается рабочий ход телескопического шарнира [4]. Рабочий ход – расстояние, на которое допустимо раздвинуть телескопический шарнир, сохранив при этом годность карданного вала к эксплуатации. Излишне длинным карданным валом невозможно соединить ВОМ с валом приема мощности (ВПМ) на оборудовании, навешенном на трактор. При коротком карданном вале может разъединиться телескопический шарнир в процессе работы и возникнуть аварийная ситуация. Минимально допустимое перекрытие телескопического шарнира при максимальной длине вала должно быть примерно 100 мм.

В ГОСТ 13758-89 [5] на карданные валы для сельскохозяйственных машин указаны две длины карданного вала: L_{min} – минимальное расстояние между центрами

шарниров полностью сдвинутого вала и L_{max} – максимальное расстояние между центрами шарниров раздвинутого карданного вала с допустимым перекрытием телескопического соединения. Однако этих двух параметров недостаточно для выбора подходящего карданного вала, так как не учтены размеры концевых вилок на шарнирах.

Согласно стандарту [5], карданный вал с универсальным шарниром, работающий с постоянной номинальной нагрузкой, должен иметь ресурс не менее 500 ч при рабочем угле 0,262 рад (15°) и передавать номинальный крутящий момент при рабочих углах не более 0,385 рад (22°).

Однако оценку длины карданного вала и рабочего угла его отклонения от оси ВОМ трактора можно осуществить только после изготовления компрессорного оборудования и его монтажа на задней навеске трактора. При этом возможно, что рабочий угол отклонения карданного вала превысит допустимые 22°. В таком случае разработчикам придется корректировать компоновочную схему и дорабатывать узлы привода навесного компрессорного оборудования.

Цель исследования – разработать метод определения длины и рабочего угла отклонения карданного вала на этапе проектирования навесного оборудования с приводом от ВОМ трактора.

Материалы и методы исследования

В работе использовались методы математического моделирования конструктивно-технологических параметров карданной передачи в приводе компрессора от ВОМ трактора. Условия анализа параметров привода: навесное оборудование и трактор размещены на горизонтальной поверхности, соединены трехточечной навеской; ось хвостовика ВПМ параллельна оси хвостовика ВОМ, расположена ниже оси ВОМ и смещена вбок; хвостовики ВОМ и ВПМ соединены телескопическим карданным валом.

На рис. 1 показана схема привода в трехмерной прямоугольной системе координат XYZ.

Используя схему, определили длину карданного вала по центрам шарниров:

$$L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2}. \quad (1)$$

Тангенсы вертикального β и бокового γ углов отклонения карданного вала от оси ВОМ:

$$\operatorname{tg} \beta = L_y / L_x, \quad \operatorname{tg} \gamma = L_z / L_x.$$

Рабочий угол α отклонения вала связан с углами β и γ уравнением

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = \operatorname{tg}^2 \beta + \operatorname{tg}^2 \gamma. \quad (2)$$

Для угла $\alpha = 15^\circ$ ($\operatorname{tg} \alpha = 0,268$) из уравнения (2) получено:

$$0,268^2 = \operatorname{tg}^2 \beta + \operatorname{tg}^2 \gamma. \quad (3)$$

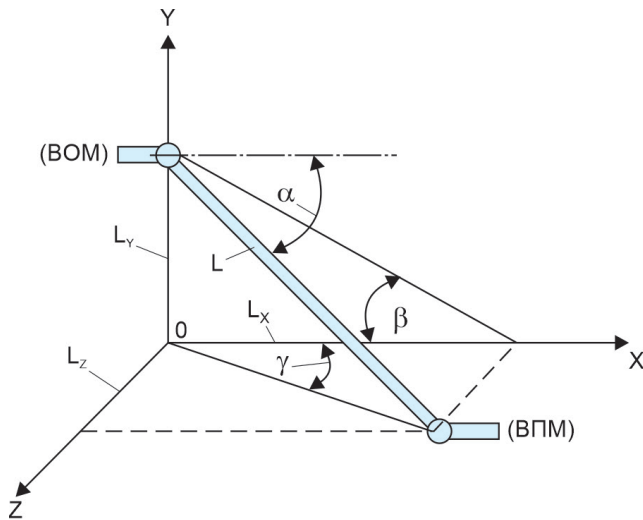


Рис. 1. Схема привода в трехмерной системе координат XYZ:

L – длина карданного вала по центрам шарниров;

L_x – длина проекции вала на ось абсцисс OX ;

L_y – длина проекции вала на ось ординат OY (вертикальное смещение ВПМ относительно ВОМ);

L_z – длина проекции вала на ось аппликат OZ (боковое смещение ВПМ);

α – рабочий угол отклонения карданного вала от оси ВОМ;

β – угол отклонения вала от оси ВОМ в вертикальной плоскости (вертикальный угол отклонения);

γ – угол отклонения вала от оси ВОМ в горизонтальной плоскости (горизонтальный угол отклонения)

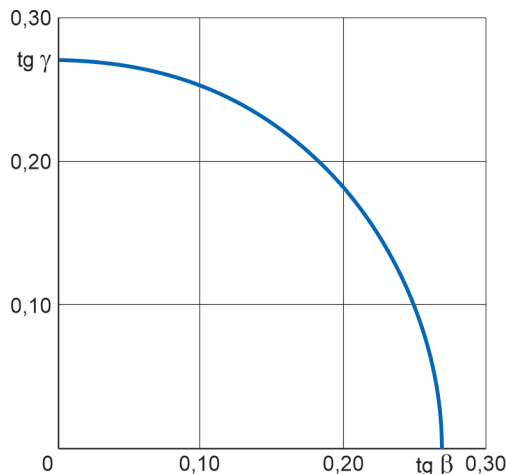


Рис. 2. Дуга взаимосвязи $\operatorname{tg} \beta$ и $\operatorname{tg} \gamma$ в рамках рабочего угла $\alpha = 15^\circ$

Формула (3) идентична уравнению окружности [6] в виде

$$r^2 = x^2 + y^2,$$

где r – радиус окружности, $x = \operatorname{tg} \beta$, $y = \operatorname{tg} \gamma$.

При рабочем угле $\alpha = 15^\circ$ формула (3) визуально изображается дугой окружности радиусом $r = 0,268$ (рис. 2).

Формула (3) представляет собой трансцендентную функцию взаимосвязи углов α , β и γ . Если углы измеряются в радианах, то угол $\alpha = 15^\circ = 0,262$ рад. При этом различие между значениями угла 15° в радианах (0,262 рад) и его тангенсом (0,268) составит 2,2 %, а для угла 22° (0,384 рад) отличие от его тангенса (0,404) составит 5 %.

Для упрощения расчетов предложена приближенная алгебраическая функция взаимосвязи между углами:

$$\alpha^2 = \beta^2 + \gamma^2. \quad (4)$$

Формула (4) уточнена для угла отклонения кардана $\angle \alpha = 15^\circ$

$$(15^\circ)^2 = (\beta^\circ)^2 + (\gamma^\circ)^2. \quad (5)$$

Результаты исследований и обсуждение

Результаты расчета углов по формулам (3) и (5) приведены в таблице.

Результаты расчета вертикального $\angle \beta$ и бокового $\angle \gamma$ углов при рабочем угле отклонения карданного вала $\angle \alpha = 15^\circ$

$\angle \beta$, град.	0°	$2,5^\circ$	5°	$7,5^\circ$	10°	$12,5^\circ$	15°
Расчет $\angle \gamma$ по формуле (3)	15°	$14,8^\circ$	$14,2^\circ$	$13,1^\circ$	$11,4^\circ$	$8,5^\circ$	0°
Расчет $\angle \gamma$ по формуле (5)	15°	$14,8^\circ$	$14,1^\circ$	13°	$11,2^\circ$	$8,3^\circ$	0°
Разность между (5) и (3)	0	0	$-0,1^\circ$	$-0,1^\circ$	$-0,2^\circ$	$-0,2^\circ$	0

Результаты расчетов подтверждают допустимость применения алгебраической функции (4) при определении рабочего угла α отклонения карданного вала в интервале $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ с погрешностью до 2,2 %, а в интервале $15^\circ \leq \alpha \leq 22^\circ$ – с погрешностью до 5 %. Для вычислений углов α , β и γ (в градусах) по значениям проекций предложены формулы

$$\alpha^\circ = 53,7 \sqrt{(L_y^2 + L_z^2) / L_x^2}, \quad \beta^\circ = 53,7 (L_y / L_x), \quad (6)$$

$$\gamma^\circ = 53,7 (L_z / L_x).$$

В формулах для определения параметров длины карданного вала и рабочего угла его отклонения приведены математические зависимости с использованием абстрактных проекций L_x , L_y и L_z , которые не связаны с конкретными параметрами карданного вала, ВОМ, ВПМ, навески трактора и агрегируемого с ним навесного оборудования. Привязка формул к конструктивным элементам трактора Беларус 80.1 (МТЗ-80), сопрягаемым с элементами навесного компрессорного оборудования, поясняется схемой (рис. 3).

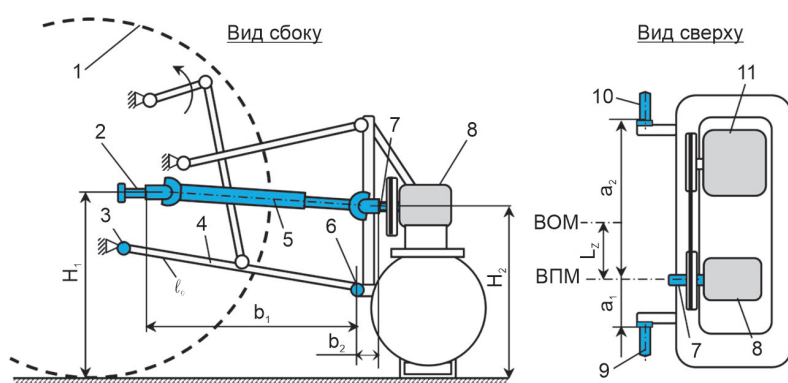


Рис. 3. Схема навески трактора с компрессорным оборудованием:

1 – заднее колесо трактора; 2 – ВОМ; 3 – ось нижней тяги навески; 4 – нижняя тяга; 5 – карданный вал; 6 – шарнир тяги (ось подвеса); 7 – ВПМ; 8 – опора ВПМ; 9 – левый присоединительный палец; 10 – правый присоединительный палец; 11 – компрессор

В случае размещения навесного оборудования на опорной поверхности (в исходном положении) вертикальное смещение L_y ВПМ относительно ВОМ:

$$L_y = H_2 - H_1, \quad (7)$$

где H_1 , H_2 – высота осей ВОМ и ВПМ относительно опорной поверхности.

Боковое смещение ВПМ относительно ВОМ:

$$L_z = 0,5 (a_2 - a_1), \quad (8)$$

где a_1 , a_2 – расстояние от оси ВПМ до заплечиков левого и правого присоединительных пальцев.

Расстояние L_x между центрами шарниров карданного вала:

$$L_x = b_1 + b_2 - l, \quad (9)$$

где b_1 – расстояние от торца ВОМ до шарнира нижней тяги;

b_2 – расстояние от торца ВПМ до оси подвеса (левого пальца) навесного оборудования;

l – длина посадочной вилки (от торца посадочной втулки до центра шарнира).

В исходном положении расстояние b_1 определяется по формуле

$$b_1 = b_0 - \frac{0,5(H_6 - H_3)^2}{l_0}, \quad (10)$$

где b_0 – расстояние от торца ВОМ до оси шарнира нижней тяги в горизонтальном положении;

H_3 – высота оси нижней тяги;

H_6 – высота оси подвеса (присоединительных пальцев);

l_0 – длина нижней тяги задней навески.

Введением выражений (7)-(9) в формулу (1) получена формула для расчета конкретной длины карданного вала по центрам шарниров:

$$L = \sqrt{(H_2 - H_1)^2 + (b_1 + b_2 - l)^2 + 0,25(a_2 - a_1)^2}. \quad (11)$$

Крепление телескопического карданного вала на трактор и навешенное на него оборудование осуществляют в следующем порядке. Сначала на хвостовик ВПМ оборудования насаживают и закрепляют посадочную вилку штока. Затем трубу карданного вала перемещают по штоку, укорачивая длину L вала на длину l посадочной вилки трубы. Подводят посадочную вилку к хвостовику

ВОМ, совмещая зубья посадочного отверстия в вилке со шлицами хвостовика ВОМ. Раздвигают телескопическое соединение карданного вала, насаживают и закрепляют на ВОМ посадочную вилку трубы.

Минимальная длина карданного вала по центрам шарниров, не менее:

$$L_{\min} \leq L - l. \quad (12)$$

Если минимальная длина имеющегося в наличии карданного вала больше величины, которую дает расчет по формуле (12), то следует продолжить поиск подходящего карданного вала меньшей длины или уменьшить его до нужного размера.

Максимальная длина по центрам шарниров раздвинутого карданного вала с учетом перекрытия телескопического соединения, не менее:

$$L_{\max} \geq L + \Delta L_r, \quad (13)$$

где ΔL_r – гарантированная величина перекрытия телескопического соединения, $\Delta L_r = 100$ мм.

Таким образом, выбор длины телескопического карданного вала определяется параметрами, приведенными в формулах (11)-(13).

Из формул (6) и (4) получены выражения для расчета углов отклонения карданного вала от оси ВОМ в исходном (нижнем) положении навесного оборудования (в градусах):

- вертикальный угол отклонения:

$$\beta^0 = \frac{53,7(H_2 - H_1)}{b_1 + b_2 - l}; \quad (14)$$

- горизонтальный угол отклонения:

$$\gamma^0 = \frac{26,9(a_2 - a_1)}{b_1 + b_2 - l}; \quad (15)$$

- рабочий угол отклонения:

$$\alpha^0 = \sqrt{(\beta^0)^2 + (\gamma^0)^2}. \quad (16)$$

Для трактора МТЗ-80 высота расположения оси хвостовика ВОМ относительно опорной поверхности равна $H_1 = 670$ мм. При горизонтальном положении нижней тяги расстояние от торца хвостовика ВОМ до оси шарнира $b_0 = 661$ мм [7, 8]. Длина нижней тяги задней навески $l_0 = 885$ мм. Высота расположения оси нижней тяги $H_3 = 495$ мм.

При проектировании навесного компрессорного оборудования НКУ-50.3 получены численные значения параметров: высота оси ВПМ $H_2 = 530$ мм; высота присоединительных пальцев (оси подвеса) $H_6 = 425$ мм; расстояние от торца ВПМ до оси подвеса $b_2 = 80$ мм; расстояние от оси ВПМ до заплечика левого пальца $a_1 = 305$ мм, до заплечика правого пальца – $a_2 = 525$ мм.

Для привода компрессора применим телескопический карданный вал типа К-016 с номинальным крутящим моментом 160 Н·м без защитного кожуха. Длина посадочной вилки его трубы до центра шарниров $l = 110$ мм.

Указанные значения параметров трактора, навесного компрессорного оборудования и карданного вала использованы в расчетах длины и углов отклонения карданного вала при работе в приводе компрессора.

По формуле (10) определено расстояние $b_1 = 658$ мм; по (11) – длина карданного вала по центрам шарниров $L = 656$ мм; по (12) – минимальная длина вала $L_{\min} \leq 546$ мм; по (13) – максимальная длина вала $L_{\max} \geq 756$ мм. По формулам (14), (15) и (16) выполнены расчеты углов отклонения карданного вала при размещении оборудования на опорной поверхности, получено: $\angle \beta = -12^\circ$, $\angle \gamma = 9,4^\circ$ и $\angle \alpha = 15,2^\circ$. Введением в формулы (10) и (14) переменной высоты h подъема навесного оборудования получены графические зависимости, отражающие изменение углов отклонения карданного вала в процессе подъема компрессорного оборудования (рис. 4).

Как видно из графика, при подъеме навесного компрессорного оборудования на высоту до 300 мм рабочий угол отклонения карданного вала от оси ВОМ находится в допустимом диапазоне его работоспособности $\alpha \leq 17,5^\circ$.

Из каталога продукции завода АО «Аксайкардан-деталь» [9] выбран телескопический карданный вал 01.016.6000-07.04 с шарниром КШ-160. Длина вала по центрам шарниров может изменяться от 510 до 760 мм и соответствует искомой длине вала для привода навесного компрессора. Вал обеспечивает передачу крутящего момента на 160 Н·м с частотой вращения до 1000 мин⁻¹ и рабочими углами отклонения до 22°. При транспортировке машин в поднятом положении без вращения карданного вала его рабочий угол отклонения может быть увеличен до 55°.

На практике в случае отсутствия карданного вала необходимой длины требуется выполнить работы по уменьшению длины вала, имеющегося в наличии. Например, в снабжающих организациях без затруднений можно приобрести карданный вал модели Н081.02.200-16 производства АО «Аксайкардан-деталь», применяемый в приводе выгрузного шнека на комбайне ДОН-1500. Однако минимальная длина этого вала $L_{M.\min} = 630$ мм превышает требуемую $L_{\min} = 546$ мм. Максимальная длина вала – $L_{M.\max} = 985$ мм.

Модернизация карданного вала Н081.02.200-16 включает в себя замену посадочной вилки И160, имеющейся на трубе, на вилку А160 с восьмишлицевым

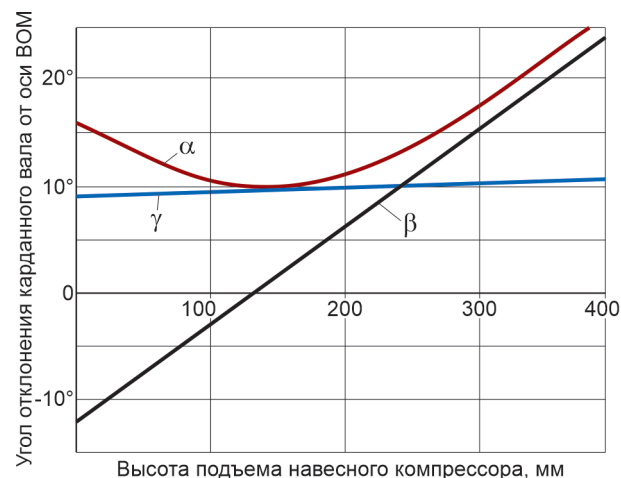


Рис. 4. Изменение вертикального β , бокового γ и рабочего α углов отклонения карданного вала от оси ВОМ при подъеме навесного компрессора

отверстием 36/32 мм под хвостовик ВОМ, а также корректировку его длины.

Минимальная длина отрезка ΔL_K , на который карданный вал нужно укоротить:

$$\Delta L_K \geq L_{M.\min} - L_{\min}.$$

$$\Delta L_K \geq (630 - 546 = 84 \text{ мм}).$$

При уменьшении длины трубы и штока вала на размер $\Delta L_K = 110$ мм, который больше 84 мм, его минимальная длина составит $L_{K.\min} = 520$ мм, а максимальная – $L_{K.\max} = 875$ мм.

Результаты расчетов использованы при корректировке длины карданного вала Н081.02.200-16 применительно к приводу навесного компрессорного оборудования НКУ-50.3. Последовательность выполнения операций по уменьшению длины карданного вала:

1. Телескопический карданный вал размыкают на трубу и шток.
2. На трубе от сварочного шва, соединяющего трубу с хвостовиком вилки шарнира, отмеряют отрезок $\Delta L_K = 110$ мм и наносят риску. Посредством УШМ (болгарка) счищают сварной шов.
3. Трубу снимают с хвостовика вилки шарнира, устанавливают на токарный станок и обрезают по нанесенной риске. Шток обрезают посредством УШМ тоже на $\Delta L_K = 110$ мм.
4. В трубу с одной стороны вставляют шток, а с другой – хвостовик вилки шарнира. Вилку шарнира поворачивают в трубе и выставляют в одну плоскость с вилкой на штоке.
5. Трубу приваривают к хвостовику вилки шарнира.

На рис. 5 показан карданный вал после корректировки в положениях минимальной и максимальной длины.

Изготовленный образец компрессорного оборудования НКУ-50.3 был навешен на трактор МТЗ-80, его ВПМ соединен с ВОМ трактора посредством модернизированного карданного вала (рис. 6).



Рис. 5. Карданный вал Н081.02.200-16 после уменьшения длины



Рис. 6. Карданный вал в приводе навесного компрессорного оборудования НКУ-50.3

Фактическая длина карданного вала по центрам шарниров ($L_{\phi} = 664$ мм) оказалась близка к расчётной ($L = 656$ мм), что обусловлено неисправностью вертикальной регулировки в задней навеске агрегирующего трактора.

Выводы

1. Выявлена потребность в разработке метода определения длины и рабочего угла отклонения карданного вала при проектировании привода от ВОМ трактора для навесного оборудования с боковым смещением ВПМ.

2. Получена трансцендентная функция, связывающая тангенсы вертикального, бокового и рабочего углов отклонения карданного вала от оси ВОМ, доказана ее идентичность с уравнением окружности. Обоснована приближенная алгебраическая зависимость, действительная для расчета рабочего угла отклонения карданного вала в интервале $0-15^\circ$ с погрешностью до 2,2 %, а в интервале $15-22^\circ$ – с погрешностью до 5 %.

3. Представлены расчетные зависимости, позволяющие определять длину и рабочий угол отклонения телескопического карданного вала в соответствии с параметрами задней навески трактора и разрабатываемого навесного компрессорного оборудования. Предложен рациональный способ корректировки длины фактического карданного вала в соответствии с рассчитанными параметрами. Сходимость расчетных и фактических результатов подтверждена практической ценностью предложенного метода определения параметров карданного вала на стадии проектирования навесного оборудования.

Список использованных источников

1. **Петрашев А.И., Клепиков В.В.** Обоснование выбора технических средств для консервации аграрной техники при хранении // Наука в центральной России. 2014. № 5 (11). С. 28-37.

2. **Петрашев А.И., Клепиков В.В., Попов А.В.** Навесной компрессор для консервации техники на площадках хранения // Сельский механизатор. 2021. № 4. С. 30-31.

3. Навесной агрегат для консервации аграрной техники при пониженных температурах / **А.М. Губашева, А.И. Петрашев, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля** // Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 43-54.

4. Карданные валы АО «Белкард» [Электронный ресурс]. URL: http://www.kardbel.ru/article/v_kakom_sostoyanii_zameryayut_dlinu_kardana/?hlfbimglfcjmo (дата обращения: 27.12.2022).

5. ГОСТ 13758-89. Валы карданные сельскохозяйственных машин. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1999. 20 с.

6. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М: Наука, 1964. 608 с.

7. **Ксенович И.П., Амельченко П.А., Степанюк П.Н.** Тракторы МТЗ-80 и их модификации. М.: Агропромиздат, 1991. 400 с.

8. Беларусь 80.1/82.1/820 Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <https://mtz.ru/novosti/13-rukovodstva/48-belarus-80-1-82-1-820-rukovodstvo-po-ekspluatatsii> (дата обращения: 27.12.2022).

9. АО «Аксайкардандеталь». Карданные валы [Электронный ресурс]. URL: <http://new.kardandetal.ru/> (дата обращения: 27.12.2022).

Propeller Shaft for the Attachment Drive With Lateral Displacement of Power Intake Shaft

A.I. Petrashev

(FSBI VNIITin)

Summary: The problem of choosing a telescopic propeller shaft in the design of an attachment drive with a lateral displacement of the power receiving shaft is considered. Dependences are obtained for determining the length of the propeller shaft and its working angle of deviation from the PTO axis of the tractor. These dependencies are tied to the parameters of the tractor hitch and aggregated attachments. A rational way to reduce the length of the propeller shaft to the desired size is proposed.

Key words: telescopic propeller shaft, working angle of deflection, power receiving shaft, attachments.

Реферат

Цель исследований – разработать метод определения длины и рабочего угла отклонения карданного вала на этапе проектирования навесного оборудования с приводом от ВОМ трактора. Выявлена потребность в разработке метода определения длины и рабочего угла отклонения карданного вала при проектировании привода от ВОМ трактора для навесного оборудования с боковым смещением вала передачи мощности (ВПМ). Получена трансцендентная функция, связывающая тангенсы вертикального, бокового и рабочего углов отклонения карданного вала от оси ВОМ, доказана ее идентичность с уравнением окружности. Обоснована приближенная алгебраическая зависимость, действительная для расчета рабочего угла отклонения карданного вала в интервале от 0 до 15° с погрешностью до 2,2 %, а в интервале от 15 до 22° – с погрешностью до 5 %. Представлены расчет-

ные зависимости, позволяющие определять длину и рабочий угол отклонения телескопического карданного вала в соответствии с параметрами задней навески трактора и разрабатываемого навесного компрессорного оборудования. Предложен рациональный способ корректировки длины фактического карданного вала в соответствии с рассчитанными параметрами. Изготовленный образец оборудования был навешен на трактор МТЗ-80, его ВПМ соединен с ВОМ трактора посредством модернизированного карданного вала. Фактическая длина карданного вала по центрам шарниров ($L_{\phi} = 664$ мм) оказалась близка к расчётной длине ($L = 656$ мм). Незначительное отличие фактической длины от расчётной было обусловлено неисправностью вертикальной регулировки в задней навеске трактора. Сходимостью расчётных и фактических результатов подтверждена практическая ценность предложенного метода определения параметров карданного вала на стадии проектирования навесного оборудования.

Abstract

The purpose of the research - to develop a method for determining the length and working angle of deflection of the propeller shaft at the design stage of attachments driven by the PTO of the tractor. The need to develop a method for determining the length and working angle of deflection of the propeller shaft in the design

of the drive from the PTO of the tractor for attachments with lateral displacement of the power transmission shaft (VPM) is revealed. A transcendental function connecting the tangents of the vertical, lateral and working angles of deflection of the propeller shaft from the PTO axis is obtained, its identity with the equation of the circle is proved. An approximate algebraic dependence is substantiated, valid for calculating the working angle of deflection of the propeller shaft in the range from 0 to 15° with an error of up to 2.2%, and in the interval from 15 to 22° with an error of up to 5%. Calculated dependences are presented, which make it possible to determine the length and working angle of deflection of the telescopic propeller shaft in accordance with the parameters of the rear linkage of the tractor and the developed mounted compressor equipment. A rational method for adjusting the length of the actual propeller shaft in accordance with the calculated parameters is proposed. The manufactured sample of equipment was hung on the MTZ-80 tractor, its power intake shaft is connected to the PTO of the tractor by means of a modernized propeller shaft. The actual length of the propeller shaft in the centers of the hinges ($L_{\phi} = 664$ mm) was close to the calculated length ($L = 656$ mm). A slight difference in the actual length from the calculated one was due to a malfunction of the vertical adjustment in the rear linkage of the tractor. The convergence of the calculated and actual results confirms the practical value of the proposed method for determining the parameters of the propeller shaft at the design stage of attachments.

14 июля 2023

Рязанский район, с. Подвязье,
ФГБНУ «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ»





2023

ДЕНЬ ПОЛЯ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ



Организатор:
Выставочная фирма Центр
Тел: (473) 233-09-60
E-mail: doc@vfcenter.ru

6+
реклама

pole62.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР
ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР
ПАРТНЕРЫ



















УДК 631.816.3

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-16-20

Разработка шнекового дозирующего устройства твердых минеральных удобрений

М.Ю. Костенко,д-р техн. наук, доц.,
km340010@rambler.ru**И.А. Успенский,**д-р техн. наук, проф.,
ivan.uspensckij@yandex.ru**И.А. Юхин,**д-р техн. наук, проф.,
yuival@rambler.ru**Н.В. Липатов,**аспирант,
lipatov.nikolai62@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева»);**В.С. Тетерин,**канд. техн. наук.,
ст. науч. сотр.,
Labio-giant@mail.ru**С.А. Пехнов,**ст. науч. сотр.,
pehnov@mail.ru
(ФГБНУ ВНАЦ ВИМ)

Аннотация. Рассмотрены конструкции дозирующих систем, используемых в технологиях точного земледелия, определены их достоинства и недостатки. На основе проведенного анализа предложена конструкция шнекового дозирующего устройства для центробежных распределителей твердых минеральных удобрений, культиваторов-подкормщиков, туковысевающих аппаратов сеялок. Проведены теоретические обоснования производительности данного устройства, определены основные режимы его работы.

Ключевые слова: шнековое дозирующее устройство, дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений, точное земледелие.

Постановка проблемы

При возделывании сельскохозяйственных культур в последние годы особое внимание уделяется не только экономической эффективности, но и экологической нагрузке, которую они оказывают. Основными источниками экологического загрязнения окружающей среды в сельском хозяйстве являются пестициды и минеральные удобрения, при этом они же являются одними из основных пунктов затрат при возделывании сельскохозяйственных культур. Поэтому инженерная наука в АПК активно разрабатывает машинные технологии и технические средства, направленные на снижение отрицательного воздействия

этих факторов. В настоящее время стали активно применяться технологии дифференцированного внесения минеральных удобрений, основанные на данных об урожайности полей и отзывчивости культур [1-3].

Основное внесение твердых минеральных удобрений и подкормки производится с помощью разбрасывателей центробежного типа [4-8]. Данный способ внесения наиболее подходит для культур сплошного сева. При возделывании пропашных культур активно используются различные культиваторы-подкормщики, способные одновременно выполнять ряд операций (обработка междурядий, уничтожение сорняков и подкормка растений). В подобных машинах внесение минеральных удобрений осуществляется с помощью подкормочных ножей, соединённых с туковысевающими аппаратами через тукопроводы [9].

Существуют различные конструкции туковысевающих аппаратов, которые можно условно разделить на катушечные, тарельчатые, ленточные, барабанные и спирально-винтовые [10-12]. Широкое распространение имеют катушечные туковысевающие аппараты и схожие с ними барабанные. Подобные аппараты оборудованы катушечно-штифтовыми дозаторами или гребенчатыми барабанами. Принцип их работы рассмотрим на примере катушечно-штифтового дозатора: гранулы минеральных удобрений забираются из бункера посредством вращающейся катушки, для этого на ней имеются штифты, расположенные в два ряда со смещением один относительно другого. Регулировка дозы внесения осуществляется изменением скорости вращения катушки и проходного сечения питающего окна с помощью задвижки [13].

К недостаткам подобных аппаратов можно отнести невысокую точность регулировки дозы внесения твердых минеральных удобрений, так как из-за особенностей конструкции дозатора его захватывающая способность зависит от величины штифтов и шага между ними. Данный фактор сказывается на качестве дозирования минеральных удобрений. Кроме того, важно уделять особое внимание их гранулометрическому составу, так как наличие крупных скомкавшихся удобрений способно привести к заклиниванию аппарата. Конструкцией туковысевающих аппаратов предусмотрена возможность смены катушечно-штифтовых дозаторов для изменения дозы внесения, но данная операция значительно увеличивает время подготовки машины к работе.

В системах точного земледелия применяются вибрационные дозаторы. Конструкция подобных систем

представляет собой шиберный дозатор и ограничитель с установленной под ними вибрационной пластиной с электромагнитом. Работают подобные конструкции следующим образом: из бункера минеральные удобрения поступают через дозирующее окно, где в результате вибрационного перемещения пластины с заданной частотой попадают в делитель потока, из которого сыплются в тукопроводы [14]. Конструкция имеет несомненные преимущества, связанные с высоким диапазоном регулировок и точностью дозирования минеральных удобрений. Однако наличие крупных включений в минеральных удобрениях способно привести к забиванию дозирующего устройства. Кроме того, в процессе дозирования подача удобрений происходит за счет гравитации и зависит от сыпучести конкретных удобрений.

Наиболее распространённые системы дозирования твердых минеральных удобрений – системы со спиральными и винтовыми рабочими органами. Данные системы представляют собой туковысевающий механизм, установленный в нижней части бункера для удобрений, который состоит из шнеков с правой и левой навивкой, установленных на едином валу. Привод механизма может осуществляться как от приводных колёс культиватора, так и от электропривода. При вращении вала, удобрения посредством шнека поступают к выгрузным окнам дозирующего устройства, через которые сыплются в тукопроводы. Для снижения процессов сегрегации подобные конструкции оборудуются рассеивателями для выравнивания потока минеральных удобрений [13, 15].

Так как подача минеральных удобрений в данных дозирующих системах осуществляется принудительно (за счёт вращения шнеков), то в них наблюдается достаточно неплохая равномерность внесения удобрений по сравнению с гравитационными системами дозирования. При этом доза внесения может регулироваться скоростью вращения вала при условии отдельно установленного для него привода либо путём изменения шага между витками шнеков. Данные конструкции обладают рядом недостат-

ков, например, в них выполняются процессы, связанные с расслоением смеси минеральных удобрений, они обладают невысокой производительностью из-за наличия в них кожухов, ограничивающих объём удобрений, занимающих межвитковое пространство шнеков.

Проведённый анализ систем дозирования минеральных удобрений показал, что в настоящее время разработаны различные конструкции туковысевающих механизмов. При этом каждая из систем имеет свои достоинства и недостатки, связанные с особенностями конструкций. Развитие систем точного земледелия требует особого внимания к качеству дозирования удобрений. Необходимо разрабатывать новые конструкции туковысевающих устройств, способных работать в системах точного земледелия и обладающих высокой степенью равномерности внесения удобрений и широким диапазоном регулировок доз.

Материалы и методы исследования

В процессе разработки дозирующего устройства учитывались особенности уже существующих конструкций, используемых как в распределителях минеральных удобрений, так и в культиваторах-подкормщиках и посадочных машинах. Для проектирования дозирующего устройства использовались технологии 3D-моделирования. Было разработано дозирующее устройство для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений с высокой точностью дозирования (рис. 1).

Предлагаемое дозирующее устройство представляет собой корпус, имеющий выгрузное отверстие, внутри которого на валу установлен шнек со встречно направленными витками. При этом корпус соединён с выгрузным патрубком через систему дозирования, которая, в свою очередь, через тягу соединена с актуатором. Система дозирования включает в себя боковую стенку корпуса и водило, которые имеют в своей конструкции направляющие пазы, при этом в пазах установлены заслонки с возможностью их перемещения, водило через тягу соединено с актуатором.

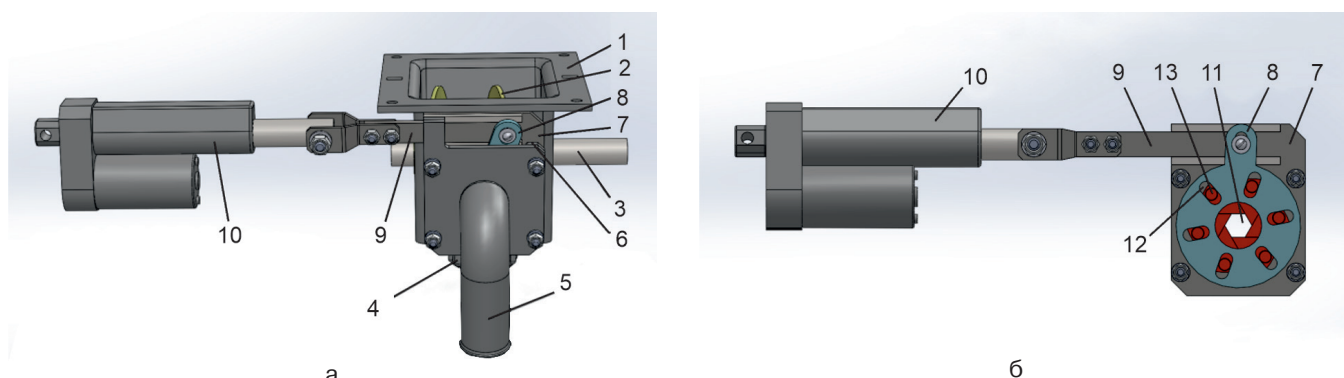


Рис. 1. Общий вид дозирующего устройства (а) и система дозирования (б) – вид со стороны выгрузного патрубка:

1 – корпус; 2 – составной шнек; 3 – вал; 4 – крышка разгрузочной горловины; 5 – выгрузной патрубок; 6 – система дозирования; 7 – боковая стенка; 8 – водило; 9 – тяга; 10 – актуатор; 11 – выгрузное отверстие; 12 – пазы; 13 – заслонки



Рис. 2. Визуализация процесса дозирования гранул ТМУ при проведении компьютерного моделирования

При работе дозирующей системы с блока управления подаётся сигнал на электропривод, который устанавливает скорость вращения вала с установленным составным шнеком. Кроме того, с блока управления подаётся сигнал на актуатор, который перемещает тягу. В результате изменения положения тяги происходит вращение водила по часовой или против часовой стрелки, вследствие чего изменяется положение заслонок. Перемещение заслонок меняет проходное сечение выгрузного отверстия. В процессе вращения составного шнека твердые минеральные удобрения проталкиваются через выгрузное отверстие, проходят через систему дозирования, поступают в выгрузной патрубок, откуда выгружаются. Стоит отметить, что конструкция предлагаемого дозирующего устройства предназначена для использования в центробежных распределителях твердых минеральных удобрений, культиваторах-подкормщиках, туковывсевающих аппаратах сеялок и др.

Для выбора оптимальных режимов работы разработанного дозирующего устройства в программе 3ds Max были построены его 3d-модели, у которых площадь сечения выгрузного отверстия изменялась от 78,5 до 706,5 мм². Затем полученные модели загружались в программу RealFlow 10, где моделировались процессы движения гранул твердых минеральных удобрений (рис. 2). При проведении компьютерного моделирования процессов, происходящих в разработанном дозирующем устройстве, были использованы следующие условия программно-математического эксперимента: число элементарных гранул – 50000 шт., их диаметр – 3 мм; коэффициент внутреннего трения – 0,45; коэффициент трения между гранулами и поверхностями дозирующего устройства – 0,55.

В процессе исследований для каждого из вариантов скорость вращения шнека изменялась в диапазоне от 0 до 90 мин⁻¹. В ходе эксперимента оценивалась производительность дозирующего устройства по количеству гранул, вышедших из выгрузного отверстия за 1 с.

Результаты исследований и обсуждение

Предлагаемая конструкция дозирующей системы подразумевает регулирование нормы внесения твердых минеральных удобрений путём изменения проходного сечения выгрузного отверстия с помощью системы дозирования и частоты вращения составного шнека. Производительность шнекового дозирующего устройства можно определить исходя из геометрических и кинематических параметров:

$$P_{\Gamma} = 3600 \cdot F_{\text{пот}} \cdot v \cdot \rho, \quad (1)$$

где P_{Γ} – производительность шнекового дозирующего устройства, кг/ч;

$F_{\text{пот}}$ – площадь поперечного сечения потока удобрений в дозирующем устройстве, м²;

v – скорость потока удобрений, м/с;

ρ – объемная масса удобрений, кг/м³.

Площадь поперечного сечения потока удобрений в дозирующем устройстве будет определяться диаметром вписанной окружности выгрузного отверстия:

$$F_{\text{пот}} = \psi \cdot \pi \cdot \sqrt{3} \cdot D^2 / 2, \quad (2)$$

где D – диаметр вписанной окружности выгрузного отверстия, м;

ψ – коэффициент заполнения выгрузного отверстия дозирующего устройства.

В свою очередь, скорость потока удобрений зависит от частоты вращения и расстояния между витками шнека:

$$v = n_{\text{в}} \cdot S / 60, \quad (3)$$

где $n_{\text{в}}$ – частота вращения шнека, мин⁻¹;

S – шаг шнека, м.

Подставив значения параметров (2) и (3) в выражение (1), получим производительность шнекового дозирующего устройства:

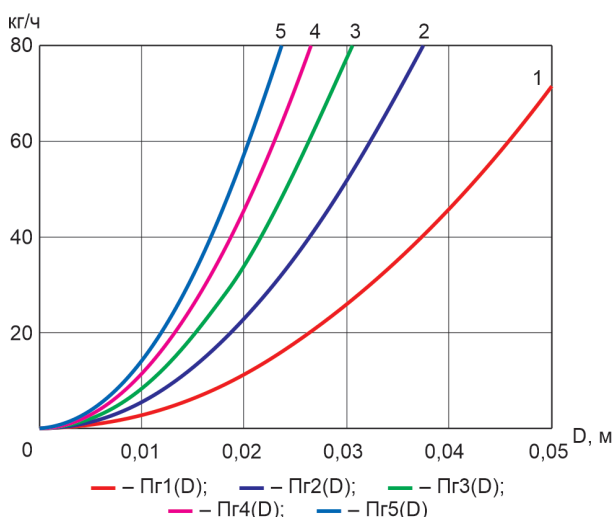


Рис. 3. Зависимость производительности дозирующего устройства от изменения частоты вращения шнека и проходного сечения выгрузного окна: 1 – 20 мин⁻¹; 2 – 40 мин⁻¹; 3 – 60 мин⁻¹; 4 – 80 мин⁻¹; 5 – 100 мин⁻¹

$$P_T = 30 \cdot \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \psi \cdot n \cdot \pi \cdot S \cdot D^2. \quad (4)$$

Воспользовавшись выражением (4), в программе Mathcad были проведены исследования производительности шнекового дозирующего устройства и построены графики зависимости производительности дозирующего устройства от изменения частоты вращения шнека и проходного сечения выгрузного окна (рис. 3).

На основе результатов проведенных программно-математических вычислений был построен график зависимости производительности дозирующего устройства от изменения площади выгрузного отверстия и скорости вращения шнека (рис. 4).

Анализ графика показывает, что изменение проходного сечения способствует практически линейному изменению производительности предлагаемого дозирующего устройства, при этом данная зависимость сохраняется на всех скоростях вращения шнека. Стоит отметить, что изменение частоты вращения шнека в интервале 15-60 мин⁻¹ способствует росту производительности дозирующего устройства при проходном сечении от 78,5 до 400 мм² в линейном диапазоне, а при проходных сечениях более 400 мм² приобретает квадратичную зависимость. Также стоит обратить внимание, что при изменении частоты вращения шнека более 60 мин⁻¹ рост производительности не наблюдается.

Также исследована равномерность высева на разных режимах работы дозирующего устройства. На основе полученных данных построена графическая зависимость, показывающая равномерность высева гранул в зависимости от частоты вращения шнека и площади выгрузного отверстия (рис. 5).

Анализ графика показал, что наибольшее влияние на равномерность высева оказывает диаметр проходного сечения выгрузного отверстия по сравнению с частотой вращения составного шнека. Площадь выгрузного окна следует назначать в диапазоне 100-600 мм², частота вращения составного шнека имеет зону рациональных значений минимума в интервале 40-70 мин⁻¹, где наблюдается высокая равномерность высева гранул минеральных удобрений.

Таким образом, проведенные теоретические исследования подтвердили, что использование разработанного дозирующего устройства позволит добиться более точной дозы внесения минеральных удобрений за счёт одновременной регулировки системы дозирования (площади выгрузного окна) и составного шнека.

Выводы

1. В ходе исследований было разработано дозирующее устройство, предназначенное для работы в системах точного земледелия, которое может применяться на различной сельскохозяйственной технике, предназначенной для внесения твердых минеральных удобрений.

2. Частота вращения шнека и площадь выгрузного окна оказывают взаимное влияние – с увеличением

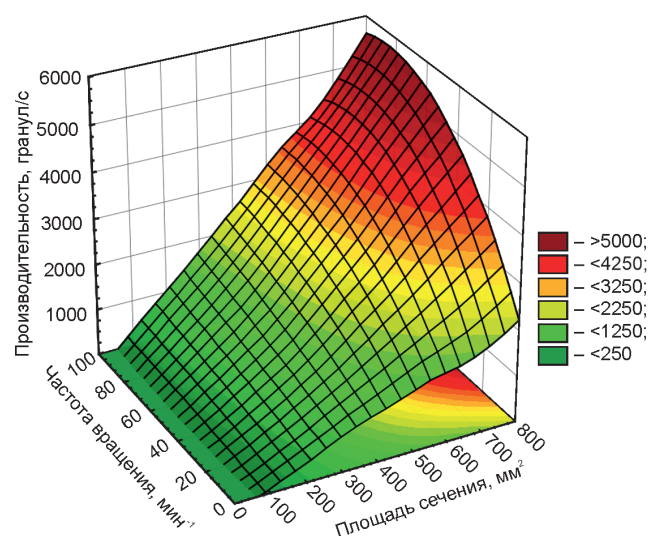


Рис. 4. График производительности дозирующего устройства

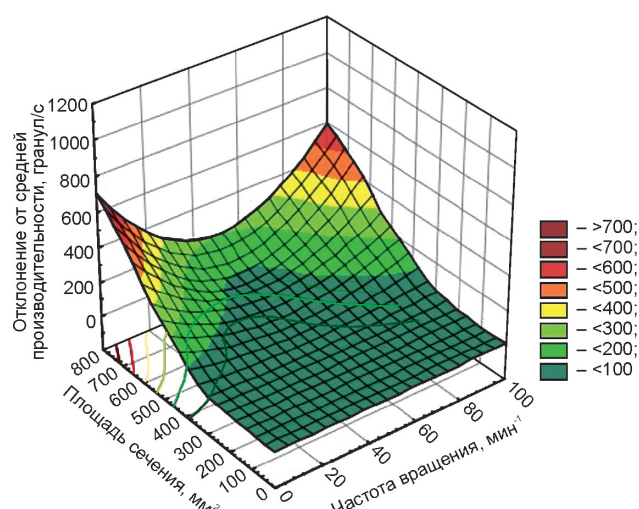


Рис. 5. График равномерности высева на разных режимах дозирования

частоты вращения шнека диаметр выгрузного отверстия оказывает более существенное влияние на производительность. Поэтому при подборе производительности дозирующего устройства следует изменять частоту вращения шнека и площадь выгрузного окна.

3. Проведенные теоретические исследования показывают, что предлагаемое дозирующее устройство обладает широким диапазоном регулировок, тем самым способно обеспечивать внесение минеральных удобрений в необходимых дозах с высокой степенью точности. При этом оптимальные режимы работы предложенного дозирующего устройства будут при изменении площади выгрузного окна от 100 до 600 мм² и частоты вращения составного шнека от 40 до 70 мин⁻¹.

Список использованных источников

1. Андреев К.П. Влияние неравномерности внесения удобрений на урожайность // Принципы и технологии экологизации

производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Рязань: Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева, 2017. С. 13-17.

2. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия / Г.И. Личман, С.А. Белых, А.Н. Марченко // С.-х. машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 4-9.

3. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений / Н.С. Панферов, В.С. Тетерин, С.В. Митрофанов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 12(294). С. 18-24. DOI 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.

4. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / Андреев К.П., Макаров В.А., Шемякин А.В., Костенко М.Ю. // Вестн. Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. 2017. № 1. С. 54-59.

5. **Hwang S.J., Nam J.S.** DEM simulation model to optimise shutter hole position of a centrifugal fertiliser distributor for precise application. *Biosystems Engineering*. 2021. № 204. 326-345.

6. **Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В.** Интеллектуальная технология формирования системы удобрения // Техника и оборудование для села. 2020. № 7(277). С. 2-5.

7. **Даниленко Ж.В., Шемякин А.В., Ерошкин А.Д.** и др. Координатное внесение удобрений на основе полевого мониторинга // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. 2018. № 4(40). С. 167-172.

8. Разработка лабораторного стенда для исследования рабочих органов распределителей удобрений центробежного типа / Н.С. Панферов, В.С. Тетерин, С.А. Пехнов, Д.Г. Сухоруков // Техника и оборудование для села. 2020. № 7(277). С. 26-29. DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-26-29.

9. К вопросу совершенствования гребнеобразующего культиватора-подкормщика / М.Ю. Костенко, В.С. Тетерин, Н.В. Липатов, А.С. Терентьев // Техника и оборудование для села. 2022. № 2(296). С. 10-14. DOI 10.33267/2072-9642-2022-2-10-14.

10. **Старовойтова О.А.** Техническое обеспечение внесения минеральных удобрений и средств защиты при возделывании картофеля / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина // Актуальные вопросы совершенствования систем земледелия в современных условиях : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием (г. Махачкала, 26-27 ноября 2020 г.). Махачкала: ФГБНУ «Федеральный АНЦ Республики Дагестан», 2020. С. 243-247.

11. **Тетерина О.А.** Совершенствование машин для внесения минеральных удобрений / О.А. Тетерина, Н.А. Костенко // Юность и знания – гарантии успеха – 2017 : сб. науч. тр. 4-й Междунар. молодежной науч. конф. В 2-х т. (г. Курск, 27-28 сентября 2017 г.) Курск: ЗАО «Университетская книга», 2017. С. 202-205.

12. Дифференцированное-дробное внесение удобрений при производстве картофеля в ООО «Авангард» Рязанского района / М.Ю. Костенко, Н.В. Липатов, И.В. Егорова, В.С. Тетерин // Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Матер. нац. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию д-ра техн. наук, проф. В.В. Бычкова (г. Рязань, 27 января 2022 г.). Рязань: Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева, 2022. С. 42-47.

13. Туковывсевающие аппараты / Н.Е. Руденко, Д.С. Калугин, Е.В. Кулаев, Е.В. Герасимов. Ставрополь: «АГРУС», 2015. 32 с.

14. **Белых С.А.** Новые методы дифференцированного внесения удобрений / С.А. Белых, В.Б. Любченко, С.В. Митрофанов // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сел. хоз-ва. 2016. № 10. С. 138-145.

15. **Калугин Д.С.** Сравнительные испытания туковывсевающих аппаратов / Д.С. Калугин, Н.Е. Руденко, Е.В. Кулаев // Научное обозрение. 2016. № 3. С. 59-62.

Screw Dosing Device for Solid Mineral Fertilizers

M.Yu. Kostenko, I.A. Uspensky, I.A. Yukhin, N.V. Lipatov

(FGBOU VO "Ryazan State Technical University
named after P.A. Kostychev")

V.S. Teterin, S.A. Pekhnov

(FGBNU VNATS VIM)

Summary: *The designs of dosing systems used in precision farming technologies are considered, their advantages and disadvantages are identified. On the basis of the analysis carried out, the design of a screw dosing device for centrifugal distributors of solid mineral fertilizers, cultivators-feeders, and seeders of seeders is proposed. Theoretical substantiations of the performance of this device are carried out, the main modes of its operation are determined.*

Key words: *screw dosing device, differentiated application of solid mineral fertilizers, precision farming.*



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
КОМБИКОРМЩИКОВ



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
WWW.MVC-EXPOKHLEB.RU



16+

УДК 631.243.2

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-22-26

О проблемах и перспективах строительства и реконструкции хранилищ сена, сенажа, брикетов и гранул

М.М. Войтюк,*д-р экон. наук, директор,
nrc@giproniselkhoz.ru***П.Н. Виноградов,***канд. с.-х. наук,
вед. науч. сотр.,
nrc@giproniselkhoz.ru***С.А. Оганесян,***мл. науч. сотр.,
akisaito@yandex.ru***Е.П. Золотцева,***nrc@giproniselkhoz.ru
(Московский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»)*

Аннотация. Рассмотрены проблемы строительства и реконструкции хранилищ сена, сенажа, брикетов и гранул, перспективы увеличения масштабов строительства и реконструкции с применением новых конструктивных моделей и композиционных строительных материалов. Отражена необходимость обновления нормативно-методической документации по технологическому проектированию, строительству и реконструкции хранилищ сена, сенажа, брикетов и гранул.

Ключевые слова: хранилище, складские помещения, сельскохозяйственная продукция, сено, сенаж, брикеты, строительство, реконструкция.

Постановка проблемы

Вопросы хранения сена, сенажа, брикетов и гранул всегда были чрезвычайно актуальными для российского сельского хозяйства. В последние годы хранилища для сельхозпродукции активно возводились, но пока потребность в них закрыта далеко не полностью [1]. По экспертным оценкам, общие современные мощности для хранения в стране оцениваются в 3,2 млн т, при этом около половины хранилищ аграрного сектора, построенных

в 1950-1960 гг., непригодны или малопригодны для использования инновационных технологических решений и эффективной сельскохозяйственной деятельности.

Старые постройки продолжают существовать и нуждаются в основном обновлении, после чего появится реальная возможность для их эксплуатации на современном уровне [2, 3]. Неслучайно в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства обновление производственной инфраструктуры аграрной отрасли отражено как приоритетная задача, вводятся меры государственной поддержки строительства современных хранилищ и технического переоснащения производственных мощностей устаревших складских помещений. Строительство новых и обновление устаревших хранилищ сельскохозяйственной продукции, в том числе сена, сенажа, брикетов и гранул, можно реализовать с применением инновационных строительных технологий, основанных на новых конструктивных моделях строительства и композиционных строительных материалах [4].

К конструктивным моделям строительства, часто используемым в сельском строительстве, относятся каркасные и безкаркасные сооружения – легко- и быстровозводимые конструкции, отличающиеся сравнительно невысокой стоимостью и зачастую не требующие устройства фундамента [5]. К композиционным строительным материалам относится широкий ассортимент сэндвич-панелей и изделий из клеевой древесины, представляющих собой крупноформатные конструкции различной толщины, плотности и прочности, которые благодаря своим размерам

и свойствам позволяют быстро возводить новые или реконструировать устаревшие хранилища сельхозпродукции [6]. Применение современных технологий строительства на основе новых строительных конструкций и материалов значительно увеличивает срок службы и рентабельность хранилищ и складских помещений, обеспечивает высокую степень сохранности сельскохозяйственной продукции и соответствует современным стандартам качества [7, 8].

Цель исследований – изучение проблем строительства современных хранилищ сельскохозяйственной продукции и перспектив применения инновационных строительных технологий и материалов, а также актуализация нормативно-методической документации для строительства новых и реконструкции устаревших хранилищ.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовалась аналитическая информация, представленная на официальных сайтах Минсельхоза России и Росстата, региональных органов управления сельским хозяйством, в научных источниках (статьи, научные доклады, материалы научных конференций), информационной сети Интернет.

При исследовании применялся комплекс приемов и методов сбора и обработки исходной информации, в том числе *экономико-статистический* – при анализе влияния различных факторов на состояние хранилищ сельхозпродукции, *абстрактно-логический* – при исследовании строительных технологий и материалов для строительства хранилищ и *комплексный* – при анализе нормативно-

методической документации по строительству и реконструкции хранилищ сельскохозяйственной продукции.

Результаты исследований и обсуждение

Современные хранилища сельскохозяйственной продукции должны обеспечивать эффективность и сохранность её потребительских свойств, что предъявляет дополнительные требования к материалам, из которых они изготавливаются, – высокая степень герметичности, экологичность [9].

В настоящее время каркасные (на металлическом каркасе) и бескаркасные (арочные) модели хранилищ весьма конкурентны на рынке хранения продуктов. Это связано с возможностью быстрого и легкого возведения, доступностью цен и обычно отсутствием требований по возведению фундамента.

Каркасное хранилище из легких металлоконструкций в основном используется для хранения сена и кормов, позволяя возводить конструкции любого необходимого размера и формы, и с каждым годом их количество возрастает (табл. 1) [10].

Основным материалом ограждения каркасной конструкции являются сэндвич-панели. Они широко применяются на практике, но не являются оптимальными (рис. 1). Герметичность традиционного трехслойного сэндвича с наполнителем из минеральной ваты высокая, но не 100%. При эксплуатации может нарушаться герметичность стыков панелей, при этом происходят расслоение, намокание утеплителя, ухудшение теплотехнических свойств и развитие грибковых образований.

Эти проблемы могут решаться использованием сэндвич-панелей, представляющих собой объемную конструкцию на основе сэндвич-профилей – «корыт», изготовленных методом холодной штамповки из оцинкованных стальных листов с полимерным покрытием толщиной 0,8 или 1 мм (СП ПС). Сэндвич-профили крепятся непосредственно к металлическому каркасу на строительной площадке, затем укладывается

Таблица 1. Число новых, модернизированных и реконструированных объектов хранения кормов в свиноводстве, птицеводстве и скотоводстве

Подотрасли	Число новых, модернизированных и реконструированных объектов		
	2014-2018 гг.	2021 г.	
		вновь построенные	реконструированные и модернизированные
Свиноводство	202	42	10
Птицеводство	141	23	15
Скотоводство	1783	344	78



Рис. 1. Пример хранилища из сэндвич-панелей

легкий утеплитель из минеральной ваты, а поверх него крепится водонепроницаемая и ветрозащитная мембрана. СП ПС также более удобны в использовании, не требуют подъемного оборудования. Все элементы данных панелей легко перемещаются и устанавливаются вручную. СП ПС применяется не только для стен, но и для крыш. При этом стыки кровли обладают большей несущей способностью по сравнению с трехслойным сэндвичем, что позволяет увеличить расстояние между пролетами.

Другое возможное решение – трехслойные сэндвич-панели Airpanel нового поколения с наполнителем из пенополиуретана или пенополиизоцианурата, которые полностью биоинертны. В отличие от традиционных минераловатных панелей, пенополиуретановые панели гарантированно остаются герметичными на протяжении всего срока службы (25-30 лет), так как их наполнитель негигроскопичен, а в швах панелей имеется специальный герметик, обеспечивающий 100%-ную герметичность швов.

Для сенохранилищ не требуется сохранение и поддержание оптималь-

ной температуры, т.е. они не должны быть теплыми, поэтому использовать в их строительстве сэндвич-панели расточительно. В этом случае лучшим решением является профнастил с полимерным покрытием (например, colorcoat Prisma), обеспечивающим срок службы здания до 50 лет.

Для продления сроков хранения сельскохозяйственной продукции необходимы современные хранилища, в которых обеспечивается регулирование и поддержание атмосферного, температурного и влажностного режимов хранения. Так, согласно отраслевому стандарту ОСТ 10243-2000 содержание влаги в сенохранилище должно быть не более 17%. В строительстве хранилищ сельхозпродукции с подобными характеристиками целесообразно использовать новые конструкционные строительные материалы, в частности клееную древесину. В отличие от цельного бруса, клееная древесина отвечает не только требованиям технологичности, прочности, формоустойчивости, водо-, био- и морозостойкости, но и экологической безопасности при хранении.

Клееный брус предлагает оптимальный баланс между экологично-

стью и удобством использования в производственных помещениях, сохраняет все преимущества массива дерева, уникальный микроклимат, способствует постоянному воздухообмену и поддерживает определенную влажность в помещении без специального оборудования, отличается устойчивостью к повышенной влажности (табл. 2).

Поверхности из массива дерева способны аккумулировать влагу из воздуха в помещении и отдавать ее наружу. Это создает здоровый естественный климат для хранения сельскохозяйственной продукции. Кроме того, элементы из клееного бруса

абсолютно герметичны, обладают высокими звуко- и теплоизоляционными свойствами. Наибольший экономический эффект от применения клееных конструкций достигается при перекрытии ими больших пролетов (18-36 м), например в крупных овощехранилищах, зернохранилищах и хранилищах сена и сенажа. По сравнению с аналогичными железобетонными конструкциями его применение позволяет снизить собственную массу конструкции в 4-5 раз, а трудоемкость изготовления и монтажа – более чем в 2 раза.

Благодаря современным технологиям склеивания стало возможным

использовать клееный брус практически для всех элементов конструкций (стеновых балок, стропил, балок перекрытий) (рис. 2) в сельскохозяйственных хранилищах и складах. Существенным преимуществом этой древесины является простота обработки, что открывает простор для отделки зданий. Клееные изделия, применяемые для строительства и реконструкции хранилищ сельскохозяйственной продукции, изготавливаются из древесины хвойных пород, площадь произрастания которых составляет около 80 % лесопокрытой площади России. Поэтому потенциал развития ресурсов клееного бруса огромен и должен играть ведущую роль в сельском строительстве.

Несмотря на необходимость значительных инвестиций, крупные сельхозпроизводители строят собственные высокотехнологичные объекты для хранения продукции, так как при выходе компании на промышленные объемы производства необходимо организовать эффективное хранение продукции.

За последние три года ГК «АФГ НАЦИОНАЛЬ» построил и ввел в эксплуатацию современные хранилища сельскохозяйственной продукции в Нижегородской и Новгородской областях, совокупный объем инвестиций на их строительство превысил 1 млрд руб. Сроки окупаемости таких мощностей – пять-семь лет. Холдинг стремится к дальнейшему увеличению сельскохозяйственного производства и складских мощностей.

Руководство ООО «Тамбовский фермер» убеждено, что заниматься сельхозпроизводством без собственных хранилищ и складских помеще-

Таблица 2. Сравнительная характеристика деревянного цельного и клееного бруса

Показатели	Вид бруса	
	цельный	клееный
Осадка, %	6-8	0,4
Коробление из-за неравномерного испарения влаги (нарушение геометрии – винт, изгиб)	Возможно	Исключено
Наличие трещин	По ширине до 1 см, глубине – до 15 см, длине – до 1,5 см	Допускается по длине, не влияет на прочность
Потеря эстетичности из-за грибковых заболеваний	Возможно	Исключено
Червоточина, гниль	Возможно	Исключено
Качество поверхности	Нет идеально ровной поверхности (мертвые и выпавшие сучки, трещины)	Гладкая поверхность, не требующая последующей отделки
Влияние температурных колебаний	Деформация древесины	Отсутствует
Теплоизолирующие свойства	Требуется дополнительная теплоизоляция	Соответствует требованиям СНиП
Группа горючести (ГОСТ 30244-94)	Г ₃	Г ₁



Рис. 2. Примеры использования в конструкции хранилищ элементов из клееного бруса

ний невозможно. Компания владеет двумя хранилищами, построенными около пяти лет назад, одно – по американской технологии, другое – по голландской. Отличаются они системами вентиляции. Строительство двух хранилищ обошлось компании в 12 млн руб., однако в ближайшее время планируется увеличить мощности по хранению на 20%.

У Агрохолдинга АО «ОСП агро» тоже имеются собственные хранилища. Однако этого оказалось недостаточно, поэтому в 2022 г. для подразделения «Сосновка» было построено хранилище на 8,5 тыс. т, а в этом году – еще одно хранилище на 2 тыс. т продукции. Возведенные хранилища оснащены компьютерными установками, которые задают температуру внутри помещений, и активной вентиляцией.

В настоящее время в связи с новыми экономическими и политическими реалиями, срывом логистических цепочек у российских сельхозтоваропроизводителей начались трудности с ввозом оборудования для хранилищ. Рост цен на импортные комплектующие, а порой и невозможность их ввоза из-за режима санкций вынудили начать поиск поставщиков внутри страны или из дружественных стран.

По оценкам специалистов, площади лесного фонда России составляют около 870,3 млн га, из них почти 40% – хвойные леса, древесина которых является ресурсной базой для производства клеевых деревянных конструкций. В настоящее время многие отечественные деревообрабатывающие предприятия освоили изготовление клееной продукции (ПАО «Сегежа Групп», корпорации «Русь» и «ДОК 43», АО «Вышневолоцкий леспромхоз», ООО «Вологодский северный лес» и др.).

Использование современного оборудования позволяет отечественным деревообрабатывающим предприятиям наладить массовое производство модулей для возведения хранилищ различной сельскохозяйственной продукции. Накоплен опыт проектирования и строительства сооружений из клееной древесины.

Однако их более широкое внедрение в практику сельского строительства сдерживается нерешенными отдельными нормативно-методическими вопросами.

Научные исследования, разработка нормативных документов, строительных чертежей сооружений, проектов складских помещений, сельскохозяйственных зданий и сооружений с использованием клееного бруса ведутся в ЦНИИСК им. Кучеренко, АО ЦНИИПромзданий, ЦНИИМОД, ООО ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева, НИУ МГСУ, Московском филиале ФГБНУ «Росинформагротех», ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский ГАУ» и др. Однако как в строительной отрасли в целом, так и в подотрасли сельского строительства нормативно-методическая база проектирования плодохранилищ и других сельскохозяйственных объектов с использованием клееного бруса значительно отстает от современных требований. Основные нормативные документы по строительству и реконструкции производственной инфраструктуры агропромышленных комплексов с использованием клееного бруса были разработаны в 1990-е годы. В настоящее время разработано несколько стандартов организаций, использующих клееные строительные материалы, например СТО 36554501-002-2006 Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета, СТО 36554501-021-2010 Деревянные конструкции, СТО 2.23.137-2013 Объекты сельскохозяйственного строительства. Здания и помещения по производству молока, говядины и свинины, ОСН-АПК 2.10.16.001-04 Инструкция по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций для производственных сельскохозяйственных зданий и др.

Обновление нормативно-методических документов учитывает развитие международного сотрудничества, что требует гармонизации отечественных и зарубежных стандартов, однако этот процесс оказался очень сложным, поэтому

за последние годы было утверждено лишь несколько документов. Обновлено и реализовано в соответствии с международными стандартами СП 64.13330.2017, СТО 2.23.137-2013, ГОСТ 20850-2014, требуют незамедлительной актуализации НТП-АПК 1.10.11.001-00, НТП-АПК 1.10.04.003-03, РД-АПК 1.10.07.06-08, ОСН-АПК 2.10.14.001-04, что ускорит развитие производства клееных строительных материалов для строительства и реконструкции хранилищ сельскохозяйственной продукции.

Выводы

1. Вопросы хранения сельскохозяйственной продукции всегда были чрезвычайно актуальными для российского сельского хозяйства. В последние годы современные хранилища для сельхозпродукции активно возводятся, но потребность в них закрыта далеко не полностью.

2. Применение современных технологий строительства на основе новых строительных конструкций и композиционных строительных материалов значительно увеличивает срок службы и рентабельность хранилищ и складских помещений, обеспечивает высокую степень сохранности сельскохозяйственной продукции и соответствует современным стандартам качества.

3. Основные нормативные документы по строительству и реконструкции хранилищ сельскохозяйственной продукции из новых строительных материалов разработаны в 1990-х годах и требуют незамедлительной актуализации в соответствии с международными стандартами.

Список

использованных источников

1. **Войтюк М.М., Кондратьева О.В., Слинко О.В., Войтюк В.А.** Строительство и модернизация животноводческих объектов – драйвер развития сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2019. № 2. С. 26-33.

2. **Войтюк М.М., Виноградов П.Н., Мишуров Н.П.** Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм крупнорогатого скота крестьянских (фермерских) хозяйств:

РД-АПК 1.10.01.03-22. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 142 с.

3. ГОСТ 20850-2014. Межгосударственный стандарт. Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия.

4. Строительный спад в РФ продолжается [Электронный ресурс]. URL: http://www.ng.ru/economics/2017-07-26/4_7037_stroyspad.html (дата обращения: 10.01.2023).

5. **Войтюк М.М., Мачнева О.П., Войтюк В.А.** Сельскохозяйственное сырье при изготовлении конструкционных материалов для строительства объектов АПК // Техника и оборудование для села. 2020. № 9 (279). С. 34-36.

6. Деревянные клееные конструкции: в тренде всерьез и надолго [Электронный ресурс]. URL: http://www.d-c.spb.ru/archiv/057/42-45_57.pdf (дата обращения: 10.01.2023).

7. **Войтюк М.М., Войтюк В.А.** Применение цифровых технологий в строи-

тельстве животноводческих объектов // Вестник ВНИИМЖ. 2019. № 1 (33). С. 183-189.

8. **Войтюк М.М., Сураева Е.А.** Информационное обеспечение проектирования, строительства и реконструкции производственных объектов животноводства в регионах: справ. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 95 с.

9. **Войтюк М.М., Виноградов П.Н., Стяжкин В.И.** и др. Проектно-технологические решения для малых животноводческих ферм: справ. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 244 с.

10. **Войтюк В.А., Виноградов П.Н., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П.** и др. Нормы по проектированию административных, бытовых зданий и помещений для животноводческих, звероводческих и птицеводческих предприятий и других объектов сельскохозяйственного назначения РД-АПК 2.10.14.02-20. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019.

On the Problems and Prospects of Construction and Reconstruction of Storages for Hay, Haylage, Briquettes and Granules

M.M. Voytyuk, P.N. Vinogradov, S.A. Oganessian, E.P. Zolottseva

(Rosinformagrotekh, Moscow Branch)

Summary. The problems of construction and reconstruction of storages for hay, haylage, briquettes and granules, the prospects for increasing the scale of construction and reconstruction using new structural models and composite building materials are considered. It reflects the need to update the regulatory and methodological documentation for technological design, construction and reconstruction of storage facilities for hay, haylage, briquettes and granules.

Keywords: storage, storage facilities, agricultural products, hay, haylage, briquettes, construction, reconstruction.

12-13 ИЮЛЯ 2023 г.

МАСЛИЧКА

ВСЕРОССИЙСКИЙ ДЕНЬ ПОЛЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

- 🌻 ПРЕЗЕНТАЦИИ СОРТОВ И ГИБРИДОВ МАСЛИЧНЫХ И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
- 🌻 ПОКАЗ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ
- 🌻 ДЕМОНСТРАЦИЯ ТЕХНИКИ В ДЕЙСТВИИ
- 🌻 ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОСЕВУ, СБОРУ И ХРАНЕНИЮ УРОЖАЯ
- 🌻 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
- 🌻 ВЫСТУПЛЕНИЯ И МАСТЕР-КЛАССЫ ЭКСПЕРТОВ

ИВАНОВСКАЯ ОБЛАСТЬ

ПОДРОБНЕЕ



maslichka.com



Агрос Экспо

maslichka@agros-expo.com
+7(495)128-29-59



ИНСТИТУТ МОЛОКА

info@imol.club
+7(495)668-39-28



Ассоциация РАСРАПС

rosraps@mail.ru
+7(916)622-38-17



Ассоциация РАСРАПС

РЕКЛАМА

УДК 635.24:664.8.047

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-27-31

Влияние молекулярной сушки на физико-химические параметры и антиоксидантную активность клубней топинамбура

А.А. Манохина,

д-р с.-х. наук,
доц., проф.,
alexman80@list.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА
имени К.А. Тимирязева»);

В.И. Старовойтов,

д-р техн. наук, проф.,
гл. науч. сотр., зав. отд.,
agronir1@mail.ru

С.В. Жевора,

д-р с.-х. наук, проф.,
гл. науч. сотр., директор,
zhevoraserg@yandex.ru

О.А. Старовойтова,

д-р с.-х. наук,
гл. науч. сотр.,
agronir2@mail.ru
(ФГБНУ «ФИЦ картофеля
имени А.Г. Лорха»)

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния на свойства топинамбура вакуумной сублимационной сушки. Отмечены достоинства и открывающиеся новые возможности получения конечного продукта для диетического, детского и специального питания (сублимация позволяет сохранить практически все антиоксиданты, полезные свойства и пищевую ценность), а также проблемные вопросы внедрения данной технологии.

Ключевые слова: топинамбур, флавоноиды, фенольные соединения, сублимация, антиоксиданты.

Постановка проблемы

Одним из ключевых факторов, обеспечивших в последние 20-30 лет радикальные структурные сдвиги в мировой экономике, стало повышение экономической роли инноваций [1]. Сельское хозяйство, пищевая промышленность и фармацевтиче-

ские предприятия являются одними из основных драйверов развития России. Именно в этих отраслях активно востребованы специальные технологии обеспечения длительной сохранности сырья и пищевых продуктов без снижения их качества.

Топинамбур является культурой с уникальными свойствами. Клубни содержат достаточно большое количество сухих веществ (до 25%), в том числе до 80% полимерного гомолога фруктозы – инулина, гидролиз которого приводит к получению фруктозы. В состав топинамбура входят клетчатка и богатый набор минеральных элементов (мг % на сухое вещество): железо – 10,1; марганец – 44; кальций – 78,8; магний – 31,7; калий – 1382,5; натрий – 17,2.

Топинамбур активно аккумулирует кремний из почвы, содержание его в клубнях составляет до 8 мг % в расчете на сухое вещество. По содержанию витаминов В1, В2, С, железа, кремния и цинка культура превосходит картофель, морковь и свеклу [2, 3]. В клубнях топинамбура содержатся белки (до 3,2% на сухое вещество), пектин, аминокислоты (8 аминокислот, которые синтезируются только растениями: аргинин, валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, триптофан, фенилаланин [4]), органические и жирные кислоты. Количество пектиновых веществ – до 11% от массы сухого вещества.

Зеленая масса топинамбура характеризуется высоким содержанием углеводного комплекса (фруктоза, глюкоза, сахароза, фруктозаны и др.), что позволяет получать из 1 т до 100 кг инулина, 83,2 л спирта, высококачественные корма. В сухой

массе растений содержится до 17 % протеина со сбалансированным аминокислотным составом. Введение в состав кормов отходов производства инулина и биоэтанола из топинамбура обеспечивает повышение экономической эффективности животноводства и гарантирует экологическую безопасность животноводческой продукции. Топинамбур содержит в десятки раз больше биологически активных соединений по сравнению с другими культурами. Это растение в Российской Федерации дает наиболее высокий выход биомассы с единицы площади [5].

Площадь под посадками топинамбура (земляной груши) в России пока незначительна – около 3000 га, остальное – в садах и огородах. Топинамбур возделывается преимущественно в Липецкой, Костромской, Тверской, Самарской, Рязанской, Ленинградской, Курской, Тульской, Ульяновской, Нижегородской, Волгоградской, Омской, Московской, Саратовской, Кировской и Ярославской областях, Кабардино-Балкарской и Чувашской республиках, Крыму, Краснодарском и Ставропольском краях и др. В Липецкой области топинамбур выращивают на площади 900 га, строится завод по переработке до 150 тыс. т топинамбура в год в сиропы, фруктозоолигосахариды и инулин, что потребует существенного увеличения полевых площадей.

Производственные посадки показали высокий потенциал культуры – до 50 т/га клубней. Частично возделывание топинамбура осуществляется по органическим технологиям. В Курской области компания НТ-пром строит завод годовой мощностью 500 т инулина. В Самарской

области в ООО «Скорпион» топинамбур выращивают на площади 100 га и перерабатывают в порошок и слайсы. Особенностью выращивания топинамбура в этих предприятиях является органическая технология возделывания.

В настоящее время основным трендом является развитие технологий по расширению ассортимента и вовлечению в пищевую промышленность нового поколения ингредиентов для продуктов функционального назначения, в том числе высокой кулинарной готовности [6]. Различные способы сушки уже давно используются в сельском хозяйстве, пищевой промышленности и многих других отраслях. В большинстве применяемых в настоящее время технологий сушки обезвоживание материалов осуществляется испарением влаги при атмосферном давлении. Развитие холодильной и вакуумной техники, внедрение информационных технологий в процессы управления, оценки качества сырья и готовой продукции сформировали материальную основу для создания и практического использования принципиально новой технологии, получившей название сублимационная сушка. Иногда используют термин молекулярная сушка, что отражает режим массопереноса при характерной для этой сушки глубине вакуума.

Данная технология объединяет два процесса, в первом из которых объекты сушки подвергаются замораживанию, фиксирующему их структуру, во втором – происходит удаление замороженной влаги в вакууме при фазовом переходе «лед-пар», т.е. сублимация при давлении ниже давления тройной точки воды. Влага мигрирует внутри материала в виде пара, сохраняя практически неизменными форму и размер объектов сушки. Образуется пористая структура с низкой конечной влажностью и малым удельным весом. На всех этапах сушки исключается воздействие высоких температур, которые являются основным фактором ухудшения качества термолабильных материалов [7].

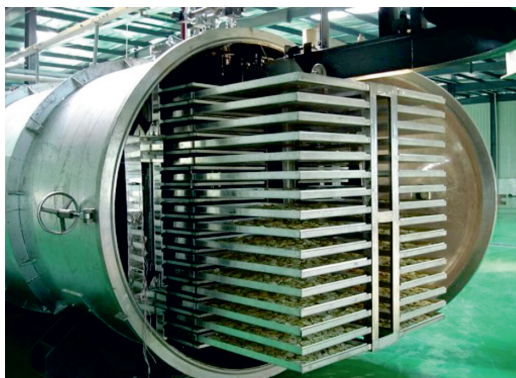


Рис. 1. Вид промышленных сублимационных сушилок

Для решения задач получения специализированных продуктов спортивного, диетического, детского и школьного питания, для населения северных регионов страны и Арктики эффективным инструментом во многих случаях является молекулярная (сублимационная) сушка (рис. 1).

Время сушки и качество сублимированного продукта зависят от этапа заморозки. Чем глубже и быстрее происходит процесс заморозки, тем меньше будут кристаллы льда, тем быстрее они испарятся на втором этапе. Сушка проходит при температурах -20 или -30 °C, а этап высушивания происходит при более щадящих температурах (не превышающих $+40$ °C). Масса сухого готового продукта будет составлять примерно 1/6-1/9 первоначального сырья, что позволяет сократить расходы на транспортировку и упаковку. Упаковываются такие продукты обычно в металлизированные трехслойные пакеты с азотным наполнением от 2 г до 5 кг в зависимости от вида продукта. Срок хранения сублимированных продуктов – до 25 лет. Максимальное сохранение витаминов и нутриентов – 97%. Если изначально такой процесс применялся лишь для крупных заказов космической, военной и оборонной отрасли, то в настоящее время они ориентированы на широкий круг потребителей, создавая продукты премиум-класса [6-9].

В пищевой промышленности США, стран Евросоюза, а в последние 15-20 лет в Китае, Индии и многих странах Юго-восточной Азии соз-

даны и успешно работают предприятия по молекулярной сушке овощей. По данным американской компании «Mordor Intelligence», занимающейся изучением глобальных рынков, мировой рынок сухих сублимированных пищевых продуктов каждый год в среднем растет на 7,4%. Ожидается, что к 2024 г. он составит порядка 85 млрд долл. США [9]. Фрукты и ягоды составляют самую большую часть мирового рынка сублимированных продуктов – 32%.

Сфера применения технологий сублимационной сушки очень разнообразна и продолжает расширяться. Интерес представляет использование в качестве сырья топинамбура, который плохо хранится в обычных условиях, а при его термообработке теряется ряд ценных компонентов, включая фенольные соединения. Сублимационная сушка представляет интерес для сохранения и использования в питании и медицине клубней топинамбура без снижения качества.

Цель исследования – оценка влияния молекулярной сушки клубней топинамбура (сублимационная сушка) на основные физико-химические параметры и антиоксидантную активность (полифенольные соединения и флавоноиды).

Материалы и методы исследования

На основе принципов доказательной медицины получены принципиально новые данные и в отношении биологической роли для человека так называемых минорных биологически активных веществ (различные группы флавоноидов, органические кислоты

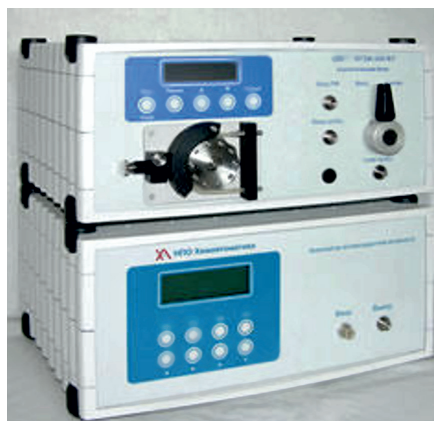


Рис. 2. Прибор для измерения антиоксидантной активности ЦветЯуза-01-АА (ОАО НПО «Химвтоматика»)

(янтарная, яблочная и др., фенольные соединения, полифруктаны, инулин, глюкозамины и др.). Дефицит этих пищевых веществ и биологически активных компонентов в рационе приводит к снижению резистентности организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, формированию иммунодефицитных состояний, нарушению функции систем антиоксидантной защиты, переходу болезней в хроническую форму, повышению риска развития распространенных заболеваний, снижению качества жизни и эффективности лечебных мероприятий [5, 12-15].

Для лабораторных исследований использовали клубни топинамбура наиболее распространенных сортов (Скороспелка и Десертный), выращенных в 2021 г. в Подмосковье. Фенольные кислоты, включая хлорогеновые, являются основными полифенольными соединениями, содержащимися в топинамбуре (*Helianthus tuberosus* L.) [12].

Измерения содержания белков, витаминов выполняли с помощью стандартных методик: углеводы определяли спектрофотометрическим методом (ГОСТ 31669-2012). Выявление сахарозы, глюкозы, фруктозы и сорбита – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, белки измеряли методом Кельдаля, содержание витаминов – хроматографом Хромос ЖХ-301. Содержание антиоксидантов (ССА) в разных со-

ртах топинамбура определяли амперометрическим методом на жидкостном хроматографе ЦветЯуза 01-АА (рис. 2) [16].

Для количественного определения антиоксидантов наиболее надежным представляется амперометрический метод, который позволяет непосредственно измерить содержание всех антиоксидантов в пробе, основан на измерении электрического тока, возникающего при электрохимическом окислении исследуемого вещества (или смеси веществ) на поверхности рабочего электрода при определенном его потенциале. Для исследования при подготовке пробы для измерения содержания антиоксидантов в клубнях, включая кожуру, использовали порции сырья по 5 г.

Сублимационные лабораторные сушилки (рис. 3) поддерживают диапазон температур от -70 до +150 °С, точность поддержания температуры – 0,5 °С, влажности – 1-3 %, диапазон влажности – 20-98 %, напряжение питающей сети – 380 В / 50 Гц, 3 фазы.

Нарезанные пластинками клубни топинамбура укладывали в лотки лабораторной сублимационной сушилки и устанавливали режим работы. Сначала исходный продукт быстро замораживался. При этом в замороженном продукте обычно содержится около 70 % влаги. Далее посредством специальных датчиков системы управления балансируется разница двух параметров: низкого атмосферного давления и давления водяного пара (парциального). Следующий этап – удаление влаги из замороженных продуктов в безвоздушной

среде – вакууме. В подобных условиях лед быстро превращается в пар без промежуточной стадии – перехода в жидкость. Пар оседает в виде конденсата снаружи испарителя либо постепенно переходит в окружающую среду.

Технология вакуумной сублимационной сушки включает в себя предварительную подготовку и обработку исходного сырья, высушивание, упаковку готовой продукции. В свою очередь, сушка включает в себя следующие фазы: замораживание, первичная сушка, вторичная сушка.

Первая фаза представляет собой максимально быстрый процесс замораживания сырья, при котором влага, имеющаяся в продукте, превращается в лед. Для этого применяются камеры ускоренной заморозки. Очень важно как можно дольше сохранять отрицательную температуру сырья и избегать даже минимального его оттаивания перед началом сушки.

Вторая фаза – первичная сушка путем испарения льда за счет поддержания в рабочей камере специальных условий. Ледяные кристаллы, которые находятся в структуре замороженного продукта, молниеносно нагреваются, поступают на поверхность в виде пара и скапливаются на конденсаторе. По длительности эта фаза занимает примерно половину времени, необходимого для сублимации, и позволяет избавиться от 30-50% влаги.

Фаза вторичной сушки – выведение остатков жидкости из продуктов посредством десорбции. При этом в рабочей камере повышается тем-



Рис. 3. Сублимационные лабораторные сушилки Scientz Biotechnology, Тула Терм [10]

пература, а давление так и остается пониженным. Для фазы характерно короткое время пребывания сырья в условиях высокой температуры (подбираются индивидуально).

После сублимации пластинки топинамбура укладывали в емкость и герметично закрывали во избежание воздействия воздуха, света, влаги, появления посторонних запахов. Наиболее подходящей в этом плане является упаковка из полимерных материалов.

Результаты исследований и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты измерений показателей содержания сухих веществ, углеводов, белка, витаминов и фенольных веществ в клубнях топинамбура двух сортов (Скороспелка и Десертный). Сухого вещества в клубнях было на уровне 18,45-20,82%, углеводов – 15,35-16,31%. Содержание белка – 2,39-2,92%. Фенольные соединения – 85-145 мг/100 г сухого вещества (в пересчете на галловую кислоту). Содержание витамина С в топинамбуре при сушке сублимацией изменяется мало и в зависимости от вида, сорта и других показателей составляет в среднем 105-127 мг/100 г сырого вещества в пересчете на сухую массу.

В табл. 2 представлены результаты по изменению содержания полифенолов и флавоноидов в топинамбуре. Флавоноиды – группа полифенольных соединений, полифенолы – соединения, содержащие более одной фенольной группы. По результатам биохимического анализа суммарное содержание растворимых фенольных соединений в мякоти свежих клубней топинамбура в зависимости от сорта варьировалось от 0,19 до 0,23 мг/г сырой массы в эквивалентах галловой кислоты. Суммарное содержание спирторастворимых флавоноидов в пересчете на кверцетин в клубнях топинамбура составило 0,08-0,16 мг/г сырой массы в зависимости от сорта.

В сублимированных образцах суммарное содержание фенольных соединений в мякоти клубней топинамбура варьировалось от 0,65

до 0,8 мг/г сухой массы в эквивалентах галловой кислоты. Суммарное содержание спирторастворимых флавоноидов в пересчете на кверцетин в клубнях топинамбура составило 0,2-0,21 мг/г сухой массы в зависимости от сорта. При этом содержание фенольных соединений в кожуре было значительно выше – от 0,8 до 1,6 мг/г в эквивалентах галловой кислоты. Из идентифицированных фенольных кислот, определенных количественным ВЭЖХ-УФ-анализом, хлорогеновая и дикаффеилхиновая кислоты составляли 72-82% в экстрактах клубней.

Развитая капиллярно-пористая структура сухих сублимированных ломтиков клубней топинамбура обеспечивает быструю и достаточно высокую степень регидратации, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 3.

Наряду с сохранением внешнего вида, формы и размеров сублимированных плодов важными показателями качества готового продукта является максимальная сохранность химического состава, в том числе содержания витаминов. В процессе хранения сублимированных продуктов растительного происхождения

Таблица 1. Параметры биохимических показателей качества топинамбура

Показатели	Сорт топинамбура			
	Скороспелка		Десертный	
Сухое вещество, %	18,45	±1,69	20,82	±2,25
Углеводы, %	15,35	±1,72	16,21	±1,85
Общий белок, %	2,39	±0,17	2,92	±0,23
Витамин С, мг/100 г сырого вещества	105,37	±1,23	126,68	±1,35
Фенольные соединения, мг/100 г сухого вещества (в пересчете на галловую кислоту)	85	6,42	145	±7,92

Примечание. Доверительный интервал при $p = 0,95$. Все данные, включенные в данное исследование, представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартное отклонение и были выполнены не менее 3 раз.

Таблица 2. Суммарное содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов в сублимированных и свежих образцах топинамбура

Сорт топинамбура (образец)	Суммарное содержание	
	растворимых фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту, мг/г	флавоноидов в пересчете на кверцетин, мг/г
Скороспелка (свежий)	0,19±0,11 (сырая масса)	0,08±0,02 (сырая масса)
Скороспелка (сублимированный)	0,80±0,23 (сухая масса)	0,20±0,05 (сухая масса)
Десертный (свежий)	0,23±0,04 (сырая масса)	0,16 ±0,01 (сырая масса)
Десертный (сублимированный)	0,65±0,03 (сухая масса)	0,21±0,09 (сухая масса)

Таблица 3. Характерный уровень поглощения влаги сублимированными ломтиками клубней топинамбура при погружении в воду комнатной температуры (средняя масса образцов сублимированных клубней топинамбура 18,0±0,2 г)

Время экспозиции, мин	Средняя масса восстановленных образцов, г	Масса поглощенной влаги, г	Доля поглощенной влаги к общей массе, %
0	18,0±0,2	0	0
5	41±0,2	23±0,2	56,1
20	48±0,2	30±0,2	62,5
60	50±0,2	32±0,2	64
600	52±0,2	34±0,2	65,4
1000	53±0,2	35±0,2	66

сохранность витаминов, вкус и запах, цвет и консистенция зависят от конечной влажности, контакта с кислородом, температуры и сроков хранения. Окислительные превращения, реакции меланоидинообразования, ферментативные процессы вызывают неизбежное ухудшение качества.

Большинство авторов сходятся во мнении, что высокий уровень сохранности сублимированных растительных продуктов в течение достаточно длительного времени (например 12 месяцев) достигается только при хранении их в атмосфере азота и низкой влажности. Рекомендуемая конечная влажность для продуктов из топинамбура составляет 1,5-2,5%.

При сублимационной сушке продуктов растительного происхождения особое внимание уделяется сохранению антиоксидантных веществ, которыми весьма богат данный вид продуктов. Исследования показали, что в высушенном продукте в среднем сохраняется до 80% антиоксидантных веществ от первоначального содержания их в клубнях топинамбура. Время восстановления сублимированного топинамбура составляет 5-10 мин.

Выводы

1. Сорта топинамбура по-разному реагируют на сублимационную сушку, поэтому для обеспечения максимальных качественных показателей сушки требуется подбор сортов. Сублимация позволяет сохранить практически все антиоксиданты, полезные свойства и пищевую ценность продуктов, так как при таком методе не используются высокие температуры, разрушающие некоторые витамины и белки.

2. Сублимированные продукты имеют минимально возможную влажность – 2-5%. Никакой другой способ сушки не обеспечивает такой низкий уровень влажности. Это означает, что сублиматы – самая лёгкая, полноценная еда.

3. Сублимация – самый современный и качественный способ консервации продуктов для специализированного питания (например, в космонавтике). Исследования по содержанию растворимых фенольных соединений,

флавоноидов в лиофилизированных и свежих образцах топинамбура показали, что сублимационная сушка сохраняет фенольные соединения и флавоноиды, витамины, не меняя свойства и структуру продукта.

4. Недостатками сублимированной сушки являются необходимость использования сложного и дорогостоящего оборудования, высокие удельные энергозатраты на сушку и повышенная себестоимость сублимированных продуктов. Затраты на электроэнергию составляют до 15% от общих затрат на производство продукции.

Список

использованных источников

1. Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинко О.В., Войтюк В.А., Воловиков С.А. Зарубежный опыт распространения новых знаний в сельском хозяйстве // Техника и оборудование для села. 2021. № 1 (283). С. 38-43.
2. Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N., Starovoirov V.I. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems // Agronomy. 2022. Т. 12. № 2. 465.
3. Okda N., Kobayashi S., Moriyama K., Miyataka K., Abe S., Sato C., Kawazoe K. Helianthus tuberosus (Jerusalem artichoke) tubers improve glucose tolerance and hepatic lipid profile in rats fed a high-fat diet // Asian Pac. J. Trop. Med. 2017. 10. 439-443. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed].
4. Saiki P, Yoshihara M., Kawano Y., Miyazaki H., Miyazaki K. Anti-Inflammatory Effects of Heliangin from Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosus) // Leaves Might Prevent Atherosclerosis Biomolecules. 2022. 12(1):91. <https://doi.org/10.3390/biom12010091>.
5. Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф. Природные олигомерные проантоцианидины – перспективные регуляторы метаболических нарушений // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2006. № 2 (126). С. 81-90.
6. Johansson E., Prade T., Angelidaki I., Svensson S.-E., Newson W.R., Gunnarsson I.B., Hovmalm H.P. Economically Viable Components from Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosus L.) in a Biorefinery Concept // Int. J. Mol. Sci. 2015. 16. 8997-9016. <https://doi.org/10.3390/ijms16048997>.
7. Семенов Г.В., Краснова И.С. Сублимационная сушка: моногр. М.: ООО «Торговый Дом «Делли», 2021. 326 с.
8. Zhenzhou Zhu, Mailing Wu, Jie Cai, Shuyi Li, rystian Marszalek, Jose M. Lorenzo, Francisco J. Barba Optimization of Spray-Drying Process of Jerusalem artichoke Extract for Inulin Production // Молекулы. 2019. 24(9). 1674; <https://doi.org/10.3390/molecules24091674> - 29 Апреля 2019.
9. Тихомиров Д.А., Яшин И.С., Хименко А.В., Кузьмичев А.В. Физическое моделирование процесса сушки с применением

термоэлектрического теплового насоса // Техника и оборудование для села. 2023. № 1. С. 40-45.

10. Рейтинг лучших сублимационных сушилок на 2023 год [Электронный ресурс]. <https://vyborok.com/rejting-luchshih-sublmaczionnyh-sushilok> (дата обращения : 21.03.2023).

11. Kim S.H., Kim B.K., Park B.Y., Kim J.M., Lee Y.J., Lee M.K., Yee S.-T., Kang M.Y. Effects of Jerusalem Artichoke Extract and Inulin on Blood Glucose Levels and Insulin Secretion in Streptozotocin Induced Diabetic Mice // J. Korean Diabetes. 2021. 22. 60-70 [Google Scholar] [CrossRef].

12. Muhammad Mir Showkat¹, Anne Bergljot Falck-Ytter², Knut Olav Strøtkevær³ Phenolic Acids in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant Organ Dependent Antioxidant Activity and Optimized Extraction from Leaves. Molecules. 2019 Sep 10. 24(18):3296. doi: 10.3390/molecules24183296.

13. Qiu Y., Lei P., Zhang Y. et al. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources // Biotechnol Biofuels. 2018. 11. 151.

14. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. Технология выращивания топинамбура в органическом земледелии // Вестник ФГБОУ ВО МГАУ им. В.П. Горячкина. 2016. № 6(76). С. 42-47.

15. Жевора С.В., Старовойтов В.И., Яшин А.Я., Манохина А.А., Яшин Я.И. Исследования химического состава и антиоксидантной активности картофеля // Наука в Центральной России. 2021. № 1(49). С. 80-87.

16. Starovoirov V.I., Starovoirov O.A., Aldoshin N., Manokhina A.A. Technology and mechanization of cultivation of Jerusalem artichoke healthier // Research in Agricultural Engineering. 2018. 64(3). Pp. 151-156.

Influence of Molecular Drying on Physicochemical Parameters and Antioxidant Activity of Jerusalem Artichoke Tubers

A.A. Manokhina

(FGBOU VO "RGAU - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev")

V.I. Starovoirov, S.V. Zhevara, O.A. Starovoirov

(A.G. Lorkh Federal State Budgetary Institution of Potatoes)

Summary: The results of the study of the effect of vacuum freeze-drying on the properties of Jerusalem artichoke are presented. The advantages and new opportunities for obtaining the final product for dietary, baby and special nutrition (sublimation allows you to save almost all antioxidants, useful properties and nutritional value), as well as problematic issues of implementing this technology are noted.

Key words: Jerusalem artichoke, flavonoids, phenolic compounds, sublimation, antioxidants.

УДК 621.316.13:621.3.027.2:621.316.5:621.3.064.1:621.316.722:621.314.222.76
DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-32-37

Методика выбора мест установки пунктов секционирования и ступенчатого регулирования напряжения

А.В. Виноградов,

д-р техн. наук,
доц., гл. науч. сотр.,
winaleksandr@gmail.com

А.В. Виноградова,

канд. техн. наук,
вед. науч. сотр.,
alinawin@rambler.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

И.О. Голиков,

канд. техн. наук, доц.,
montazar@rambler.ru
(ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ»);

А.А. Лансберг,

специалист,
lansbergaa@vk.com
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Приведены сведения о надёжности электроснабжения сельских потребителей и качестве поставляемой им электроэнергии. Разработан пункт секционирования и ступенчатого регулирования напряжения, позволяющий предотвращать необоснованные перерывы в электроснабжении сельских потребителей и обеспечивающий заданный уровень напряжения у удалённых от источника электроснабжения потребителей. Разработана методика выбора места установки пункта секционирования и ступенчатого регулирования напряжения по различным критериям.

Ключевые слова: электроснабжение, качество электроэнергии, надёжность электроснабжения, секционирование электрических сетей, регулирование напряжения.

Постановка проблемы

Ключевыми вопросами эффективного электроснабжения сельских потребителей являются обеспечение надёжности электрических сетей и качества поставляемой электроэнергии. Проблемы в этой сфере связаны во многом с несовершенством конфигурации сельских электрических сетей 0,4 и 6-10 кВ. В первую очередь, это касается протяжённости сетей данных классов напряжения. Так, средняя протяжённость линий 0,4 кВ по филиалам ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» составляет 787 м при наименьшей средней длине 737 м (Кировэнерго) и наибольшей – 985 м (Орёлэнерго). В свою очередь, средняя длина линий 6-10 кВ по этим же филиалам составляет 12 706 м, наибольшая – 17 183

(Ярэнерго), наименьшая – 9 607 м (Ивэнерго). Значительное количество линий в филиалах имеет протяжённость 2 км и более. С использованием самонесущих изолированных проводов (СИП) выполнено по разным филиалам от 2 до 56% [1-3].

Среднее удельное значение установленной трансформаторной мощности на одного жителя региона невелико и составляет по рассмотренным филиалам 3,8 кВА [1]. При завышенной протяжённости линий электропередачи и отсутствии средств секционирования это приводит к необоснованно высоким значениям аварийных и плановых отключений потребителей. Выполненный анализ на примере ЛЭП Орловской области показал, что за один месяц 2018 г. и 2019-2021 гг. суммарная аварийно отключенная мощность вследствие отказов ЛЭП 6-10 кВ составила 669,86 МВт, а вследствие отказов ЛЭП 0,4 кВ – 92,34 МВт; суммарная планово отключенная мощность ЛЭП 6-10 кВ – 392 МВт, а ЛЭП 0,4 кВ – 341,56 МВт [2].

По ЛЭП 6-10 кВ планово отключаемая мощность ниже аварийно отключаемой вследствие того, что в сетях в ряде случаев имеется возможность перевода питания потребителей на резервную линию, а в части случаев – секционирования ЛЭП при плановых обслуживаниях. В сетях 0,4 кВ таких возможностей нет и поэтому планово отключаемая мощность значительно выше аварийно отключаемой. Всё это обосновывает актуальность применения средств секционирования и резервирования ЛЭП как 0,4, так и 6-10 кВ. Этому направлению посвящено значительное количество работ и уже имеется определённый набор решений как в нашей стране, так и за рубежом [4-6].

По качеству поставляемой сельским потребителям электроэнергии важно отметить, что этому направлению также уделяется значительное внимание. Так, в работах [7, 8] и других приводятся сведения об исследовании качества электроэнергии, предложения по оптимизации конфигурации сетей с учётом отклонений напряжения, решения по регулированию напряжения.

Проведённое исследование на примере распределительных электрических сетей Орловской области показало, что наиболее часто несоответствие качества электроэнергии наблюдалось по положительному и отрицательному отклонению напряжения и кратковременной дозе фликера. В частности, эти показатели отклонялись от нормы на 17, 31 и 18% соответственно от общего

количества числа измерений за 2019-2021 гг. Также анализ показал, за 2018-2021 гг. в Орелэнерго было зарегистрировано 5215 жалоб от потребителей, 25,8% из них – по поводу качества электроэнергии [9].

Все это показывает актуальность решения вопросов повышения качества поставляемой электроэнергии и, в первую очередь, обеспечения необходимого согласно ГОСТ 32144-2013 уровня отклонений напряжения. Решениями могут быть применение групповых стабилизаторов напряжения или вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ), накопителей электроэнергии для регулирования напряжения, устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) на трансформаторных подстанциях (ТП) 10/0,4 кВ, разукрупнение электрических сетей 10 и 0,4 кВ. Однако все эти решения требуют значительных капитальных вложений и не лишены недостатков [10, 11].

Согласно данным строительных компаний и производителей оборудования, реконструкция 1 км ЛЭП с увеличением сечения провода для обеспечения чувствительности защиты и (или) обеспечения заданного качества электроэнергии обойдётся в 2-3 млн руб. Стоимость вольтодобавочных трансформаторов составляет 0,6-1 млн руб. за единицу в зависимости от мощности. Стоимость применяемых в последнее время накопителей электроэнергии для регулирования качества электроэнергии в сельских электрических сетях составляет 9-11 млн руб.

Наиболее проработанным вариантом устранения недопустимых отклонений напряжения является применение ВДТ в сетях 0,4 кВ и пунктов регулирования напряжения (ПРН) в сетях 6-10 кВ. Об этом свидетельствует и принятие в 2020 г. стандарта организации ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2.17-014.1-2020 [12].

Как ПРН, так и ВДТ позволяют в автоматическом режиме осуществлять регулирование напряжения за точкой установки устройств при изменении напряжения и тока в точке их установки. Это минимизирует отклонение напряжения у потребителей, подключенных за ВДТ или ПРН. Однако данные устройства являются дорогостоящими из-за наличия в них РПН. Вариантом сокращения

затрат является замена РПН на устройство переключения без возбуждения (ПБВ), позволяющее ступенчато в неавтоматическом режиме изменять напряжение в сети. В электрических сетях как 6-10, так и 0,4 кВ такое решение может быть совмещено со средствами секционирования сети в пунктах секционирования и ступенчатого регулирования напряжения (ПСРН).

Структурная схема ПСРН приведена на рис. 1 [13].

Секционирование сети осуществляется посредством отключения ВКЭ1 или ВыКЭ2 дистанционно по команде диспетчера сети или при возникновении аварийной ситуации, например, при коротком замыкании (КЗ) за ПСРН отключится ВыКЭ2, а при КЗ внутри ПСРН – ВКЭ1. Степень регулирования напряжения устанавливается с помощью ПБВ8. Автотрансформатор АТ7 осуществляет повышение или понижение напряжения в соответствии с установленной степенью регулирования. Контроль тока и напряжения с обеих сторон от ПСРН осуществляется с помощью соответственно ДТЗ, ДТ4, ДН5 и ДН6. Данные о положении ВКЭ1, ВыКЭ2, значения токов и напряжений передаются в БМУ9, в котором осуществляется их анализ. Результаты анализа могут передаваться с помощью УППД10 диспетчеру сети [13].

При необходимости изменения уставки ПБВ8 или проведения обслуживания и ремонта оборудования ПСРН осуществляется ручное отключение ВКЭ1 и ВыКЭ2, с помощью ПБВ8 устанавливается необходимая степень регулирования или производятся обслуживание, ремонт, после чего включается ВыКЭ2 и ВКЭ1. При этом нет необходимости отключать потребителей до ПСРН [13]. Применение ПСРН позволит повысить качество электроэнергии и надёжность электроснабжения за счёт отключения повреждённого участка сети за ПСРН и недопущения необоснованных перерывов в электроснабжении потребителей, подключённых до него. Выполненная предварительная оценка стоимости ПСРН – 250-300 тыс. руб.

Цель исследования – разработка методики выбора мест установки пунктов секционирования и ступенчатого регулирования напряжения на примере электрических сетей 0,4 кВ.

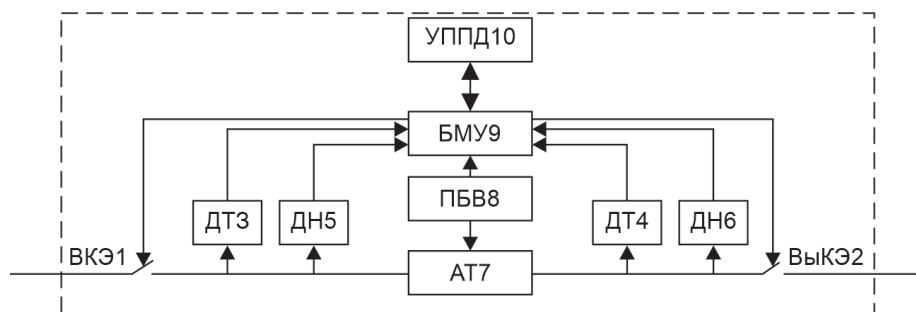


Рис. 1. Структурная схема пункта секционирования и ступенчатого регулирования напряжения (ПСРН): ВКЭ1 – вводный коммутационный элемент с возможностью дистанционного и ручного управления; ВыКЭ2 – выводной коммутационный элемент с возможностью дистанционного и ручного управления; ДТЗ, ДТ4 – датчики тока; ДН5, ДН6 – датчики напряжения; АТ7 – автотрансформатор; ПБВ8 – устройство переключения без возбуждения; БМУ9 – блок мониторинга и управления; УППД10 – устройство приёма и передачи данных [13]

Материалы и методы исследования

Применение ПСРН требует решения вопросов выбора места установки устройства и уставки ПБВ. В настоящей статье рассматривается выбор места установки. Он должен учитывать не только критерий чувствительности защиты к удалённым однофазным коротким замыканиям для устройств секционирования, но и критерий повышения качества поставляемой им энергии, в частности – не превышения допустимого или заданного отклонения напряжения.

Известны методы выбора места установки пунктов секционирования в электрических сетях 0,4 кВ [4]. Данные методы применимы и в случае ПСРН для учёта критерия обеспечения чувствительности защиты ЛЭП от удалённых однофазных коротких замыканий. Также известны методы выбора мест установки ПРН и ВДТ в расчётной точке сети по заданному отклонению напряжения, указанные в стандарте организации ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2.17-014.1-2020 и работе [12]. Они также являются прототипом для определения места установки ПСРН.

Результаты исследований и обсуждение

Методику выбора мест установки и уставок ПБВ ПСРН в сети 0,4 кВ можно проиллюстрировать на примере электрической сети, показанной на рис. 2, параметры которой приведены в таблице. Электрическая сеть содержит трансформаторную подстанцию (ТП) 10/0,4 кВ, пять участков воздушных линий электропередачи 0,4 кВ L1-L5, пять потребителей П1-П5.

Нагрузки потребителей, указанные в таблице, приняты с учётом постановления Правительства России от 27.12.2004 № 861, в котором указано, что мощность частного объекта составляет до 15 кВт, а также с учётом источника [14]. Коэффициенты мощности приняты по методическим указаниям [15].

Методика выбора заключается в следующем.

1. Определяется [4] максимально возможное расстояние от ТП до ПСРН $L_{чувЗКА}$, км, по критерию обеспечения чувствительности защитных аппаратов, установленных на ТП:

$$L_{чувЗКА} = \frac{\frac{U_{\phi}}{I_{усл.чув}} - \frac{Z_T}{3}}{\sqrt{R_{0\phi}^2 + 2 \cdot R_{0\phi} \cdot R_{0N} + R_{0N}^2 + 4X_{0m\phi N}^2}}, \quad (1)$$

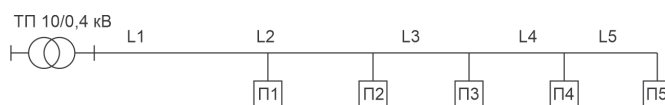


Рис. 2. Схема электрической сети

где $R_{0\phi}$ – удельное активное сопротивление фазного провода ЛЭП, Ом/км;

R_{0N} – удельное активное сопротивление нулевого провода, Ом/км;

$X_{0m\phi N}$ – удельное индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом/км;

Z_T – полное сопротивление трансформатора, Ом;

U_{ϕ} – фазное напряжение, В;

$I_{усл.чув}$ – ток по условию чувствительности, А [4].

Расчёт $L_{чувЗКА}$ для рассматриваемой сети выполнен с применением программного продукта «Расчёт параметров электрической сети 0,4 кВ». Результат расчёта: $L_{чувЗКА} = 0,42$ км.

2. Определяются потери напряжения на каждом участке ЛЭП, $\Delta U_{yчi}\%$, В:

$$\Delta U_{yчi} = \frac{S_i \cdot L_i}{U_n} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \quad (2)$$

где r_0 – активное сопротивление 1 км провода, Ом/км;

x_0 – индуктивное сопротивление 1 км провода, Ом/км;

S_i – полная мощность, протекающая по участку, кВА;

U_n – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi$, $\sin \varphi$ – коэффициенты активной и реактивной мощности.

Потери напряжения на участках сети определяются с учётом значений напряжения на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ и изменений нагрузки потребителей в соответствии с их графиками нагрузок. При преобладании однофазных нагрузок рационально определять отклонения напряжения для каждой фазы отдельно. При этом в расчётах используются фазные значения токов и напряжений, мощности. Например, для рассматриваемого примера графики нагрузки одного потребителя и общий показаны на рис. 3. Для построения графика нагрузки использовались данные источника [15].

Полученные значения потерь напряжения пересчитывают для получения значений потерь напряжения $\Delta U_{yчi}\%$:

$$\Delta U_{yчi}\% = \frac{\Delta U_{yчi}}{U_n} \cdot 100. \quad (3)$$

Параметры электрической сети

Параметр	ТП	L1	L2	L3	L4	L5	П1-П5
Тип	Однотрансформаторная, ТМГ-160	ВЛИ, СИП2 3×35+1×50	ВЛИ, СИП2 3×35+1×50	ВЛИ, СИП2 3×35+1×50	ВЛИ, СИП2 3×35+1×50	ВЛИ, СИП2 3×35+1×50	Частный жилой дом
Мощность P , кВт							12
$\cos \varphi$	-	-	-	-	-	-	0,96
Мощность S , кВА	160 кВА, Y/Y0	-	-	-	-	-	12,5
Длина L , км	-	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	-

3. С учётом рассчитанных значений определяют отклонения напряжения по участкам линии $\delta U_{учи\%}$, % и строят графики отклонения напряжения по длине линии.

$$\delta U_{учи\%} = \delta U_{шТП\%} - \sum \Delta U_{учи-n\%}, \quad (4)$$

где $\delta U_{шТП\%}$ – отклонение напряжения на шинах ТП, %;

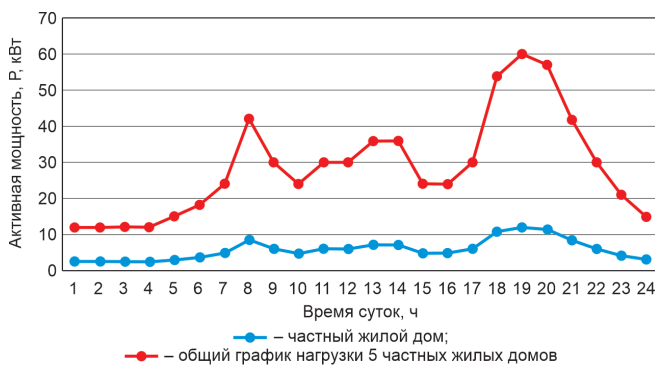


Рис. 3. Графики нагрузки рассматриваемой сети

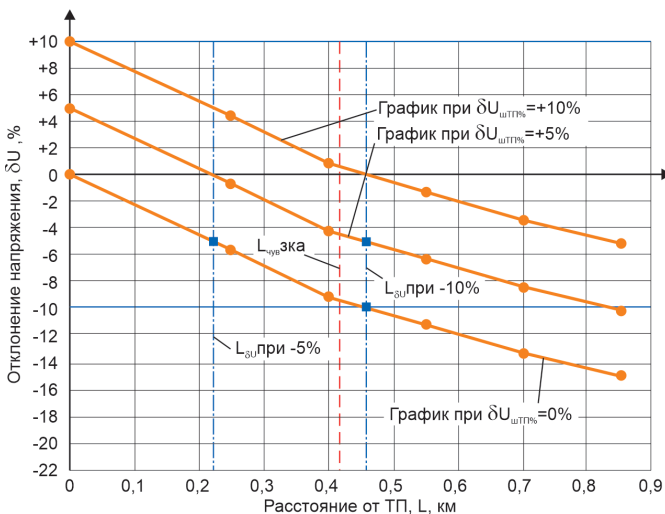


Рис. 4. Графики отклонений напряжения при максимальной нагрузке с указанием предельных расстояний размещения ПСРН

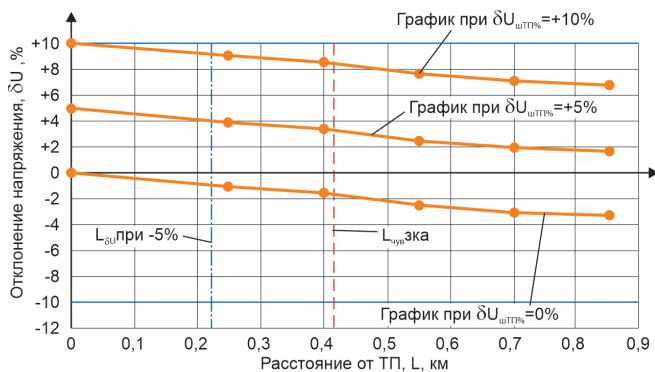


Рис. 5. Графики отклонений напряжения при минимальной нагрузке с указанием предельных расстояний размещения ПСРН

$\sum \Delta U_{учи-n\%}$ – сумма потерь напряжения участков линии, расположенных перед рассчитываемым со стороны ТП, %.

$$\delta U_{шТП\%} = \frac{U_{шТП}}{U_n} \cdot 100. \quad (5)$$

Необходимо строить графики отклонения напряжения на участках сети при возможных минимальных и максимальных значениях отклонения напряжения на шинах ТП, минимальных и максимальных нагрузках. Пример графиков для рассматриваемой сети при максимальных нагрузках и различных значениях $\delta U_{шТП\%}$ показан на рис. 4. Расчёты потерь и отклонения напряжения выполнялись с применением программного продукта «Расчёт параметров электрической сети 0,4 кВ» (свид. о рег. программы для ЭВМ № 2023611564).

Значения $\delta U_{шТП\%}$ равные 0, +5 и +10% соответственно приняты исходя из стандартного значения добавки трансформатора +5%, возможных уставок ПБВ трансформатора $\pm 2,5\%$, а также возможных отклонений напряжения, связанных с подключением ТП 10/0,4 кВ в начале или конце линии 10 кВ. Таким образом, задан диапазон возможных значений $\delta U_{шТП\%}$ от 0 до +10% со средним значением +5%.

Пример графиков для рассматриваемой сети при минимальных нагрузках (определены по графику нагрузки) и различных значениях $\delta U_{шТП\%}$ приведены на рис. 5. В режиме минимальных нагрузок отклонение напряжения у всех потребителей не выходит за допустимые значения $\pm 10\%$.

По графикам на рис. 4 (режим максимальных нагрузок) определяют точку максимально возможного расстояния от ТП до ПСРН по критерию допустимого отклонения напряжения $L_{\delta U}$, км. При $\delta U_{шТП\%} = 0\%$ данное расстояние составляет $L_{\delta U} = 0,51$ км. При $\delta U_{шТП\%} = 5\%$ $L_{\delta U} = 0,86$ км, при $\delta U_{шТП\%} = 10\%$ $L_{\delta U}$ превышает длину линии, т.е. отклонение напряжения у всех потребителей не выходит за допустимые значения $\pm 10\%$.

Аналитически $L_{\delta U}$ можно определить следующим образом. Вначале необходимо определить участок, на котором отклонение напряжения выходит за заданные пределы, например, -5% , или -10% . Для этого должно выполняться неравенство

$$|\delta U_{шТП\%} - \sum \Delta U_{учи-n\%}| \leq |\delta U_{дон}|, \quad (6)$$

где $\delta U_{дон}$ – допустимое отклонение напряжения, %.

Рассчитывается значение потери напряжения $\delta U_{шТП\%}$, %, до точки превышения допустимого отклонения $\delta U_{дон}$:

$$\Delta U_{учип\%} = |\delta U_{дон}| - |\delta U_{шТП\%} - \sum \Delta U_{учи-n\%}|. \quad (7)$$

Определяется значение потери напряжения $\Delta U_{учип}$, В, до точки превышения допустимого отклонения исходя из значения $\Delta U_{учип}$ и номинального напряжения U_n .

Расстояние от начала данного участка до точки превышения отклонения напряжения $L_{yчипр}$, км:

$$L_{yчипр} = \frac{\Delta U_{yчипр} \cdot U_n}{S_{yчипр} \cdot (r_{0yчипр} \cdot \cos \varphi_{yчипр} + x_{0yчипр} \cdot \sin \varphi_{yчипр})}, \quad (8)$$

где $r_{0yчипр}$ – активное сопротивление 1 км провода на участке, на котором отклонение напряжения выходит за заданные пределы, Ом/км;

$x_{0yчипр}$ – индуктивное сопротивление 1 км провода на участке, на котором отклонение напряжения выходит за заданные пределы, Ом/км;

$S_{yчипр}$ – полная мощность, протекающая по участку, на котором отклонение напряжения выходит за заданные пределы, кВА;

U_n – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi_{yчипр}$, $\sin \varphi_{yчипр}$ – коэффициенты активной и реактивной мощности на участке, на котором отклонение напряжения выходит за заданные пределы. Таким образом,

$$L_{\delta U} = L_{yчипр} + L_{yчипр}, \quad (9)$$

где $L_{yчипр}$ – суммарная протяжённость участков линии со стороны ТП, расположенных перед участком, на котором наблюдается превышение отклонения напряжения, км.

Далее, сравнивая значения $L_{yчипр}$ и $L_{\delta U}$, в качестве максимального расстояния от ТП до точки установки ПСРН принимается наименьшее из них. Поскольку критерий обеспечения чувствительности защитных аппаратов в рассмотренном примере даёт меньшее расстояние $L_{yчипр} = 0,42$ км по сравнению с $L_{\delta U}$, то $L_{yчипр}$ должно быть принято максимально допустимым расстоянием от ТП до точки установки ПСРН. В других случаях может быть ситуация, когда $L_{\delta U} < L_{yчипр}$, тогда $L_{\delta U}$ принимается в качестве максимально допустимого расстояния от ТП до ПСРН.

Выбор уставки ПБВ происходит с учетом критериев минимизации отклонения напряжения у потребителей и количества необходимых изменений уставки в течение года. При этом необходимо учитывать возможные изменения нагрузки потребителей, подключенных как до, так и после ПСРН, а также характеристики сети, в том числе сечение и марку провода, характеристики трансформатора, установленного на ТП. Это является предметом отдельного исследования и в настоящей работе не рассматривается.

Выводы

1. Применение пунктов секционирования и регулирования напряжения оправдано необходимостью повышения надёжности электроснабжения и качества электроэнергии в сельских электрических сетях.

2. ПСРН устанавливается в линии электропередачи на таком расстоянии от ТП, которое меньше минимального расчётного, определённого по критериям обеспечения

чувствительности защиты от удалённых однофазных коротких замыканий и обеспечения не превышения заданного или допустимого уровня отклонений напряжения.

3. Применение в ПСРН устройства ПБВ позволяет снизить затраты на мероприятия по повышению качества электроэнергии в 2-2,5 раза по сравнению с установкой вольтодобавочного трансформатора, в 7-10 раз – с реконструкцией ЛЭП.

Список использованных источников

1. **Виноградов А.В., Лансберг А.А., Сорокин Н.С.** Характеристика электросетевых компаний по количеству и протяженности линий электропередачи, мощности подстанций // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 2(47). С. 31-41. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-31-41. EDN DSUSOU.
2. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации : монограф. / А.В. Виноградова, А.А. Лансберг, А.В. Виноградов / Под ред. д-ра техн. наук А.В. Виноградова. Орёл: Картуш, 2023. 360 с.
3. **Лансберг А.А., Виноградов А.В.** Анализ протяженности и типов используемых проводов в распределительных электрических сетях 0,4-10 кВ ПАО «Россети Центр и Приволжье» // Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса : матер. II Всеросс. (нац.) науч.-практ. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2021. С. 351-355.
4. **Виноградов А.В.** Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации : монограф. Орёл: Картуш, 2022. 392 с.
5. **Carriyn D.; Garcna E.; Jaramillo M.; Gonzblez J.W.** A Novel Methodology for Optimal SVC Location Considering N-1 Contingencies and Reactive Power Flows Reconfiguration. Energies 2021, 14, 6652 [CrossRef].
6. **Bupasiri R.; Wattanapongsakorn N.; Hokierti J.; Coit D.** Optimal electric power distribution system reliability indices using binary programming. In Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Tampa, FL, USA, 27-30 January 2003; Pp. 556-561.
7. **Комолддинов С.С.У., Кодиров А.А.У., Ашуrow А.В.У., Тухтасинов С.Х.У.** Регулировка изменения напряжения в устройстве автокомпенсации (на примере одной фазы) // Universum: технические науки. 2022. № 5-9(98). С. 49-54.
8. **Волчков Ю.Д., Махиянова Н.В., Ермолов Д.Н., Локтионов А.Н.** Обоснование оптимальных вариантов реконструкции сетей 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 2(23). С. 66-72.
9. **Виноградов А.В., Бородин М.В., Лансберг А.А.** Анализ жалоб потребителей электрической энергии в электросетевых компаниях // Инновационные подходы образовательной деятельности в условиях цифровой трансформации отраслей АПК : матер. Всеросс. (нац.) науч. конф. Орел, 2022. С. 94-98.
10. **Голиков И.О.** Адаптивное автоматическое регулирование напряжения в сельских электрических сетях 0,38 кВ : монограф./ Голиков И.О., Виноградов А.В. Орел: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2017. 168 с.
11. Анализ работы и рекомендации по совершенствованию системы накопления электрической энергии, установ-

ленной в сельской электрической сети 0,4 кВ / А.А. Балабин, А.В. Виноградов, А.А. Лансберг // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 1. С. 72-79. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-72-79.

12. **Перинский Т.В.** Применение пунктов регулирования напряжения ПРН 10(6) кВ для обеспечения качества электроэнергии на предприятиях агропромышленного комплекса // Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 4 (33). С. 37-41.

13. Патент № 2778135 Российская Федерация, МПК H02J 13/00, H02B 13/00. Пункт секционирования и ступенчатого регулирования напряжения в электрической сети / Виноградов А.В., Голиков И.О., Перинский Т.В., Виноградова А.В. // Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Заявка 2022109246, заяв. 07.04.2022, опубл. 15.08.2022, Бюл. № 23.

14. Проектирование систем сельского электроснабжения: учеб. пособ. / Л.П. Костюченко; 3-е изд., испр. и доп. Красноярск: Красноярский ГАУ. 2016. 264 с.

15. РД 34.20.178 Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200060669?ysclid=levakgr4jl415794447> (дата обращения: 05.03.2023).

Methodology for Selecting Locations for Installation of Sectioning Points and Step-by-step Voltage Regulation

A.V. Vinogradov, A.V. Vinogradova

(FGBNU FNATS VIM)

I.O. Golikov

(FGBOU VO "Orlovsky State Agrarian University")

A.A. Lansberg

(FGBNU FNATS VIM)

Summary: Information about the reliability of electricity supply to rural consumers and the quality of electricity supplied to them is given. A point for sectioning and stepped voltage regulation has been developed, which makes it possible to prevent unreasonable interruptions in the power supply to rural consumers and provides a given voltage level for the consumers at a distance from the power supply source. A technique has been developed for choosing the location for installing a sectioning point and step-by-step voltage regulation according to various criteria.

Key words: power supply, power quality, reliability of power supply, sectioning of electrical networks, voltage regulation.

ДЕНЬ Калужского поля

20 ИЮНЯ 2023

ВЫСТАВКА – ДЕМОНСТРАЦИЯ ПЕРЕДОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ РАСТЕНИЕВОДСТВА



Перемышльский район,
п/о Опытная с/х станция

РЕГИСТРАЦИЯ agroexpo40.ru







Выставка сельско-
хозяйственной техники

Демонстрация
техники в работе

Конкурс
«Лучший по профессии»

Розыгрыш
призов

Концертная
программа

Организаторы







Генеральный спонсор

РОСТСЕЛЬМАШ

Официальный спонсор

TRADING CENTR

ТЕХНИКА ЗАПЧАСТИ СЕРВИС

Партнёры

KOBLIK GROUP

TRADING DETAL

ТЕХНИКА ЗАПЧАСТИ СЕРВИС

БРЯНСКАГРОТЕХ

Официальный поставщик удобрений

ФОСАГРО

ОРЕЛ

Реклама

6+

Методические аспекты технико-экономической оценки систем сельского электроснабжения

В.Т. Водяников,

д-р экон. наук, проф.,

vvt-5210@yandex.ru

С.В. Столяров,

аспирант,

stolyarov.stanislav95@yandex.ru

И.А. Анохин,

магистрант,

anokhinia@mail.ru

(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева»)

Аннотация. Рассмотрены вопросы сельского электроснабжения и значимости локальных систем обеспечения электроэнергией аграрного производства. Предложена система показателей для комплексной технико-экономической оценки эффективности применения различных вариантов электроснабжения, учитывающая особенности экономической оценки применения биоэнергетических установок в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: системы электроснабжения, биоэнергетические установки, аварийные отключения, материальный ущерб, экономическая оценка.

Постановка проблемы

Во всех ведущих странах мира нарастает выработка электрической и тепловой энергии на базе нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Применение солнечной, ветровой, геотермальной энергии, энергии биомассы, моря, малых рек, бытовых отходов, отходов сельскохозяйственного производства объясняется непрерывным удорожанием и истощением запасов нефти, газа, угля. По этой причине развиваются децентрализованные системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, в

которые привлекаются значительные инвестиции.

Система централизованного электроснабжения сельского хозяйства – составная часть единой энергосистемы страны, характер формирования и функционирования которой, в отличие от систем электроснабжения промышленности, в значительной степени обусловлен спецификой сельскохозяйственного производства (наличие множества потребителей малой электрической мощности, рассредоточенность объектов на огромной территории, сезонность и др.). В настоящее время более 90% потребляемой сельским хозяйством электроэнергии вырабатывают электростанции различных типов посредством электрических и тепловых сетей, объединенных единым режимом в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электроэнергии.

Большая разветвленность и протяженность магистральных распределительных линий электропередачи – особенность сельских электросетей. Это связано с ограниченностью центров электропитания и необходимостью подачи электроэнергии к каждому населенному пункту, т.е. требуется осуществлять электроснабжение большого числа относительно маломощных электропотребителей, рассредоточенных по территории страны. Во всех случаях необходимо обеспечить качественное электроснабжение, которое подразумевает совокупность таких характеристик, при которых электроприемники (электроустановки, электрифицированные машины и т.д.) способны экономически эффективно выполнять заложенные в них функции. Однако сельские линии электропередачи и трансформаторные под-

станции 10(6)/0,4 кВ, эксплуатируемые за пределами амортизационных сроков службы, до 70% воздушных линий электропередачи 0,4 кВ и около 60% напряжением 6-10 кВ имеют износ 100%. Их следует вывести из эксплуатации либо реконструировать (необходимы разработка и реализация целевой Программы по передаче эксплуатирующим организациям и восстановлению бесхозных сельских электрических сетей). Как следствие, частые перебои в электроснабжении сельских потребителей, отклонение напряжения составляет 10-20%, что значительно превышает норму, установленную ГОСТ 32144-2013 ($\pm 10\%$), потери электроэнергии в сельских электросетях достигают 30-35% при норме 5-7% [1]. Кроме того, оценка качества электроснабжения предполагает учет не только технических показателей, но и экономических: расходы на передачу электроэнергии от электростанций к потребителю. Требование экономичности должно обеспечиваться при выполнении нормируемых технических требований.

Экономичность – величина обобщающая, отображающая требования, с одной стороны, к обоснованной надежности электроснабжения и обеспечения нормативных показателей качества электроэнергии, а с другой, – к условиям обеспечения большей эффективности. Эти факторы в конечном счете оказывают решающее влияние на экономическую эффективность работы средств электрификации сельскохозяйственного производства, поэтому вместе с надежностью электроснабжения необходимо обеспечивать повышение качества и экономичности работы как централизованных, так и локальных систем энергоснабжения сельскохозяйственных электропотребителей.

Основные показатели экономичности работы систем электроснабжения – уровень потерь электроэнергии в электросетях, количество и продолжительность отказов в работе элементов системы электроснабжения. Поэтому в современных условиях, когда реализуются автоматизация и цифровизация производства, надежность электроснабжения во многом определяет эффективность работы сельскохозяйственных предприятий.

Аварийные отключения и отказы элементов системы электроснабжения наносят наибольший материальный ущерб сельским потребителям. При этом в качестве показателей, характеризующих надежность электроснабжения, используют количество и длительность аварийных перерывов в электроснабжении потребителей, а также объем недоотпуска электроэнергии [1, 6]. Система электроснабжения сельских районов в современных условиях призвана обеспечить высокую надежность электроснабжения сельского хозяйства в соответствии с требованиями ГОСТ на качество электроэнергии, а также бесперебойную подачу электроэнергии с целью достижения заданных показателей экономической эффективности средств электрификации, автоматизации и цифровизации аграрного производства [1].

Техническое переоснащение АПК предусматривает увеличение потребления электроэнергии. Проблема энергоснабжения села обостряется, полное покрытие энергопотребления потребует не только централизованного энергообеспечения, но и экономически обоснованного привлечения мощности местных энергоисточников, что актуально и потому, что в ходе экономических реформ накопились проблемы в энергоснабжении села, которые до 1990 г. решались зачастую неэкономическими методами [1, 6].

Цель исследования – на основе выявленных современных проблем развития сельской электрификации и обобщения методических материалов по экономической оценке технических средств предложить методику технико-экономической оценки систем сельского электроснабжения.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования использовался аналитический подход к оценке современного состояния и направлений развития систем сельского электроснабжения, применены методологические основы к технико-экономической оценке реальных источников электроэнергии сельскохозяйственных потребителей. В качестве исходных материалов приняты результаты обследования сельских электросетей 10-0,4 кВ и обобщения методических подходов к технико-экономической оценке систем электроснабжения сельского хозяйства [1, 2, 4, 7].

Для модернизации и замены путем строительства новых систем электроснабжения сельского хозяйства требуются значительные ресурсы. Учитывая особенности локальных энергосистем, в современных условиях есть возможность выбора надежного источника электроснабжения. Тем более эффективность электроснабжения повышается при сочетании электроснабжения от мощной энергосистемы с локальными источниками энергии. Однако их применение должно быть экономически обосновано с помощью соответствующего критерия выбора экономически целесообразной системы электроснабжения [2, 4]. В качестве такого критерия может быть предлагаемое условие:

$$\mathcal{E}_k = \sum_{r=1}^R (C_{rk} - C_{Zrk}) \cdot \frac{1}{(1+D)^r} \rightarrow \max,$$

где $\mathcal{E}_k$ – экономический эффект за расчетный период R ;

R – горизонт расчета, годы;

C_{rk} – денежная оценка в году r результатов применения k -й системы электроснабжения (базовая или существующая), руб.;

C_{Zrk} – стоимостная оценка в году r затрат варианта системы на внедрение k -й системы электроснабжения, руб.;

D – норма дисконта.

Если требуется из нескольких возможных вариантов источников электроснабжения потребителей

выбрать наиболее экономически эффективное техническое решение, следует обратиться к другому критерию [2]:

$$\mathcal{Z}_{Tk} = \frac{K_k}{V_e} \cdot E_H + C_{Pk} + \frac{U_{ek}}{V_e} \rightarrow \min,$$

где $\mathcal{Z}_{Tk}$ – удельные приведенные (совокупные) затраты, руб./кВт·ч;

K_k – капиталовложения в k -й вариант системы электроснабжения, руб.;

V_e – объем потребления электроэнергии потребителями (полезный отпуск электроэнергии), кВт·ч;

C_{Pk} – полная себестоимость электроэнергии от k -го источника электроснабжения, руб./кВт·ч;

U_{ek} – материальный ущерб от перерывов в электроснабжении от k -го источника, руб.

Результаты исследований и обсуждение

В качестве примера рассмотрены три варианта электроснабжения: первый – сетевое от энергосистемы; второй – от дизельной электростанции; третий – от газопоршневой установки. Размер требуемых капитальных вложений по вариантам, издержки на производство и передачу электроэнергии и технико-экономические показатели представлены в таблице.

Технико-экономические показатели (см. таблицу) показывают, что наиболее экономичным является третий вариант.

Для выявления экономического ущерба от перерывов в электроснабжении используют метод расчета на основе ожидаемого удельного технологического ущерба. В этом случае экономический ущерб от перерыва в электроснабжении рассчитывается по формуле

$$U_e = \sum_{j=1}^z V_p \cdot u_{yj} \cdot r_{pk},$$

где r_{pk} – суммарное время простоя технологического оборудования из-за перерывов в электроснабжении по k -му процессу за год, ч;

u_{yj} – вероятностная удельная величина технологического ущерба по k -му технологическому процессу, руб./голову в час;

Экономическая оценка вариантов источников электроснабжения

Показатели	Вариант		
	первый	второй	третий
Объем потребления электроэнергии, кВт·ч	554 800		
Капитальные вложения, тыс. руб.	6870	4128	7678
Капиталоемкость электроснабжения, руб/кВт·ч	12,39	7,44	13,84
Вероятностный ущерб от перерывов в электроснабжении, тыс. руб.	687	855,8	287
Издержки на производство и передачу электроэнергии, тыс. руб.	3240	3817	2057,2
Себестоимость электроэнергии, руб/кВт·ч	5,84	6,88	3,71
Приведенные затраты с учетом ущерба, руб/кВт·ч	7,08	8,42	4,23
К третьему варианту, %	167,4	199,1	100

z – число технологических процессов производства;

V_p – размеры сельскохозяйственного производства (поголовье скота, птицы, площадь теплиц и т.д.).

Заключительная экономическая оценка эффективности применения новой (локальной, комбинированной) системы электроснабжения сельских объектов осуществляется путем сопоставления предлагаемого варианта с существующей системой [2-4]. Всеобъемлющая экономическая оценка обеспечивается расчетом следующей системы показателей.

1. *Технико-экономические показатели:*

● металлоемкость электроснабжения:

$$M_{Eb} = \frac{O_{Mb}}{V_e}; M_{Ep} = \frac{O_{Mp}}{V_e},$$

где O_{Mb} и O_{Mp} – соответственно объем металла в системах электроснабжения в базовом и внедряемом вариантах, кг;

V_e – потребление электроэнергии сельскохозяйственным объектом, кВт·ч;

● коэффициент полезного действия системы электроснабжения (по проектному и базовому варианту):

$$\eta_E = \left(1 - \frac{\Delta V_{Pb} + \Delta V_{Sb}}{V_{PE}}\right) \cdot 100,$$

где ΔV_{Sb} , ΔV_{Pb} – соответственно расход электроэнергии на нужды энергосистемы и потери электроэнергии в электросетях, кВт·ч;

V_{PE} – общий объем электроэнергии, произведенной электростанцией, кВт·ч;

● коэффициент технической надежности системы электроснабжения

$$k_N = \frac{t_B}{t_B + t_O} < 1,$$

где t_B – время работы системы электроснабжения в безотказном режиме, ч;

t_O – затраты времени на ликвидацию аварийных случаев в системе электроснабжения, ч.

2. *Показатели эффективности текущих затрат:*

● уровень снижения себестоимости электроэнергии:

$$U_{CS} = \frac{S_b - S_p}{S_b} \cdot 100.$$

где S_b и S_p – соответственно, себестоимость 1кВт·ч электроэнергии в базовом и внедряемом вариантах, руб/кВт·ч;

● годовая прибыль:

$$P_G = (T_E - S_p) \cdot V_E,$$

где T_E – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

● коммерческий экономический эффект:

$$E_{FH} = [(T_E - S_{Pp}) - (T_E - S_{Pb})] \cdot V_E = (S_{Pb} - S_{Pp}) \cdot V_E = P_{Gp} - P_{Gb}.$$

3. *Показатели экономической эффективности капиталовложений:*

● капиталоемкость подачи электроэнергии:

$$K_E = \frac{K}{V_E};$$

● срок окупаемости капитальных вложений в систему электроснабжения:

$$T_{OK} = \frac{K_p}{E_{FH}};$$

● коэффициент экономической эффективности капитальных вложений в систему электроснабжения:

$$E_f = \frac{E_{FH}}{K_p} = \frac{1}{T_{OK}} \geq E_H;$$

● экономический эффект за расчетный период:

$$\mathcal{E}_{\Phi T} = \frac{(3y_6 - 3y_n) \cdot Q_a + \Delta Y_a}{E_H + R_t},$$

$$E_{FT} = \frac{(Z_{Ub} - Z_{Up}) \cdot V_E + \Delta U_E}{E_H + N_R},$$

где Z_{Ub} , Z_{Up} – удельные приведенные затраты в базовом и внедряемом вариантах, руб/кВт·ч;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

N_R – норма реновации с учетом временного фактора;

● снижение материального ущерба от перерывов в электроснабжении:

$$\Delta U_E = U_{Eb} - U_{Ep},$$

где U_{Eb} , U_{Ep} – величина материального ущерба от перерывов в электроснабжении в базовом и внедряемом вариантах, руб.;

● среднегодовой экономический эффект:

$$E_f^{sr} = \frac{E_{FT}}{T_p},$$

где T_p – расчетный период, годы.

В децентрализованных системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей используются и биоэнергетические установки, что необходимо экономически обосновать и оценить. Если рассматривать эти установки лишь с энергетических позиций – как источники получения альтернативного энергоносителя – биогаза, то стоимость топлива будет довольно высокой. При такой односторонней оценке данные установки окажутся нерентабельными, а предлагаемые на их основе инвестиционные проекты – неэффективными [2].

Целесообразно эколого-экономическую эффективность реализации технологии производства биогаза из отходов аграрного производства оценивать, с одной стороны, как топливо – по стоимости конкретных вытесняемых топливно-энергетических ресурсов и использования шлама, в стоимостном виде замещающего минеральное удобрение. С другой, – экологическая составляющая эффекта будет складываться из природоохранного эффекта от снижения химического и бактериального загрязнения почвы и воды. Кроме того, из-за снижения выбросов в атмосферу при замещении традиционных топливно-энергетических ресурсов биогазом уменьшится и загрязнение воздуха.

Для децентрализованного электроснабжения в настоящее время привлекаются и газопоршневые установки, преимущество которых – относительно небольшие мощности и простота монтажа в отдаленных районах страны. Представляет определенный интерес методический подход к определению энергоэффективности газопоршневой установки. С этой целью на рисунке представлена расчетная схема энергоэффективности газопоршневой установки.

Коэффициент полезного действия установки можно определить как

$$\eta_{ГПУ} = \frac{W_{СГ} \cdot W_{ТО}}{W_{подв.}} = \eta_{ГПД} \cdot \eta_{СГ} \cdot \eta_{ТО},$$

где $W_{подв.}$ – подведенная энергия; $W_{СГ}$ – энергия, полученная с помощью синхронного генератора;

$W_{ТО}$ – энергия газопоршневого двигателя, которая снимается с его рубашки и передается через теплообменники, а также энергия выхлопных газов, которые также через теплообменники передают тепло.

КПД теплообменника рассчитывается по формуле

$$\eta_{ТО} = \frac{W_{ТО}}{A},$$

где A – тепловая энергия, которая снимается с рубашки газопоршневого двигателя, и тепловая энергия выхлопных газов.

КПД синхронного генератора (см. рисунок) рассчитывается по формуле

$$\eta_{СГ} = \frac{W_{СГ}}{W_{ГПД}},$$

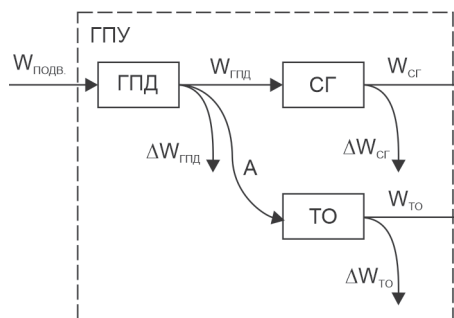
КПД газопоршневого двигателя рассчитывается по формуле

$$\eta_{ГПД} = \frac{W_{ГПД} \cdot A}{W_{подв.}},$$

Потери в газопоршневой установке равны

$$\Delta W_{ГПУ} = W_{подв.} (1 - \eta_{ГПУ}).$$

Таким образом, полученный КПД имеет более высокое значение за счет когенерационного режима работы газопоршневой установки, что делает ее наиболее приемлемой при децентрализованном электроснабжении.



Расчетная схема энергоэффективности газопоршневой установки:

ГПД – газопоршневой двигатель;

СГ – синхронный генератор;

ТО – теплообменник;

$\Delta W_{ГПД}$ – потери в газопоршневом двигателе;

$\Delta W_{СГ}$ – потери в синхронном генераторе;

$\Delta W_{ТО}$ – потери в теплообменнике;

A – тепловая энергия, которая снимается с рубашки газопоршневого двигателя, и тепловая энергия выхлопных газов

Выводы

1. На современном этапе требуется обеспечить качественное электроснабжение, которое подразумевает надежность подачи качественной электроэнергии. В связи с тем, что сельские электрические сети 10(6)/0,4 кВ имеют высокий уровень износа (до 70% воздушных линий электропередачи 0,4 кВ и около 60% напряжением 6-10 кВ имеют износ 100%) встает закономерный вопрос о путях развития сельской электрификации, экономической оценки и обоснования наиболее эффективной системы сельского электроснабжения.

2. В ходе исследования проанализированы существующие методические подходы к проблеме экономической оценки систем электроснабжения, предложены способ оценки вариантов электрообеспечения и система технико-экономических показателей, позволяющая комплексно и всесторонне подойти к определению экономической эффективности реализации той или иной системы электроснабжения.

3. Согласно проведенным исследованиям, ключевым показателем сравнительной экономической эффективности является минимум приведенных затрат или максимум экономического эффекта в расчете на 1 кВт·ч электроэнергии.

Список использованных источников

1. Водяников В.Т. Техничко-экономическая оценка современного состояния сельской электрификации // Агроинженерия. 2020. № 2. С. 46-50.

2. Водяников В.Т. Научно-технический прогресс и проблемы экономической оценки технических средств производства // Экономика сел. хоз-ва России. 2019. № 3. С. 30-36.

3. Водяников В.Т., Субаева А.К., Александрова Н.Р., Эдер А.В. Цифровая трансформация агробизнеса: состояние, факторы и направления развития : монограф. / Под ред. В.Т. Водяникова. Казань: ООО «45», 2023. 264 с.

4. Драгайцев В.И. О методике экономической оценки сельскохозяйственной

техники // С.-х. машины и технологии. 2013. № 3. С. 15-19.

5. «Зеленая агроэкономика»: монограф. / А.И. Алтухов и др.; под ред. Б.Н. Порфирьева. М.: РГАУ-МСХА, 2013. 248 с.

6. Медянцев А.В., Кряклина И.В. Экономическая эффективность использования ветроэнергетических установок для электроснабжения дома фермера // Вестник ВИЭСХ. 2012. № 4 (9). С. 23-26.

7. Шахов А.В. Эколого-экономические основы преобразования энергии отходов аграрного производства // Вестник ФГБОУ ВО МГАУ. 2020. № 5. С. 82-86.

Methodological Aspects of the Technical and Economic Assessment of Rural Power Supply Systems

V.T. Vodiannikov,
S.V. Stolyarov,
I.A. Anokhin
(FGBOU VO "RGAU-MSHA
named after
K.A. Timiryazev")

Summary: The issues of rural power supply and the importance of local systems for providing agricultural production with electricity are considered. A system of indicators for a comprehensive technical and economic assessment of the effectiveness of the use of various power supply options is proposed, taking into account the features of the economic assessment of the use of bioenergy plants in agriculture.

Key words: power supply systems, bioenergy installations, emergency shutdowns, material damage, economic evaluation.

РЕКЛАМА
VII ЕЖЕГОДНАЯ ПОЛЕВАЯ ВЫСТАВКА-ДЕМОНСТРАЦИЯ

0+
20 га – площадь экспозиции

8-9 июня 2023

ДЕНЬ ДОНСКОГО ПОЛЯ

DON-POLE.RU



ОДИН ИЗ
КРУПНЕЙШИХ ПРОЕКТОВ
НА ЮГЕ РОССИИ!

Продemonстрируйте
свои преимущества
и новые технологии
непосредственно
в полевых условиях!

50

ДЕМПОКАЗОВ
ВСЕГО ЦИКЛА
С/Х РАБОТ

120

БРЕНДОВ
АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ
ПРОДУКЦИИ

200

ЕДИНИЦ С/Х
ТЕХНИКИ

6 500+

ПОСЕТИТЕЛЕЙ



РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ КАК УЧАСТНИК
И ПОДАВАЙТЕ ЗАЯВКУ УЖЕ СЕЙЧАС!

ОРГАНИЗАТОР:



Ростовская область,
Зерноградский район,
п. Экспериментальный

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР:

РОСТСЕЛЬМАШ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР:

Альтаир

ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

268-77-94

УДК 631.115.8

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-5-43-48

Новые направления развития сельскохозяйственной кооперации

Е.В. Худякова,д-р экон. наук, проф.,
khud.elena2017@yandex.ru**М.С. Никаноров,**ст. преподаватель,
nikanorov@rgau-msha.ru(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»);**А.П. Королькова,**

канд. экон. наук,

вед. науч. сотр.

(ФГБНУ «Росинформагротех»);

М.Н. Степанцевич,

канд. экон. наук, доц.,

stepancevich@rgau-msha.ru

(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева»)

до 50 %, улучшению качества выполнения работ за счет соблюдения сроков и технологических нормативов, сокращению непрофильного персонала на местах, структурированию информационных потоков, прозрачности производственных процессов, более гибкой и быстрой реакции руководителя на происходящее.

За последние годы цифровые технологии эволюционировали, стали намного доступнее по стоимости их приобретения и внедрения. Они по-

зволяют получать данные о каждом сельскохозяйственном объекте и его окружении, математически точно рассчитывать алгоритм действий и предсказывать результат [2].

Крупные сельхозорганизации, ориентированные на инновационное развитие производства, широко внедряют цифровые технологии. В то время как для малых и средних предприятий, не располагающих достаточными финансовыми ресурсами, не все эти технологии доступны (табл. 1).

Таблица 1. Цифровые технологии в сельскохозяйственных организациях различного типа (размера)

Цифровые технологии	Сельхозорганизации		
	крупные	средние	малые
Растениеводство			
Метеостанции с цифровым оборудованием	+	+	
Системы картирования урожайности и дифференцированного внесения удобрений	+	+	+
Навигационные системы для сельхозтехники (система параллельного вождения и ночного видения)	+	+	+
Система мониторинга техники	+	+	
Электронная карта полей и садов	+	+	
Система высокоточного агрохимического обследования полей	+		
Цифровые почвенные пробоотборники управляются с мобильного или стационарного пункта контроля с помощью навигационной системы GPS /GLONASS	+	+	
Лаборатории для цифрового анализа почв и продукции	+	+	+
Животноводство			
Системы управления «умной» фермой	+		+
Технология автоматического выпаивания телят (кормовые станции с настраиваемыми программами вскармливания)	+	+	
Система искусственного интеллекта (ИИ) для молочных хозяйств	+		
Система измерения половой активности скота с беспроводной передачей данных в реальном времени		+	+
Автоматическая система определения упитанности скота		+	+
Система контроля качества молока		+	+
Система мониторинга активности и руминации (длительность жевания жвачки) коров (SCR)		+	
Счетчики молока с возможностью контроля наличия следов крови и измерения электропроводности		+	

Источник: [3].

Аннотация. Представлены направления использования цифровых технологий в хозяйствах разных размеров и их экономическая эффективность. Обоснованы создание цифрового сельскохозяйственного потребительского кооператива для малых и средних предприятий и организационно-экономический механизм его функционирования, дана оценка эффективности деятельности кооператива на примере отдельных хозяйств-участников.

Ключевые слова: сельскохозяйственная потребительская кооперация, цифровые технологии, цифровой сельскохозяйственный кооператив, малые предприятия.

Постановка проблемы

Развитие цифровых технологий, повышающих эффективность и конкурентоспособность производства, является одной из главных задач ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство» [1]. Его реализация позволит увеличить производительность труда в сельском хозяйстве к 2024 г. в 2 раза. Практика применения цифровых технологий приводит к росту рентабельности до 20 %, сокращению расходов ГСМ

Решением данной задачи может стать создание потребительского кооператива. Сельскохозяйственные потребительские кооперативы представляют собой универсальный механизм для реализации различных мероприятий, направленных на развитие сельскохозяйственного производства. Механизм объединения ресурсов (паев) для решения труднореализуемых задач одним каким-либо предприятием может быть использован для решения задач цифровой трансформации сельскохозяйственного производства. Изучение потребности в финансовых ресурсах и возможностей малого и среднего агробизнеса позволило предложить использовать для осуществления цифровой трансформации небольших хозяйств кооперативные формирования [2]. Авторами исследования поставлена задача: выявить возможности и обосновать применение цифровых технологий в растениеводстве при условии кооперирования малых и средних форм хозяйствования.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнялись на основе данных Росстата, нормативно-правовых документов, справочных материалов, разработок отечественных и зарубежных ученых и личных наблюдений авторов. При исследовании применены основные положения системного анализа и комплексной оценки цифровых технологий в отраслях сельского хозяйства. Разработаны и использованы методические подходы к созданию цифрового потребительского кооператива на примере кооперации отдельных хозяйств.

Результаты исследований и обсуждение

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве используется множество цифровых технологий: SCADA – система управления производственными процессами; MES – диспетчерское управление и сбор данных в реальном времени об объекте мониторинга с последующей архивацией и подготовкой

ретроспективного отчета и анализа; ERP – управление внутренними ресурсами и внешними связями организации; BI – технологии для сбора, анализа, визуализации и обработки данных о состоянии бизнеса [4, 5]. Они реализуются с помощью технологий беспроводной связи, сенсорики, интернета вещей, искусственного интеллекта, больших данных. Эти технологии предлагают на рынке множество компаний (табл. 2).

В настоящее время сельскохозяйственные предприятия инвестируют в основном в отечественные цифровые платформы Cropio, ExactFarming, Агроноут, ИнтТерра, АНТ, Диджитал Агро (Агросигнал). Стоимость этих цифровых платформ колеблется около 50 руб./га в год.

Внедрение цифровых технологий в основном требует значительных объемов инвестиций. Так, например, стоимость системы ГЛОНАС на один трактор/комбайн составляет около 600 тыс. руб. при наличии интернета на территории, трактора с системой автономного вождения –

10 млн руб., шлейфа сельхозмашин к нему – примерно столько же. Зачастую собственных средств для внедрения цифровых инноваций недостаточно. Государственная поддержка их внедрения осуществляется в рамках технологической поддержки (без выделения финансов). Средние по уровню доходности сельскохозяйственные предприятия не могут получить заемные средства в силу отсутствия залоговой базы и высокой рискованности ведения хозяйства, поэтому одним из механизмов внедрения цифровых технологий на основе объединения финансовых и материально-технических средств может стать создание сельскохозяйственного потребительского кооператива [6, 7]

В соответствии со ст. 4 ФЗ РФ № 183 «О сельскохозяйственной кооперации» «Потребительские кооперативы ... подразделяются на перерабатывающие, сбытовые (торговые), обслуживающие, снабженческие, растениеводческие, животноводческие и иные кооперативы...» [8].

Таблица 2. Цифровые технологии основных процессов в растениеводстве и животноводстве

Цифровая технология	Производитель
Растениеводство	
Параллельное вождение	АвтоГраф, Amazon, Claas, Raven, АгроШтурман, АгроНавигация, Trimble
Дифференцированный посев	Cognitive Agro Pilot, АвтоГраф, АгроШтурман, Cropio, Amazon, Field-IQ (Trimble), John Deere
Дифференцированное орошение	ООО «Адаптивные инновационно-интеллектуальные технологии»
Дифференцированное опрыскивание сорняков	Trimble, AMATRON (Amazn), Cropio
Дифференцированное внесение удобрений	Agrofly, WeedSeeker (Trimble)
Дифференцированная обработка почвы по почвенным картам	АНТ, Геоскан, АгроДронГрупп, ГлоНАШ, ГЕОМИР
Измерение содержания хлорофилла в сельхозкультурах перед уборкой урожая	АНТ, ГЕОМИР, ЦентрПрограммСистем, Панорама
Параллельное вождение	АвтоГраф, АгроШтурман, АгроНавигация, Trimble, Amazon, Claas, Raven
Животноводство	
Управление стадом	Alta, Delaval, GEA и др.
Кормление животных	КОПАЛЛ, Delaval, GEA, SAC
Доение	Delaval, GEA, SAC, Lely
Первичная обработка молока	GEA, SAC, Lely

Источник: [2].

Иные функции могут предполагать как объединение финансовых ресурсов для внедрения цифровых инноваций, так и предоставление специфических, цифровых услуг сельхозтоваропроизводителям. В таком случае может быть создан цифровой СПоК (далее – ЦСПоК), который будет оказывать следующие виды услуг:

- контроль метеоусловий, состояния посевов, применения средств химической защиты растений;
- проверка состава и качества почвы;
- автоматизация работы транспорта (транспортная телематика);
- использование БПЛА, спутниковых данных для составления карт неоднородности полей;
- предоставление техники с цифровым оборудованием в пользование;
- разработка прогнозных моделей на основе данных, собранных с полей участников кооператива.

Экономическая основа функционирования цифрового кооператива соответствует организационно-экономическому механизму деятельности потребительского кооператива (рис. 1) [9].

Использование программного обеспечения на кооперативной основе обладает рядом особенностей, обусловленных его виртуальным характером, накладывающим отпечаток на организационную структуру кооператива и экономические взаимоотношения его пайщиков – сельхозорганизации. В частности, организационная структура ЦСПоК будет отличаться от традиционной наличием ИТ-отдела (рис. 2).

Функции ИТ-отдела ЦСПоК следующие:

- анализ рынка цифровой техники и технологий;
- организация закупки цифрового оборудования, организация поставки услуг по системам цифрового мониторинга;
- обслуживание цифрового оборудования, находящегося в кооперативе и у пайщиков;
- организация системы управления информационной безопасностью

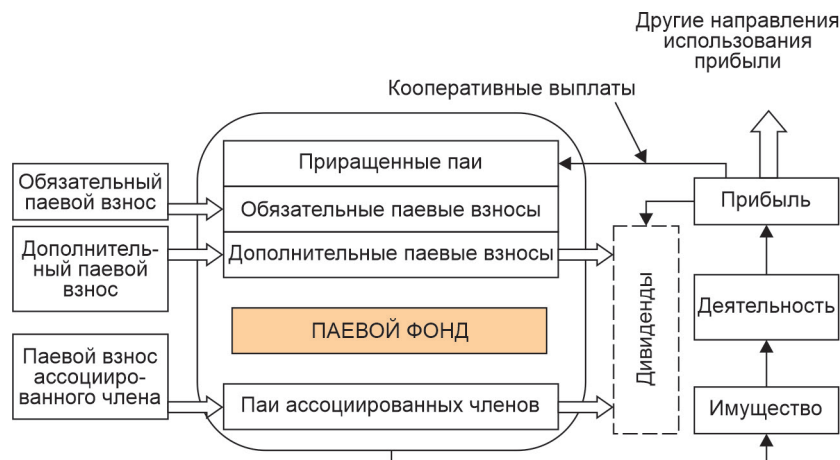


Рис. 1. Экономический механизм функционирования сельскохозяйственного потребительского кооператива

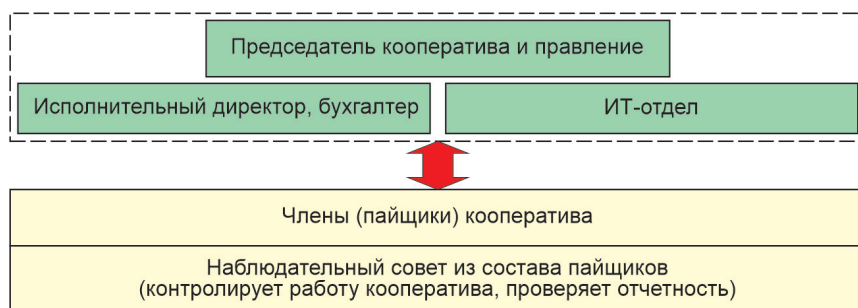


Рис. 2. Организационная структура ЦСПоК

цифрового сельскохозяйственного кооператива (СУИБ ЦСПоК).

Также организация ЦСПоК предполагает создание распределенной информационной системы общего пользования, посредством которой обеспечивается возможность совместного доступа к информационным системам, программному обеспечению и датасетам. Это определяет необходимость создания системы управления информационной безопасностью ЦСПоК (СУИБ ЦК), регламентируемой согласно политике информационной безопасности правилами, процедурами, рабочими инструкциями, которые являются обязательными для всех работников организаций цифрового кооператива.

Основополагающими параметрами, определяющими состав средств СУИБ ЦК, являются результаты проведения комплексной оценки рисков информационной безопасности как для организаций – отдельных участников ЦСПоК, так и распределенной

информационной системы общего пользования.

В целях создания взаимосвязанной структуры нормативных документов учреждения в области обеспечения информационной безопасности разрабатываемые и обновляемые нормативные документы должны соответствовать иерархии, представленной на рис. 3.

Организационно-экономический механизм ЦСПоК может быть применен для внедрения дорогостоящих цифровых инноваций в сельскохозяйственное производство, обуславливая его переход на концепцию «Сельское хозяйство 4.0».

Организация ЦСПоКа рассмотрена на примере трех сельхозтоваропроизводителей (ООО «Победа», ООО «Надежда» и ООО «Мир»), расположенных в Александро-Невском районе Рязанской области. Эти хозяйства характеризуются небольшим объемом прибыли (около 10 тыс. руб/га), недостаточной для использования ее в качестве источника финанси-

вания цифровых технологий. Специализация и производственная структура хозяйств имеет схожий характер – производство зерновых культур, сахарной свеклы и подсолнечника (табл. 3).

Обеспеченность техникой в этих хозяйствах низкая. Количество трак-

торов и комбайнов в расчете на единицу земельной площади приведено в табл. 4.

Общая площадь сельскохозяйственных угодий кооперируемых хозяйств составляет 23,1 тыс. га, площадь пашни – 20,6 тыс. га. Учитывая этот факт, а также изно-

шенность парка техники и общую направленность на внедрение инноваций, можно предложить хозяйствам внедрение цифровых технологий. Техника с цифровым оборудованием или какие-либо информационные системы в хозяйствах отсутствуют.

Обычно сельскохозяйственные товаропроизводители начинают процесс цифровой трансформации с внедрения системы мониторинга сельскохозяйственной техники, который позволяет осуществлять:

- слежение за техникой через интернет;
- контроль соблюдения маршрута, расхода топлива на поле, полевых работ онлайн, соблюдения глубины высева, технологии обработки почвы и уборки урожая;
- предотвращение хищений топлива, продукции (система «свой-чужой»);
- эффективную оперативную отчетность;
- видеонаблюдение, визуальный контроль.

Примерный состав комплекта технических и программных средств, которые необходимо установить для системы мониторинга сельскохозяйственной техники:

- бортовой компьютер;
- интеллектуальный контроллер/терминал;
- приемник GPS/ГЛОНАСС;
- датчик массы;
- датчик уровня топлива;
- датчик работы навесного оборудования;
- гидравлические клапаны дозаторов;
- программное обеспечение (система мониторинга) для диспетчера.

Стоимость данного комплекта в 2022 г. составляла 600 тыс. руб. (АО «Ростсельмаш») в расчете на один трактор. Также, если на полях отсутствует интернет-покрытие, то потребуются приобретение базовой станции для объединения в единый кластер сельскохозяйственной техники (≈ 300 тыс. руб.). Объединившиеся в цифровой кооператив хозяйства смогут справиться с такой финансо-

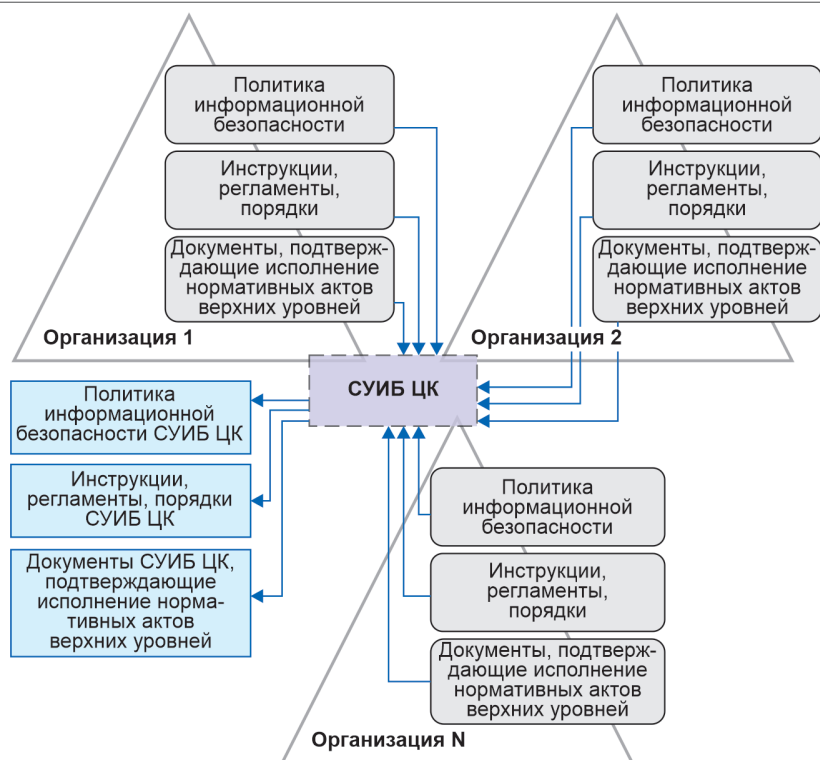


Рис. 3. Система управления информационной безопасностью цифрового кооператива (СУИБ ЦК)

Таблица 3. Характеристика сельскохозяйственных товаропроизводителей Александро-Невского района Рязанской области, 2020 г.

Показатели	ООО «Победа»	ООО «Надежда»	ООО «Мир»
Направление деятельности	Животноводство, растениеводство		
Площадь сельхозугодий, га	3611	9361	10149
Площадь пашни, га	3305	8078	9249
Численность работников	97	142	319
Выручка, тыс. руб.	232958	478250	581013
Прибыль, тыс. руб.	54371	47635	79445
Урожайность зерновых культур, ц/га	50,2	53,4	55,3
Прибыль на 1 га, тыс. руб.	11,6	7,5	9,2

Таблица 4. Количество условных эталонных тракторов и комбайнов на 1000 га пашни

Показатели	ООО «Победа»	ООО «Надежда»	ООО «Мир»
Количество на 1000 га пашни, ед.:			
усл. эт. тракторов	12,06	7,46	8,7
усл. эт. комбайнов	5,6	2,94	3,5

вой нагрузкой легче, чем каждое из них в отдельности.

В качестве критерия эффективности внедрения цифровых технологий в хозяйствах цифрового кооператива использован показатель «приведенные затраты» [10-12].

Предлагаемая методика определения изменения величины текущих затрат при внедрении цифровых технологий (рис. 4) предполагает обобщение экспертных оценок относительно экономии каждого вида затрат. Основой определения величины затрат каждого вида по определенной культуре является технологическая карта.

Капитальные вложения на цифровизацию рассчитывались согласно посевным площадям под зерновыми культурами в трех хозяйствах, которые войдут в ЦСПОК Александровского района Рязанской области, в размере 7904 га, в том числе ООО «Победа» – 1464, ООО «Надежда» – 3090, ООО «Мир» – 3350 га. На остальной площади в хозяйствах возделываются подсолнечник и сахарная свекла. Капиталовложения в расчете на 1 га при базовом варианте составляют 33850 руб., при проектном – 44007 руб. (табл. 5). Дополнительно получаемая в результате использования цифровых технологий продукция рассчитывалась по средней урожайности в 2020 г. – 52,9 ц/га. По оценкам экспертов, внедрение систем автовождения позволит повысить урожайность в среднем на 15%, что составит 60,84 ц/га.

При средней стоимости зерновых культур 13500 руб/т стоимость дополнительно полученной продукции в расчете на 1 га составит 10712,25 руб., а эффект от внедрения цифровых технологий – 12093,2 руб/га.

Выводы

1. Цифровизация АПК во многом благодаря развитию систем беспроводной связи охватывает все уровни управления предприятием – от единичных бизнес-процессов (SCADA) до маркетинга и управления (BI-технологии), позволяя существенно повысить производительность

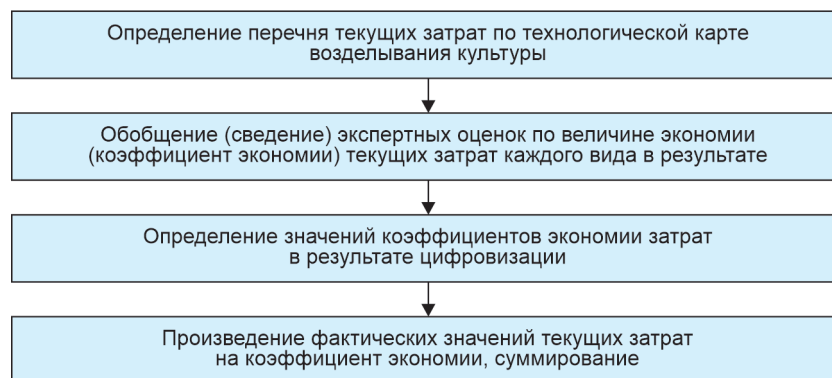


Рис. 4. Методика определения текущих затрат при внедрении цифровых технологий

Таблица 5. Показатели эффекта от внедрения цифровых технологий (производство озимых зерновых), руб/га

№ п/п	Показатели	Значение	
		фактическое	расчетное
1	Текущие затраты	24284,3	20872,4
2	Капиталовложения	33852	44007
3	Приведенные затраты	31054,71	29673,8
4	Разница приведенных затрат базового и проектного вариантов	-	1380,9
5	Стоимость дополнительно полученной продукции	-	10712,3
6	Эффект (строка 4 + строка 5)	-	12093,2

Источник: составлено авторами на основе собственного исследования.

труда, экономить материально-технические, трудовые и финансовые ресурсы.

2. Внедрение цифровых технологий требует больших объемов финансовых средств, которыми зачастую не располагают малые и средние предприятия. Это обуславливает необходимость организации цифровых сельскохозяйственных потребительских кооперативов, позволяющих получать экономический эффект от цифровизации производства.

3. Реализация разработанного проекта по организации цифрового сельскохозяйственного потребительского кооператива для трех сельскохозяйственных предприятий Александровского района Рязанской области позволит после внедрения цифровых технологий ежегодно экономить 12093,2 руб. в расчете на 1 га.

Список

использованных источников

1. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». М.: ФГБНУ «Росинформатех», 2019. 48 с.
2. Худякова Е. В. Цифровые технологии в АПК : учебник / Е.В. Худякова, М.Н. Степанцевич, М.И. Горбачев. М.: ООО «Мегapolis», 2022. 220 с.
3. Субаева А.К. Техничко-технологическое перевооружение сельского хозяйства в условиях цифровой трансформации: автореф. дис. ... д-ра экон. наук. М., 2022. С. 20-25.
4. Chernysheva K., Karpuzova N., Korolkova A. Corporate Information Systems in Agricultural Informatization // В сб.: European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. Proceedings of the Conference on Land Economy and Rural Studies Essentials (LEASECON 2021). 2022. С. 603-609.
5. Чернышева К.В., Королькова А.П., Карпузова Н.В., Афанасьева С.И. Использование информационно-аналитиче-

ских систем в экономике и менеджменте // Техника и оборуд. для села. 2022. № 1. С. 43-48.

6. **Kuznetsova N., Ilyina A., Mironov M., Korolkova A. and Marinchenko T.** 2021 Small business environment and development problems in the Russian Federation E3S Web of Conferences 244 10043.

7. **Kuznetsova N.A., Ilyina A.V., Korolkova A.P., Marinchenko T.E.** AGRICULTURAL CONSUMER COOPERATIVES IN RUSSIA: STATE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT // В сб.: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. С. 22043.

8. Федеральный закон № 183-ФЗ «О сельскохозяйственной кооперации» (с изменениями от 03.11.2006) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12150320/?ysclid=lf12208ebm186010549> (дата обращения: 10. 03.2023).

9. **Худякова Е.В.** Сельская кредитная кооперация : учеб. пособ. М.: МСХА, 2002. 180 с.

10. **Водяников В.Т.** Экономическая оценка инвестиционных проектов в агроинженерии : учеб. пособ. СПб: Лань, 2022. 268 с.

11. Разработка методики оценки эффективности внедрения цифровых технологий в агропромышленном комплексе / О.А. Рада, Е.А. Федулова, П.Д. Косинский // Техника и технологии пищевых производств. 2019. Т. 49. № 3. С. 495-504.

12. **Степанцевич М.Н.** Методика оценки эффективности цифрового проекта как основа модели формирования цифровых компетенций выпускников аграрных вузов// Научные подходы к формированию цифровых компетенций выпускников аграрных вузов: форсайт-сессия. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» (Москва, 27.09.2022).

New Directions for the Development of Agricultural Cooperation

E.V. Khudyakova,

M.S. Nikanorov

(FGBOU VO "RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev")

A.P. Korolkova

(FGBNU "Rosinformagrotech")

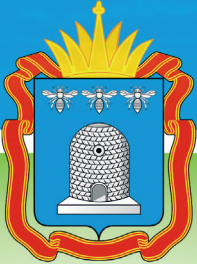
M.N. Stepansevich

(FGBOU VO "RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev")

Summary: The directions of using digital technologies in farms of different sizes and their economic efficiency are presented. The creation of a digital agricultural consumer cooperative for small and medium-sized enterprises and the organizational and economic mechanism of its functioning are substantiated, an assessment of the effectiveness of the cooperative's activities is given on the example of individual participating farms.

Key words: agricultural consumer cooperation, digital technologies, digital agricultural cooperative, small businesses.

Организатор:
Выставочная фирма Центр
Тел.: (473) 233-09-60
E-mail: pole@vfcenter.ru




День Тамбовского поля

2023

21 ИЮЛЯ 2023

Сампурский район,
с/х предприятие ООО «Вымпел»

6+ реклама

pole68.ru










ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР ПАРТНЕРЫ ВЫСТАВКИ ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК УДОБРЕНИЙ