



Международная научно-практическая конференция
профессорско-преподавательского состава,
посвященная академику почвоведу и первому ректору
университета К.Д. Глинке
(к 120-летию ФГБОУ ВО СПбГАУ)

ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ АПК В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Санкт-Петербург – Пушкин

*Секция «ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ, ОБОРУДОВАНИЕ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В АПК»*

15 марта 2024 года

Материалы конференции



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2024

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Международная научно-практическая конференция
профессорско-преподавательского состава,
посвященная академику почвоведу и первому ректору
университета К.Д. Глинке
(к 120-летию ФГБОУ ВО СПбГАУ)

ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ АПК В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Санкт-Петербург – Пушкин

*Секция «ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ, ОБОРУДОВАНИЕ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В АПК»*

15 марта 2024 года

Материалы конференции



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2024

УДК 631.3:001

ББК 40.7я431

П 768

Технологии, машины, оборудование и безопасность технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики», посвященной академику почвоведу и первому ректору университета К.Д. Глинке (к 120-летию ФГБОУ ВО СПбГАУ), Санкт-Петербург – Пушкин, 15 марта 2024 года. – СПб.: СПбГАУ, 2024. – 42 с.

Сборник содержит материалы по актуальным вопросам и новшествам при производстве и переработке сельскохозяйственной продукции в условиях современной экономики.

Главный редактор

декан Инженерно-технологического факультета ФГБОУ ВО СПбГАУ, канд. техн. наук, доцент В.А. Ружьев

Заместитель главного редактора

заместитель декана инженерно-технологического факультета по научной работе, канд. техн. наук *А.В. Антипов*

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор *О.Г. Огнев*

доктор технических наук, доцент *Р.Т. Хакимов*

доктор технических наук, профессор *М.А. Новиков*

доктор технических наук, профессор *В.А. Смелик*

доктор технических наук, профессор *М.А. Керимов*

доктор технических наук, профессор *А.П. Картошкин*

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК»

Андреев В.Н., Демичев В.В., Ключникова Е.О. Исследование линии производства майонеза методом системного анализа.....	4
Картошкин А.П., Агапов Д.С., Филимонов В.А., Фомичев А.И., Антипов А.В., Долгушин В.А. Опытнo-конструкторские разработки научной школы «Ресурсосбережение при эксплуатации автотракторной техники».....	8
Литвинов П.В. Внутрицилиндровый катализ как способ повышения экологической безопасности двигателей сельскохозяйственных машин.....	15
Новиков М.А., Алдохина Н.П., Рожков А.С. Методика разработки методов диагностирования рабочих органов уборочных машин.....	19
Павлов С.Б., Новиков М.А., Алдохина Н.П. Перспективы перевода сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо.....	23
Перцев С.Н., Муравьев К.Е. Логистический подход к сельскохозяйственным перевозкам.....	27
Ружьев В.А., Криштанов Е.А., Ткаля Н.А., Сергеев А.С. Полевые роботы как современное решение для сельского хозяйства.....	33
Самосюк В.В., Шахов В.А. Лабораторные испытания установки для приготовления кормосмесей с ультрадисперсными частицами.....	36
Смелик В.А., Перекопский А.Н., Врублевский В.Д. Предпосылки внедрения элементов точного земледелия при посеве зерновых культур.....	39

Канд. техн. наук **В.Н. АНДРЕЕВ**
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева)
Аспирант **В.В. ДЕМИЧЕВ**
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева)
Магистрант **Е.О. КЛЮШНИКОВА**
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА МАЙОНЕЗА МЕТОДОМ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Продукт майонез является эмульсией по типу «вода в масле». Содержание жировой фазы в майонезах начинается от 35%. Технология производства майонеза [1] периодическим способом состоит из нескольких основных этапов. Первый этап – образование горчичной пасты, то есть смеси горчичного порошка и воды в смесителе. Затем горчичная паста нагревается с помощью рубашки смесителя; следующим этапом производства майонезной продукции является добавление в горчичную пасту сухого молока, сахара и соды. Так же, как и в предыдущем этапе, полученную смесь подогревают; заключительным этапом технологии производства майонеза является добавление яичного порошка, 10% уксусной кислоты и растительного масла. Полученная грубая майонезная эмульсия пропускается через диспергатор для получения тонкой майонезной эмульсии. Готовый продукт отправляется на фасовку.

Построена операторная модель линии производства майонеза периодическим способом. При её построении были определены основные подсистемы:

А – подсистема образования готового продукта с заданными показателями качества;

В – подсистема образования окончательного полуфабриката с заданными показателями качества;

С – подсистема образования промежуточного полуфабриката.

Основной или центральной подсистемой линии является подсистема В, содержащая следующие операторы:

I – оператор хранения тонкой майонезной продукции;

II – оператор получения тонкой майонезной эмульсии;

III – оператор температурной обработки грубой майонезной эмульсии;

IV – оператор сборки грубой майонезной эмульсии;

V – оператор образования уксусно-солевого раствора;

VI – оператор формирования полуфабриката.

Модель черного ящика как один из методов системного анализа— это концепция, применяемая во многих областях, таких как маркетинг, управление, пищевая инженерия и др. Эта модель используется для описания связи между входными и выходными параметрами подсистемы или системы в целом. При использовании модели черного ящика отсутствует необходимость знать внутреннюю структуру или механизм работы системы, так как основной целью модели является определение реакции системы на внешнее воздействие.

Модель черного ящика позволяет упростить анализ и предсказание работы системы, сосредотачивая внимание на ее основных функциях и свойствах.

Применительно к пищевой промышленности линию производства того или иного продукта можно представить в виде модели черного ящика. Целесообразно использовать модель черного ящика относительно каждой подсистемы. Применительно к линии производства майонезной продукции периодическим способом модель черного ящика относительно центральной подсистемы содержит 4 вида параметров (рис. 1).

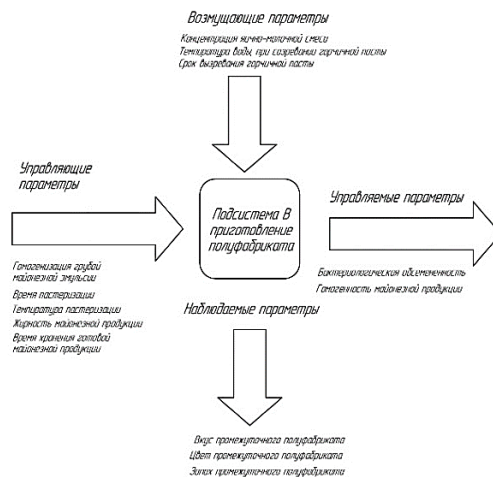


Рис. 1. Модель «черного ящика» подсистемы В линии производства майонеза

Как видно из построенной модели «черного ящика», для подсистемы В основными факторами являются следующие;

- гомогенизация грубой майонезной эмульсии;
- время пастеризации;
- температура пастеризации;
- жирность майонезной продукции;
- время хранения готовой майонезной продукции.

Как известно, существует несколько методов системного анализа [2] для диагностики систем. Наиболее известным и применяемым в наше время методом системного анализа является априорное ранжирование факторов, который позволяет определить степень влияния фактора на систему или на подсистему. В качестве системы в пищевой промышленности выступает линия производства той или иной продукции. Данный метод может применяться не только к системе, но и к ее части (подсистеме).

Априорное ранжирование факторов заключается в оценке факторов экспертами; затем происходит расчет влияния каждого фактора на подсистему. Фактор с наибольшей степенью влияния имеет оценку первого ранга, остальные факторы имеют меньшую степень влияния и расставляются в порядке возрастания. Обработка экспертных оценок осуществляется при помощи программы для ЭВМ [3] (рис. 2), написанной на языке программирования JavaScript [4].

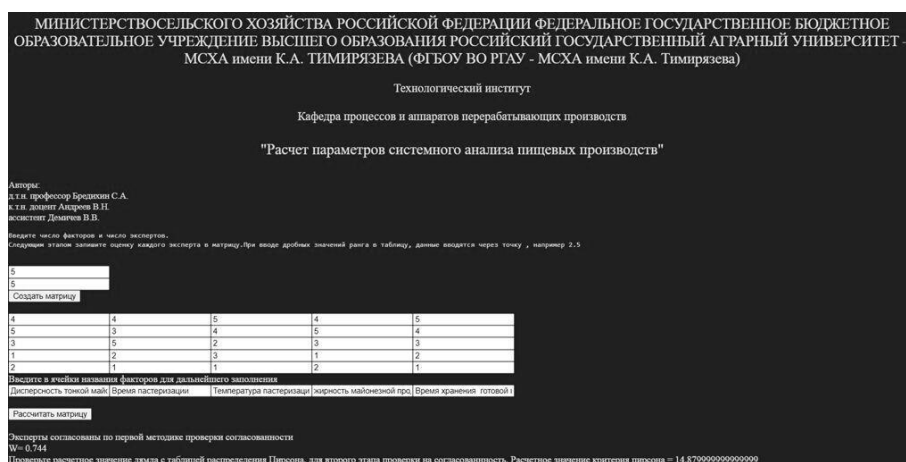


Рис. 2. Программа для априорного ранжирования факторов

На основе расчетов программы матрица рангов опроса специалистов будет иметь следующий вид (рис. 3):

Фактор/эксперт	Номера экспертов					Сумма рангов	Максимальный ранг	Минимальный ранг	Средняя сумма рангов	Отклонение суммы рангов	Квадрат отклонения суммы рангов	Занимаемое место	Вес фактора
	1	2	3	4	5								
	Ранги оценок, а км												
N1 Дисперсность тонкой майонезной эмульсии	4	4	5	4	5	22	5	4	15	7	49	5	0.067
N2 Время пастеризации	5	3	4	5	4	21	5	3	15	6	36	4	0.133
N3 Температура пастеризации	3	5	2	3	3	16	5	2	15	1	1	3	0.2
N4 жирность майонезной продукции	1	2	3	1	2	9	3	1	15	-6	36	2	0.267
N5 Время хранения готовой майонезной продукции	2	1	1	2	1	7	2	1	15	-8	64	1	0.333

Рис. 3 . Матрица рангов опроса специалистов

Априорная диаграмма рангов, которая строится программой на базе суммы рангов, будет иметь следующий вид см. (рис. 4).

Априорная диаграмма рангов

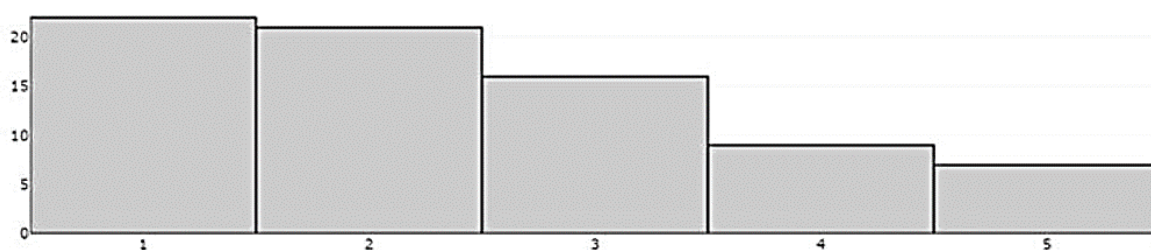


Рис. 4. Диаграмма априорного ранжирования факторов

Таким образом, наиболее существенные факторы, влияющие на процесс образования тонкодисперсной майонезной эмульсии – это «гомогенизация майонезного полуфабриката для получения тонкой майонезной эмульсии» и «время пастеризации полуфабриката».

Для получения тонкой эмульсии используют механические гомогенизаторы высокого давления и роторные диспергаторы. Основным недостатком известных устройств является относительно небольшая пропускная способность обрабатываемой среды – до 10 м³/час.

По ранее созданному устройству для обработки пищевых жидких сред [5] было разработано устройство для сонохимической обработки пищевых жидких сред. Устройство для сонохимической обработки жидких пищевых сред и его основные части приведены на рис. 5.

Через патрубок устройства в его корпус устройства попадает поток жидкой пищевой среды. Обрабатываемая жидкая среда с большой скоростью проходит через прямоугольное щелевое сопло разделенного на две части патрубка. На гидродинамический излучатель, изготовленный в форме пластины, заостренный по в сторону струи, попадает пищевой продукт. Из-за возникающих колебаний на пластинах, вследствие попадания на нее струи пищевого продукта возникает первичная кавитация в пищевом продукте.

После первичной кавитации продукта под воздействием ультразвука возникает вторая кавитация при вхождении в реакционную камеру. Воздействие ультразвуком осуществляется с помощью магнитно-стрикционных излучателей, находящихся в контакте с плоскими поверхностями, которые расположены напротив друг друга и соединены с генератором ультразвука. После обработки полученная однородная, жидкая пищевая среда удаляется из устройства через патрубок. Технические характеристики разработанного устройства приведены в таблице.

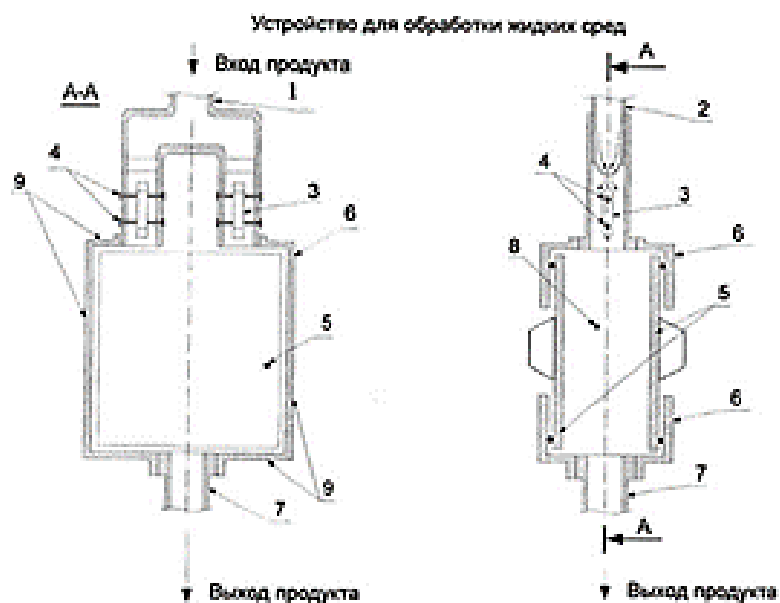


Рис. 5. Схема устройства для сонохимического воздействия на продукт
 1 – корпус, 2 – патрубок подачи обрабатываемой жидкой среды, 3 – пластинчатый гидродинамический излучатель, 4 – точки крепления гидродинамического излучателя, 5 – магнитострикционный излучатель ультразвуковых колебаний, 6, 9 – боковые стенки корпуса, 7 – патрубок отвода обрабатываемой жидкой среды, 8 – реакционная камера

Таблица. Технические характеристики устройства для сонохимической обработки пищевых жидких сред

Максимальная мощность	5 кВт
Частота ультразвуковых колебаний	18-22 кГц
Число пластин в гидродинамическом излучателе	20 шт
Габариты, мм	340 мм x 340 мм x 450 мм

Устройство для сонохимического (рис. 6) воздействия на продукт предназначено для диспергации эмульсий на предприятиях химической, нефтяной, фармацевтической, пищевой и других отраслей промышленности. Компактность данной установки, низкая металлоёмкость, простота в эксплуатации и высокая производительность позволяют использовать данную устройство на малых, средних и крупных пищевых предприятиях. Данная модель может применяться для замены гомогенизаторов высокого давления и роторных диспергаторов в различных линиях производства пищевой продукции.

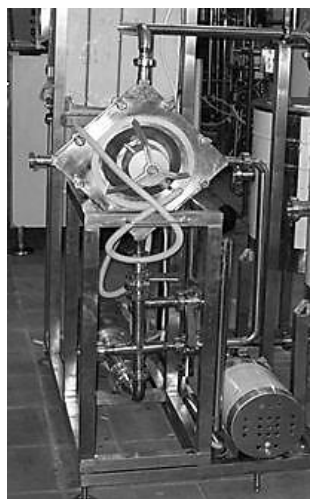


Рис. 6. Устройства для сонохимического воздействия на продукт

Применение программного обеспечения для системного анализа линий производства той или иной продукции способно облегчить диагностику линий и нахождение «узкого места линии». Рассчитанное узкое место линии производства майонеза основывается на оценке экспертами факторов, влияющих на качество и количество выпускаемой продукции. Эти факторы изначально были взяты за основу из модели черного ящика. По построенному черному ящику подсистемы линии производства и программы для априорного ранжирования факторов выявлено узкое место линии производства майонеза периодическим способом, а именно «гомогенизация грубой майонезной эмульсии», и предложена разработка, способная существенно улучшить качество выпускаемой продукции.

Литература

1. **Терещук, Л.В.** Производство эмульсионных масложировых продуктов. Технология майонезов и майонезных соусов: учебное пособие / Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова, Е. Г. Павельева. — Кемерово: КемГУ, 2019. — 169 с. — ISBN 978-5-8353-2577-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156116> (дата обращения: 19.03.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. **Алексеев, Г.В.** Системный подход в пищевой инженерии: учебно-методическое пособие / Г. В. Алексеев, В. А. Демченко. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2016. — 48 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91322> (дата обращения: 26.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. **Расчет параметров системного анализа пищевых производств:** а.с. 2024614889 РФ. 2024616369 / Демичев В.В. Андреев В.Н. Бредихин С.А.; заявл. 11.03.2024; опубл. 19.03.2024.; 3 с.
4. **Янцев, В.В.** JavaScript. Креативное программирование: учебное пособие для вузов / В. В. Янцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 232 с. — ISBN 978-5-507-49267-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/383837> (дата обращения: 25.03.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. **Устройство для обработки пищевых жидких сред:** пат № 2017120061 Рос. Федерации RU2650269C1 / Березовский Юрий Михайлович, Дергачев Петр Петрович, Сиамашвили Теймураз Самсонович, Андреев Владимир Николаевич, Никишин Юрий Николаевич, Гаврикин Александр Сергеевич; заявл. 08.06.2017; опубл. 11.04.2018. 6 с.

УДК 62-182.7

Доктор техн. наук **А.П. КАРТОШКИН**
Канд. техн. наук **Д.С. АГАПОВ**
Канд. техн. наук **В.А. ФИЛИМОНОВ**
Канд. техн. наук **А.И. ФОМИЧЕВ**
Канд. техн. наук **А.В. АНТИПОВ**
Канд. техн. наук **В.А. ДОЛГУШИН**
(ФГБОУ ВО СПбГАУ)

ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ»

На кафедре «Автомобили, тракторы и технический сервис» функционирует научное направление «*Ресурсосбережение при эксплуатации автотракторной техники*», зарегистрированное под № 0360 Международной ассоциацией учёных, преподавателей и специалистов при Российской Академией Естествознания. Новое научное направление охватывает научные специальности: 2.4.7 Турбомашины и поршневые двигатели, 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, 2.9.1 Транспортные и транспортно-технологические системы (технические науки). 2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки).

В научный коллектив входят авторы данной статьи.

Основные направления опытно-конструкторских исследований научной школы:

- разработка методов и средств технического сервиса автомобилей и тракторов; улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей;
- техническая эксплуатация мобильной автотранспортной и сельскохозяйственной техники; разработка и создание транспортных средств повышенной проходимости для сельских поселений;
- экономия топливно-энергетических ресурсов путём использования альтернативных видов топлив; усовершенствование энергетических установок путём использования альтернативных видов топлив и аккумулированной энергии;
- совершенствование конструкции топливной аппаратуры дизелей; исследование работоспособности топливной аппаратуры зарубежных дизелей в условиях эксплуатации Северо-Западного региона;
- снижение экологического давления на окружающую среду путём разработки организационных мероприятий в техносфере (техническая экология);
- разработка комплексных сельскохозяйственных агрегатов на базе мототехники.

В рамках поставленных задач научным коллективом за истекшие 5 лет выполнены следующие опытно-конструкторские разработки.

До недавнего времени на отечественном рынке появилось большое количество зарубежной мототехники (мотоблоки, мотокультиваторы, минитрактора и т.д.). Но в последние годы был налажен выпуск отечественной мототехники (Митракс, КО-НЕВА, Скаут и т.д.). Для реализации мототехники на российском рынке необходима техническая характеристика каждого изделия. Фирмы-производители не обладают испытательным оборудованием, чтобы определить тягово-динамические, топливно-экономические показатели работы, показатели устойчивости, например, минитрактора. Кафедра обладает соответствующим оборудованием, коллективом специалистов и ресурсами для исследования работоспособности и определения технических характеристик мототехники [1] в лабораторных условиях (рис. 1), а также исследованием её работоспособности в условиях эксплуатации (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Стендовые испытания минитракторов:

а – определение продольной и поперечной устойчивости минитрактора СКАУТ на грузовой платформе; *б* – определение тягово-динамических свойств минитрактора СКАУТ на тормозных барабанах

Испытания минитракторов в условиях эксплуатации проводятся как в зимний, так и в летний период (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Эксплуатационные испытания минитракторов:
а – определение радиуса поворота минитрактора МИТРАКС;
б – культивация вспаханного поля минитрактором МИТРАКС

При проведении полевых испытаний сельскохозяйственных орудий для мотоблоков сотрудники использовали два типа минитракторов (рис. 3) отечественного производства (МИТРАКС и КО-НЕВА) [2].



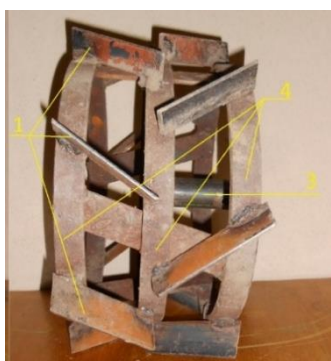
а



б

Рис. 3. Отечественные минитрактора:
а – Красный Октябрь-Нева; *б* – Митракс

При работе с мототехникой сотрудники кафедры также предлагают научно и практически обоснованные конструктивные решения [3]. Например, авторским коллективом разработаны (рис. 4) универсальный плуг для мотоблока (патент № 2761353, 2021 г.) [4], тяговое колесо мотоблока (патент № 178213, 2018 г.).



а



б

Рис. 4. Конструктивные решения для мотоблоков:
а – тяговое колесо; *б* – универсальный плуг [4]

Также на кафедре разработана экспериментальная модель минитрактора [5] собственной конструкции (рис. 5).



Рис. 5. Экспериментальная модель минитрактора

На экспериментальной модели установлен бензиновый двигатель мощностью 18 л.с. Полноприводный минитрактор сельскохозяйственного профиля с равновеликими колёсами, шарнирно-сочленённой рамой, повышенным клиренсом, передней и задней гидронавесной системой.

Отечественная промышленность не выпускает испытательные стенды для испытания и определения технических характеристик минитракторов. В этой связи на кафедре ведутся опытно-конструкторские разработки по созданию малогабаритных испытательных стендов [6]. В частности, разработан обкаточно-тормозной стенд с беговыми барабанами для проведения тягово-динамических испытаний мототехники (рис. 6).



Рис. 6. Обкаточно-тормозной стенд с беговыми барабанами

Для определения таких важных показателей, как сопротивление качению и буксование также спроектирован и изготовлен опытный образец стенда (рис. 7).



Рис. 7. Стенд для определения тягово-сцепных свойств минитракторов

С целью реализации программы «Сельский туризм» выполнено две конструкторские разработки. Совместно с Законом им. Дегтярёва изготовлены и испытаны два парацикла (рис. 8).



Рис. 8. Парациклы конструкции ЗиД + СПбГАУ

У парацикла один мотор мощностью 25 л.с. и возможность его управления как левым, так и правым водителем. К парациклу возможно прицепить транспортную тележку. Индивидуальной разработкой является велоцикл (рис. 9). Его особенностью является возможность передвигаться семье из трёх и более человек на одном виде транспортного средства, причем оно имеет как педальный, так и моторный привод.



а



б

Рис. 9. Велоцикл конструкции АТТС:
а – велоцикл; *б* – цепной дифференциал

Утверждена концепция велоцикла, разрабатываются элементы конструкции. В частности, запатентован (патент № 2640158), изготовлен и испытан цепной дифференциал (рис.9, б), проектируется усиленная рама и педальный привод.

Кроме вышеперечисленных разработок творческий коллектив занимается вопросами повышения работоспособности дизелей триботехническими методами; изготовлен и запатентован (патент на полезную модель № 151681) фильтр-отстойник для автоматического удаления отстойной воды из баков хранения дизельного топлива; изготовлены и испытаны установка для электроэрозионного удаления прикипевших деталей, установка для демонстрации работы инжекторных форсунок бензиновых двигателей.

Северо-Западный регион РФ является зоной рискованного земледелия и отличается наличием мелкоконтурных полей и почв с повышенной влажностью [7]. При этом бывают года, когда дожди начинаются с середины августа и продолжаются до конца сентября. А это

период активной уборочной страды. В этом случае к уборке урожая привлекают студентов аграрных вызов, курсантов и т.д. Собрать урожай в ящики, корзины, мешки можно, а вот вывезти собранный урожай с поля затруднительно, так как любая техника (включая гусеничные тракторы) вязнет в переувлажнённой почве. В связи с вышеизложенным актуальной является разработка транспортного средства на воздушной подушке (рис. 10) предназначенного для доставки собранного урожая на край поля для последующей перегрузки в транспортные средства. Кафедрой предложена концепция транспортного средства на воздушной подушке, проработаны вопросы создания оптимального воздушного потока [8], подобрана энергетическая установка, спроектированы рессиверы и газыри, совершенствуется компоновочная схема.

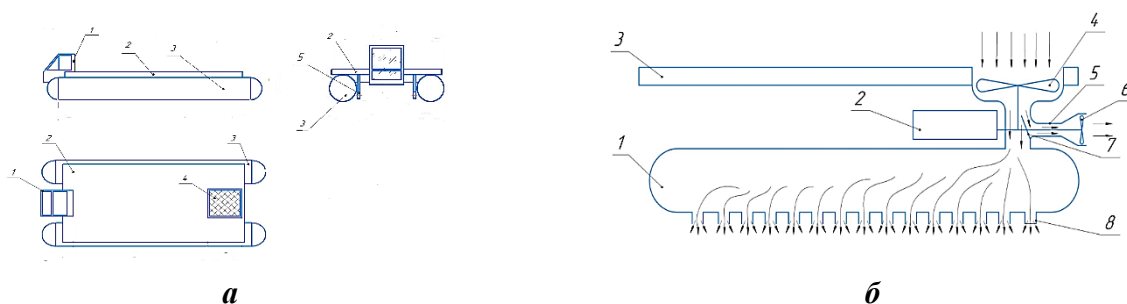


Рис. 10. Транспортное средство на воздушной подушке:
а – принципиальная схема; *б* – схема создания воздушного потока

Также научная группа занимается вопросами ресурсосбережения при эксплуатации энергетических установок [9]. Одним из авторов коллектива была модернизирована промышленная установка для обжига ферритов с использованием пинч-технологии [10]. По данным разработкам получен патент № 2681906 «Способ получения фильтрующего элемента на основе пористого поливинилформалия», патент на полезную модель № 177810 «Устройство для изготовления винтовой трубы», патент № 1799161 «Теплообменник».

За истекший период членами научной школы было издано три монографии («Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации технологического оборудования энергетических систем» [11]: монография / А.П. Картошкин, Д.С. Агапов, 2021 г.; «Методы и средства теплового контроля мощностных показателей мобильного сельскохозяйственного агрегата» [12]: монография/ А.П. Картошкин, В.Е. Колпаков, 2022 г.; «Повышение работоспособности агрегатов автотракторной техники триботехническими методами» [13]: монография/ А.П. Картошкин, А.В. Антипов, 2023 г.).

В творческом процессе научной школы принимают активное участие студенты [14] и аспиранты.

Перспективными направлениями исследований творческого коллектива кафедры на сегодняшний день является создание опытных образцов разрабатываемых изделий.

Литература

1. **Картошкин, А.П.** Сравнительные тягово-динамические испытания малогабаритных тракторов / А.П. Картошкин, А.И. Фомичев, В.А. Ружьев // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 21-23 ноября 2018 г. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2018. – С. 208-213. – EDN FMTPAE.
2. **Долгушин В.А.** Результаты тягово-динамических и топливно-экономических испытаний трактора Митракс Т-10 / А.В. Фомичёв А.В., В.А. Долгушин, А.П. Картошкин // Известия СПбГАУ, 2020 – № 2(59). – С. 115 – 123.
3. **Фомичёв А.И.** Результаты сравнительных тяговых испытаний мотоблоков Компакт-Эконом ZS-GB225 и 225P19BRAIT / А.П. Картошкин, А.И. Фомичёв // «Научное

- обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения» Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики». СПбГАУ. – СПб., - 2021. – с. 176 – 179.
4. **Патент № 2761353 С1** Российская Федерация, МПК А01В 15/10. универсальный плуг для мотоблока: № 2021106230: заявл. 10.03.2021: опубл. 07.12.2021 / А.П. Картошкин, В.А. Ружьев, С.Н. Осипов, А.В. Поскотинов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет». – EDN KDCLOV.
 5. **Тракторы:** учебное пособие / А.П. Картошкин А.П., А.И. Бобровник, А.И. Фомичев и др. – Проспект науки, СПб, 2018. – 736 с.
 6. **Филимонов В.А.** Исследование тягово-сцепных свойств малогабаритной сельскохозяйственной техники / А.Р. Kartoshkin, V.F. Filimonov, A.I. Fomithev // International Conference on Advances in Science and Technology» coast 2022. Herceg Novi, Vontenegro. – P. 49-52.
 7. **Беляков В.В.** Особенности обработки переувлажнённой почвы энергонасыщенными тракторами в Северо-Западном регионе / В.В. Беляков, А.П. Картошкин // 7th International Conference “Application of New Technologies in Management”. 2020, Serbia (Belgrad) – P. 369 – 382.
 8. **Столяров П.А.** Результаты исследования воздушных потоков в ресивере сельскохозяйственного транспортного средства на воздушной подушке / П.А. Столяров, С.В. Вендеров, А.П. Картошкин // Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных и обучающихся «Роль молодых учёных и исследователей в решении актуальных задач АПК». СПб, 2019. – С. 206 – 208.
 9. **Агапов Д.С.** Расчёт потребности предприятий в энергетическом оборудовании / Д.С. Агапов, А.П. Картошкин // Сельский механизатор. – 2015. – № 5. – С. 26-28.
 10. **Калютник А.В.** Совершенствование пинч-технологии для возможности интеграции нестационарных тепловых процессов с учётом их локализации /А.П. Картошкин, Д.С. Агапов, А.А. Калютник, А.В. Кондрашов // Научно-технический и производственный журнал «Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики». Казань, Том 25, № 5, 2023. – с. 125-136.
 11. **Картошкин, А.П.** Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации технологического оборудования энергетических систем / А.П. Картошкин, Д.А. Агапов. – СПб.: Проспект Науки, 2021. – 311 с. – EDN ZGRKOA.
 12. **Картошкин, А.П.** Методы и средства теплового контроля мощностных показателей мобильного сельскохозяйственного агрегата / А.П. Картошкин, В.Е. Колпаков. – М.: ООО «Издательско-книготорговый центр «Колос-с», 2022. – 256 с. – (УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ). – ISBN 978-5-00129-215-9. – EDN AMDCSU.
 13. **Картошкин, А.П.** Повышение работоспособности агрегатов автотракторной техники триботехническими методами / А.П. Картошкин, А.С. Евсеев, А.В. Антипов. – М.: ООО «Издательско-книготорговый центр «Колос-с», 2023. – 231 с. – ISBN 978-5-00129-344-6. – EDN CIZZAY.
 14. **Ружьев, В.А.** Подготовка бакалавров и специалистов среднего звена при взаимодействии образования, науки и производства / В.А. Ружьев, А.П. Картошкин // Требования ФГОС СПО к подготовке современных рабочих кадров для автомобильной отрасли: перспективы переходного периода: сборник материалов научно-практической конференции в рамках III всероссийских Мосинских чтений, Санкт-Петербург, 22 мая 2018 г. / Санкт-Петербургское ГБП ОУ "Сестрорецкий лицей им. С.И. Мосина", Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Институт управления образованием РАО, Санкт-Петербургский институт внешнеэкономической деятельности, экономики и права. – СПб.: Трактат, 2018. – С. 46-49. – EDN VLFZOI.

ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЙ КАТАЛИЗ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Применение двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в технике, используемой в сельском хозяйстве, началось с первой половины XX века. На сегодняшний день ДВС является основной силовой установкой на сельскохозяйственных машинах. Перспективы его применения рассчитаны на десятилетия вперёд, что обеспечивается высоким ресурсом и ремонтпригодностью сельскохозяйственной техники. Так, расчётный средний срок службы трактора составляет 10 лет, комбайна – 20-25 лет, а грузового автомобиля – 17 лет. Тем не менее высокая ремонтпригодность позволяет увеличить расчётный срок службы сельскохозяйственной техники. Однако современные стремления к декарбонизации транспортных средств, в том числе и сельскохозяйственных машин, вынуждают производителей модернизировать ДВС в соответствии с современными экологическими требованиями. Это касается и производства запасных частей для ДВС (особенно – входящих в ремонтные комплекты).

Экологическая безопасность ДВС является одной из перспективных тем для исследований. Требования к выбросам ДВС согласно нормам Евро и основанном на них ТР ТС 018/2011 представлены в таблице 1.

Таблица. Нормы выбросов вредных веществ (г/км), согласно нормам Евро

Стандарт	Монооксид углерода	Углеводородные соединения	Летучие соединения	Оксиды азота	HC+NO _x	Твёрдые частицы
Для дизельного двигателя						
Евро-1	2,72	-	-	-	0,97	0,14
Евро-2	1,0	-	-	-	0,7	0,08
Евро-3	0,64	-	-	0,5	0,56	0,05
Евро-4	0,5	-	-	0,25	0,3	0,025
Евро-5	0,5	-	-	0,18	0,23	0,005
Евро-6	0,5	-	-	0,08	0,17	0,005
Для бензинового двигателя						
Евро-1	2,72	-	-	-	0,97	-
Евро-2	2,3	-	-	-	0,5	-
Евро-3	2,2	0,2	-	0,15	-	-
Евро-4	1,0	0,1	-	0,08	-	-
Евро-5	1,0	0,1	0,68	0,06	-	0,005
Евро-6	1,0	0,1	0,68	0,06	-	0,005

Следствием этого является постепенное повышение экологической безопасности ДВС.

Катализаторы. Одним из способов повышения экологической безопасности является использование каталитических нейтрализаторов. Кроме того, в рамках изучения их свойств было выбрано новое направление – внутрицилиндровый катализ. Данный способ подробно рассмотрен в работах [1–5]. Основной идеей, отраженной в работе [1], является применение каталитических материалов внутри цилиндра при помощи модификации поверхности поршня с предварительным плазменно-электролитическим окислением.

В работах [1,3–5] указаны следующие основные проблемы каталитических нейтрализаторов: высокая цена каталитических материалов, сложность и трудоёмкость изготовления, возникновение термических напряжений в каталитических блоках при быстром

нагреве, высокое аэродинамическое сопротивление. Главным недостатком каталитического нейтрализатора является малая эффективность на холостом ходу и/или при непрогретом («холодном») ДВС [4, 6]. Несмотря на указанные проблемы, за рубежом и в РФ каталитические нейтрализаторы стали важным компонентом ДВС различного назначения. Данная проблема особенно актуальна для сельскохозяйственных машин, двигатели которых работают в режиме холостого хода дольше, чем автомобильные.

С этой целью в ИК СО РАН был поставлен эксперимент, описанный в работах [1, 3, 6]. Его суть заключалась в том, что было проведено расчётное моделирование рабочего процесса двигателя 1Д 4,5/3,5. На основании данных рабочего процесса было установлено, что модифицированный поршень не подвергнется разрушению, и его возможно применить в ДВС. Затем поршни были модифицированы палладиевым и медно-марганцевым катализатором с предварительным ПЭО. После данных модификаций последовала серия испытаний, во время которых было отобрано по 9 проб для каждого поршня на режимах максимальной частоты вращения и холостого хода при холодном и прогретом ДВС.

Данные, полученные в ходе этого эксперимента, возможно представить в виде следующих графиков (рис. 1 и 2).

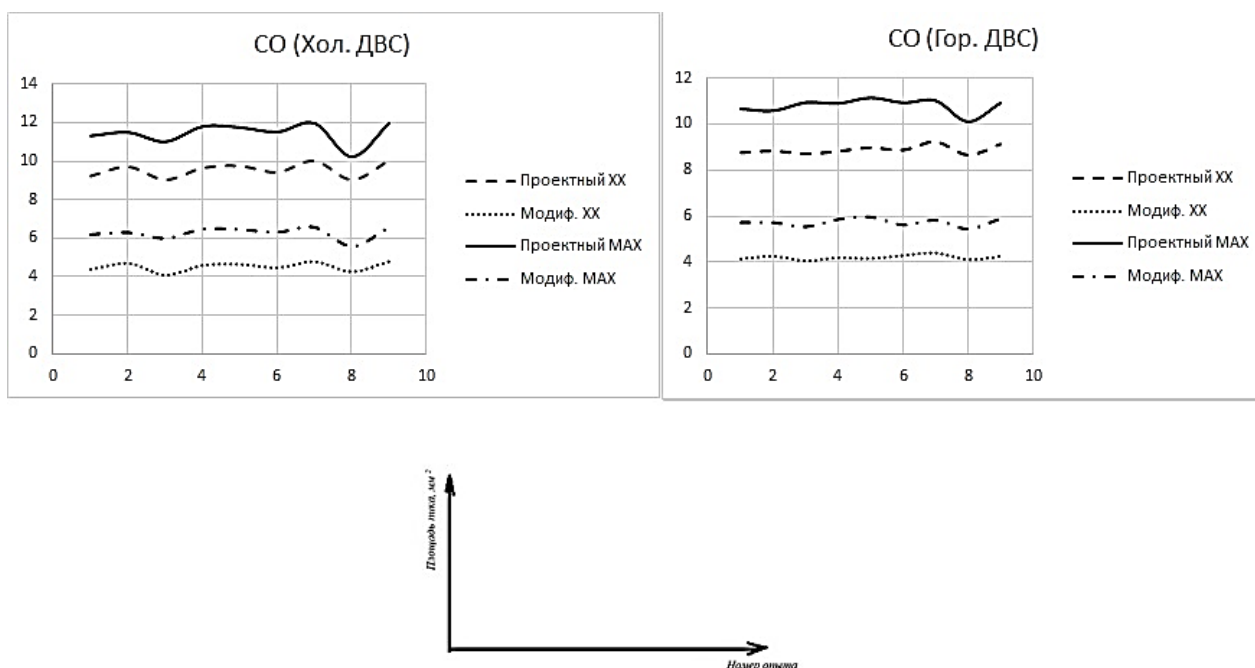


Рис. 1. Графики конверсии монооксида углерода

На рис. 1 представлены графики, отражающие конверсию монооксида углерода по результатам 9 опытов на «холодном» и «горячем» ДВС. Представленные данные указывают, что при использовании каталитических материалов внутри цилиндра (в данном случае медно-марганцевый катализатор) достигается высокий процент конверсии. Кроме того, медно-марганцевый катализатор не имел склонности к деградации в жестких условиях работы, свойственных для внутрицилиндровых процессов двухтактного двигателя.

На рис. 2 представлены графики конверсии этилена. Этилен является малоопасным веществом, однако при соединении с кислородом образует окись этилена, являющуюся токсичной, в результате чего его содержание, как и содержание прочих углеводородов, рекомендуется снижать. Медно-марганцевый катализатор способствует снижению данного углеводородного соединения.

Рис. 1 и 2 отражают динамику изменения выбросов вредных веществ. В целом, наблюдается устойчивое снижение при использовании каталитических материалов внутри цилиндра. Важно отметить, что и прочие углеводородные соединения также показывали

устойчивые значения конверсии при использовании медно-марганцевого катализатора, что отражено в работе [1].

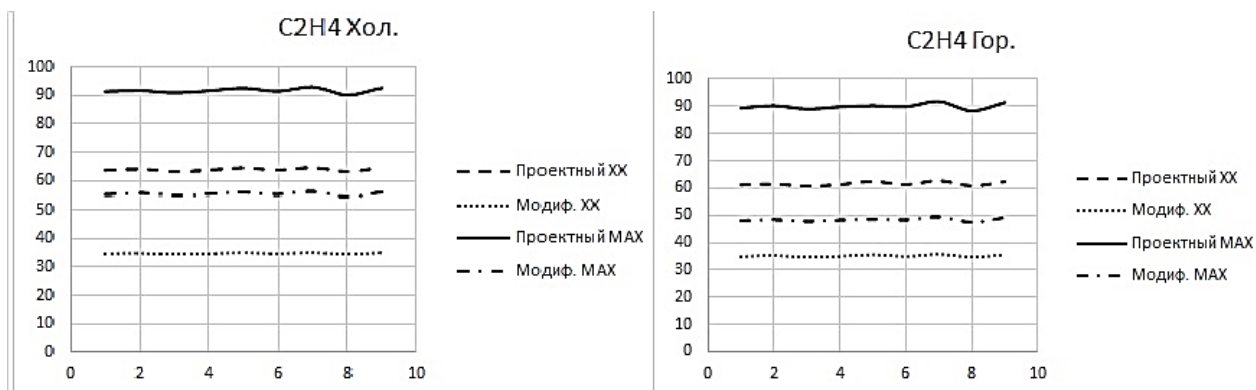


Рис. 2. Графики конверсии этилена

По результатам испытаний было определено, что наибольшую активность в снижении выбросов СО и СН проявляет медно-марганцевый катализатор. Полученные значения конверсии составили:

- для углеводородов на режиме холостого хода: 42% при непрогретом и 39% при прогревом ДВС;
- для углеводородов на режиме максимальных оборотов: 23% при непрогретом и 37% при прогревом ДВС;
- для монооксида углерода на режиме холостого хода: 53% при непрогретом и прогревом ДВС;
- для монооксида углерода на режиме максимальных оборотов: 45% при непрогретом и 47% при прогревом ДВС.

На основании данных испытаний сделан вывод, что расчёт рабочего процесса при использовании внутрицилиндровых катализаторов необходимо усовершенствовать, внедрив на стадии моделирования вредных выбросов коэффициенты конверсии вредных веществ. Данные коэффициенты представляли собой значение оставшихся выбросов вредных веществ от первоначальных при использовании оригинального поршня и были обозначены как θ_x , где x — конвертируемое соединение. В проведенном эксперименте установлено, что данные коэффициенты изменяются в следующих пределах: $\theta_{CH} = 0,58 \dots 0,77$; $\theta_{CO} = 0,47 \dots 0,55$.

Перспективы для сельского хозяйства. Использование дизельных и бензиновых ДВС в сельскохозяйственной технике продолжается и в настоящее время. Так, в 2023 г. российскими предприятиями было выпущено более 50000 единиц техники. Кроме того, более 19000 единиц техники было поставлено Минским тракторным заводом, а также увеличиваются поставки из Китая. Важно отметить, что внутрицилиндровый катализ в ДВС долгое время является объектом исследований и китайских научных работников, что отражено в работах [8, 9]. Кроме того, на сельскохозяйственных предприятиях, в коммунальных организациях и личных подсобных хозяйствах сохраняется большое количество техники, в том числе выпущенной ещё в советский период. Данная техника ввиду высокого запаса прочности узлов трансмиссии, ходовой части и ДВС отличается высокой долговечностью, а

продолжающийся выпуск запасных частей позволяет поддерживать её в хорошем техническом состоянии и модернизировать под современные экологические требования.

Согласно технической документации ремонт тракторных ДВС происходит примерно через 4,5...6,5 тыс. часов наработки. Вышеупомянутые нормы и требования постепенно ужесточаются в связи с введением новых стандартов, что приводит к постепенному вытеснению различных деталей, узлов и систем, произведенных по старой технологии. Так, для дизельных ДВС, используемых для сельскохозяйственной техники, нейтрализацию отработавших газов проводили при помощи стеклотканых катализаторов [10].

Также на ДВС устанавливаются и иные каталитические нейтрализаторы, описанные в работах [2–5, 7–9]. Применение модифицированных поршней совместно с каталитическими нейтрализаторами позволит повысить экологическую безопасность ДВС сельскохозяйственных машин, эффективность эксплуатации и модернизировать их в соответствии с современными экологическими стандартами.

Выводы. Внутрицилиндровый катализ является перспективным направлением для исследований в сфере двигателестроения и использования в сельскохозяйственной технике. Расчётные значения конверсии вредных веществ в двигателях различного назначения позволяют сделать вывод, что катализаторы подобного плана, например, медно-марганцевый, существенно улучшат экологические показатели как производимой, так и находящейся в эксплуатации техники в производстве и в личных хозяйствах. Для установления точных значений необходимы дальнейшие исследования рабочего процесса и совершенствование его расчёта.

Литература

1. **Определение значений коэффициентов каталитической конверсии монооксида углерода и несгоревших углеводородов в модифицированном малоразмерном двухтактном бензиновом двигателе** / П. В. Литвинов, В. А. Борисов, В. Р. Ведрученко, З. Н. Грязнова // Двигателестроение. – 2023. – № 2(292). – С. 35-53. – DOI 10.18698/jec.2023.2.35-53. – EDN KRKQBS.
2. **Farrauto R.J., Deeba M., Alerasool S.** Gasoline Automobile Catalysis and its Historical Journey to Cleaner Air. *Nat Catal.*, 2019, vol. 2, pp. 603-613. DOI: 10.1038/s41929-019-0312-9, EDN: HLUSKJ.
3. **Osipov A. R. et. al.** Catalytic coatings for improving the environmental safety of internal combustion engines//*Procedia Engineering*. 2016. Vol. 152. P. 59-66. EDN: XFLJEN.
4. **Тихонов, А.Р.** Каталитические нейтрализаторы отработавших газов. Достоинства и недостатки / А. Р. Тихонов, Д. А. Шиповалов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 6-1(25). – С. 75-76. – EDN SHLHCJ.
5. **Kaspar J., Fornasiero P., Hickey N.** Automotive Catalytic Converter Current Status and Some Perspective. *Catal. Today*, 2003, vol. 77, pp. 419-449. DOI: 10.1016/S0920-5861(02)00384-X, EDN: MBXBC.
6. **Моделирование статических и термических нагрузок поршня двухтактного двигателя, модифицированного каталитическими материалами** / П. В. Литвинов, В. А. Борисов, В. Р. Ведрученко [и др.] // Омский научный вестник. – 2022. – № 4(184). – С. 46-52. – DOI 10.25206/1813-8225-2022-184-46-52. – EDN CSRLAB.
7. **McEnally, C.S., Pfefferle, L.D., Atakan, B., Kohse-Höinghaus, K.** Studies of aromatic hydrocarbon formation mechanisms in flames: Progress towards closing the fuel gap. *Progress in Energy and Combustion Science* 32:3 (2006), 247–294, DOI: 10.1016/j.pecs.2005.11.003, EDN: XSWOXR.
8. **Wei, X., Zhang, M., An, Z., Wang, J., Huang, Z., Tan, H.** Large eddy simulation on flame topologies and the blow-off characteristics of ammonia/air flame in a model gas turbine combustor. *Fuel*, 298, 2021, 120846, DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120846.
9. **Yang, B., Sun, W., Moshhammer, K., Hansen, N.** Review of the influence of oxygenated additives on the combustion chemistry of hydrocarbons. *Energy Fuels* 35 (2021), 13550–13568, EDN: GHIRQE.
10. **Исследования степени эффективности стеклотканного катализатора в потоке отработавших газов дизеля** / Д. А. Арендарский, А. Г. Коротнев, В. Л. Петров [и др.] // Двигателестроение. – 2005. – № 2(220). – С. 43-46. – EDN KPYCVH.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ УБОРОЧНЫХ МАШИН

Общая методика разработки методов технического диагностирования рабочих органов сложных уборочных машин должна обеспечивать комплексный подход к техническому диагностированию, включающий следующие задачи: определение структурных параметров, выбор диагностических признаков, разработку динамических методов диагностирования, разработку электронных средств диагностирования, разработку средств и мероприятий по обеспечению взаимной приспособленности объектов диагностирования и диагностических средств, разработку технологии диагностирования, прогнозирование остаточного ресурса.

Инженерные исследования условий работы и функционирования зерноуборочных комбайнов, а также структурно-следственный анализ агрегатов и узлов рабочих органов показали, что основными структурными параметрами, характеризующими работоспособное состояние технологических агрегатов, являются зазор в подшипниках, неуравновешенность, изгиб и скручивание валов [1, 2, 3, 4].

В результате лабораторных и эксплуатационных исследований [5, 6, 7, 8] нами установлено, что с изменением технического состояния сопряжений кинематических пар (превышением зазоров выше допустимых значений), ослаблением креплений опорных элементов, нарушением уравновешенности рабочих органов вибрации конструкции зерноуборочных комбайнов возрастают в 2-3 раза. Следовательно, изменение вибрационного состояния панелей комбайна и опорных конструкций может служить диагностическим признаком неисправностей и использоваться при разработке методов и средств технического диагностирования.

Вместе с тем некоторые рабочие органы комбайна (очистка, соломотряс, полово-соломонабиватели) имеют ряд особенностей, которые оказывают влияние на постановку и методы решения задач диагностирования. Среди них можно отметить сложность кинематического движения, динамическую напряженность режимов их работы. Поэтому важной характеристикой работоспособности этих механизмов является соответствие между фактическими и конструктивно заданными законами движения их элементов, что может служить диагностическим признаком при оценке технического состояния по обобщенным параметрам. Учитывая характер работы технологических агрегатов зернокомбайна (динамическая напряженность), диагностирование должно проводиться в динамическом режиме при тестовом нагружении рабочих органов [1, 2].

Строгая последовательность функционирования технологической цепи зерноуборочного комбайна обязывает нас при решении задач диагностирования рассматривать его как сложную динамическую систему, процессы в которой подчинены действию различных физических законов.

В общем виде динамическую систему рабочих органов зерноуборочного комбайна можно представить в следующем виде (рис. 1).

Выделим следующие возмущения на исследуемую систему: крутящий момент $M_{кр}$; силы инерции $P_{ин}$; зазоры в подшипниках сопряжений $S, \sum S$; изгиб и скручивание валов J ; динамический тест P_m .

В качестве диагностических признаков принимаем: максимальную амплитуду вибросигнала A^{ec} ; фазу максимальной амплитуды вибросигнала U^{ec} ; амплитуду сигнала линейных перемещений A^x ; амплитуду сигнала угловых перемещений A^o ; угловое ускорение разгона ε .

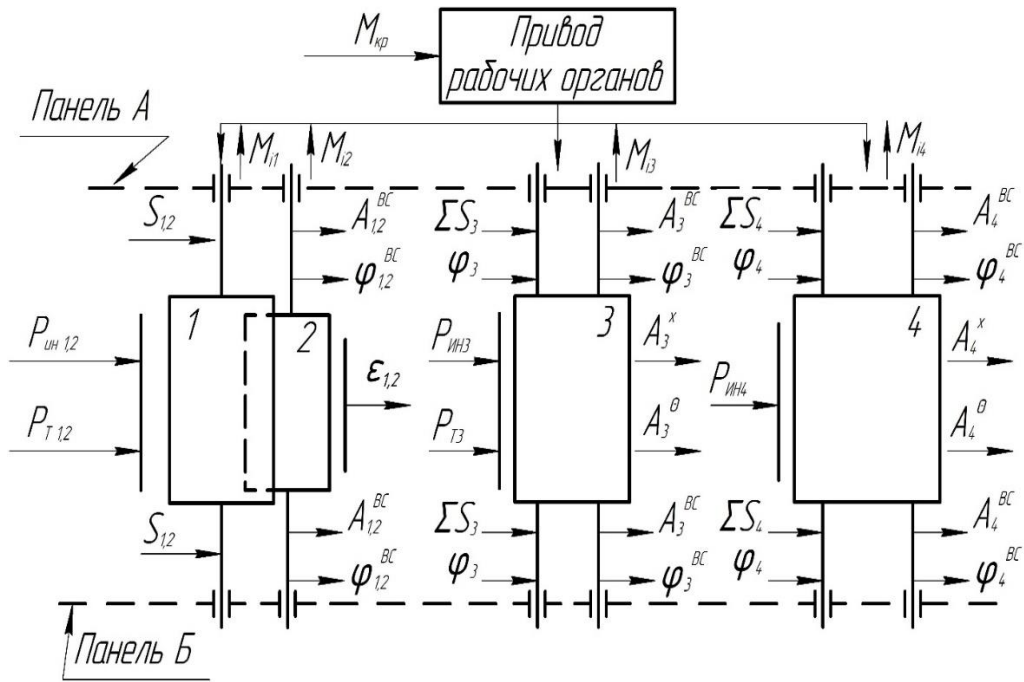


Рис. 1. Схема динамической системы основных рабочих органов зерноуборочного комбайна:
 1 – молотильный барабан; 2 – вентилятор очистки; 3 – очистка; 4 – соломотряс

Полностью учесть физические законы, действующие в данной системе, при математическом описании объекта пока невозможно. Однако математическую модель зерноуборочного комбайна как объект технической диагностики можно получить, используя методы параметрической идентификации [1, 7, 8].

Задача параметрической идентификации применительно к технической диагностике состоит в определении отклонения модели диагностируемого объекта от некоторого эталона, в качестве которого обычно применяется модель исправного объекта. Предлагаемый подход к диагностированию рабочих органов комбайнов позволяет определить место отклонений модели диагностируемого объекта и оценить его отклонения.

Схему диагностической модели зерноуборочного комбайна можно представить в следующем виде (рис. 2).

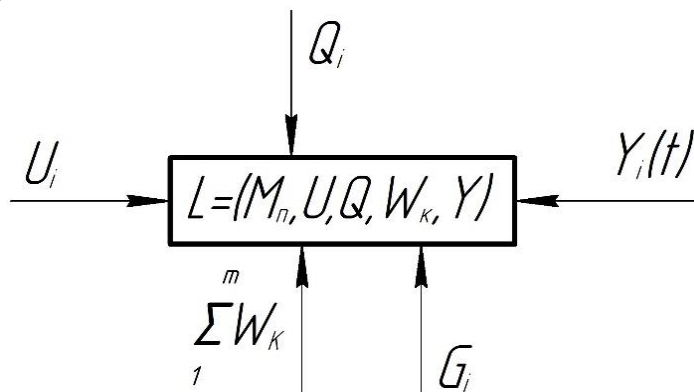


Рис. 2. Схема диагностической модели зерноуборочного комбайна

Состояние зерноуборочного комбайна как объекта диагностирования в общем виде характеризуется оператором L , который связывает выходные сигналы $y_i(t)$ датчиков с параметрами возмущений u_i , кинематического режима Q_i , окружающей среды G_i , а также с механическими параметрами M_n , которые зависят от совокупности конструктивных связей m

рабочих органов между собой $\sum_1^m W_k$. Все отмеченные параметры являются функциями времени. Возмущающие параметры V_i являются функцией совокупности возмущений, к числу которых относятся зазор в опорных элементах, дисбаланс рабочих органов, изгиб и скручивание валов.

Математическую модель зерноуборочного комбайна в исправном состоянии можно описать следующей зависимостью:

$$y = L(P, u), \quad (1)$$

где L – оператор (функция); P – вектор параметров; u, y – соответственно входные и выходные параметры комбайна.

Представим зерноуборочный комбайн как систему, в которой можно выделить подсистемы (рабочие органы) S_i $i = 1, \bar{K}$. Каждый рабочий орган S_i можно описать зависимостью:

$$x_i = L_i(P_i, \lambda_i),$$

где L_i – оператор; P_i – вектор параметров подсистемы; d_i, x_i – входные и выходные сигналы подсистемы.

Математическая модель (1) с выделенной подсистемой S_i будет иметь вид:

$$y = F_i[u, L_i(P_i, \lambda_i)], \quad (2)$$

где F_i – оператор, описывающий объект с выделенной подсистемой.

При возникновении неисправности в одной из подсистем комбайна её состояние будет описываться оператором:

$$L_i(q_i, \lambda_i),$$

где q_i – вектор параметров, $q_i \neq P_i$.

В общем случае модель неисправного объекта имеет вид:

$$z = F_i[u, B_i(\lambda_i)], \quad (3)$$

где z – выходной сигнал неисправного объекта.

Располагая моделью исправного комбайна (2) и сигналами u и z неисправного комбайна, можно определить места неисправности. С целью повышения эффективности диагностирования необходимо решать эту проблему на индустриальной основе, заключающейся в контроле технического состояния рабочих органов комбайна на всем этапе его существования (завод-изготовитель, сервисное предприятие, сельскохозяйственное предприятие) едиными средствами и по единой методике.

В результате теоретических исследований по изложенной методике разработаны следующие методы технического диагностирования основных рабочих органов уборочных машин [1, 6, 9, 10]:

1. Диагностирование технического состояния роторных рабочих органов (неуравновешенности) по угловому ускорению разгона, основанного на рассмотрении числовых статистических характеристик ускорения разгона при нормальном техническом состоянии и их изменении в связи с увеличением неуравновешенности;
2. Контроль неуравновешенности и проведение балансировки молотильного барабана по максимальной амплитуде и фазе вибрации тонкостенных панелей зерноуборочного комбайна;
3. Оценка технического состояния и остаточного ресурса опорных элементов рабочих органов комбайнов по их максимальной амплитуде вибрации;
4. Статический метод диагностирования рабочих органов с кривошипно-шатунным приводом, основанный на рассмотрении параметров состояния системы (угловое положение структурных звеньев) при исправном состоянии сопряжений кинематических

пар и изменении этих параметров с возрастанием зазоров (появление люфтов) в данных сопряжениях.

Комплексный подход к техническому диагностированию предусматривает разработку электронных средств диагностирования. В настоящее время в связи с широким внедрением в сельскохозяйственное производство установок, приборов и систем, построенных на элементах микроэлектроники, возникает необходимость определения оптимального соотношения между контрольными устройствами, встроенными на машине, и внешними диагностическими средствами. При решении данной задачи рекомендуется учитывать, что при использовании встроенных средств контроля повышается точность диагноза, снижается трудоемкость процесса диагностирования и вероятность ошибок определения остаточного ресурса агрегатов и сопряжений структурных звеньев. Названные преимущества способствуют более эффективной эксплуатации уборочных машин. Однако необходимо отметить, что при этом увеличивается стоимость машины, сложность конструкции, вследствие чего может уменьшиться надежность машин. Поэтому прежде всего необходимо рассчитать и провести сравнение минимума издержек по каждому контролируемому параметру при использовании встроенных и внешних средств.

Литература

1. **Новиков, М.А.** Надежность самоходных уборочных машин в современных экономических условиях / М. А. Новиков, Ю. Н. Сидыганов, В. Б. Неклюдов. — Йошкар-Ола, 2001. — 122 с.
2. **Новиков, М.А.** Общие принципы разработки и совершенствования методов технического диагностирования рабочих органов технологических машин предприятий по производству и приготовлению кормов / М. А. Новиков, К. Е. Муравьев, С. Б. Павлов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета /— СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет.: 2016. — С. 273–277.
3. **Смелик, В.А.** Технологическая надежность сельскохозяйственных агрегатов и средства ее обеспечения / В.А. Смелик. — Ярославль, 1999. — 230 с.: ил.
4. **Киприянов, Ф.А.** Предварительные результаты оценки технической надежности зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в условиях Вологодской области / Ф.А. Киприянов, А.Н. Водолазко, П.А. Савиных, В.А. Смелик // Адаптивное кормопроизводство. — 2018. — № 2. — С. 57-62.
5. Диагностирование и технологическая настройка, как факторы повышения эффективности функционирования агрегатов зерноуборочных комбайнов / М.А. Новиков, Д.В. Бутусов, А. Н. Перекопский [и др.]. // Экология и сельскохозяйственная техника. Т. 3. Экологические аспекты электротехнологий, мобильной энергетики и технических средств, применяемых в сельскохозяйственном производстве: Материалы 3-й научно-практической конференции. — СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2002. — С. 296-302.
6. **Новиков, М.А.** Повышение эффективности функционирования агрегатов зерноуборочных комбайнов на основе периодического вибродиагностирования / М.А. Новиков, Д.В. Бутусов, А.Н. Перекопский. // Механізація сільськогосподарського виробництва // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Випуск 11. — Харків : ХГТУСХ, 2002. — С. 172-175.
7. A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotating Machinery / M. Tiboni, C. Remino, R. Bussola, C. Amici. — DOI 10.3390/app12030972 // Applied Sciences. — 2022.
8. Application of the vibro-acoustic signal to evaluate wear in the spindle bearings of machining centres. In-service diagnostics in the automotive industry / W. Nawrocki, R. Stryjski, M. Kostrzewski [et al.]. — DOI 10.1016/j.jmapro.2023.02.036 // Journal of Manufacturing Processes. — 2023. — Vol. 92. — P. 165-178.
9. **Новиков, М.А.** Пути снижения вибрации зерноуборочных комбайнов при их функционировании / М. А. Новиков, А. М. Новиков, А. Н. Перекопский. // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК. — Ярославль: Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, 2003. — С. 139-142.
10. **Максимов, Д.А.** Способ контроля технического состояния механизма привода ножа режущего аппарата комбайнов "Дон" в условиях эксплуатации / Д.А. Максимов, М.А. Новиков, А. Н. Перекопский // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства № 66. — СПб.: СЗНИИМЭСХ, 1996. - С. 22-27.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО

Кандидат техн. наук **С.Б. ПАВЛОВ**
(ФГБОУ ВО НовГУ имени Ярослава Мудрого)
Доктор техн. наук **М.А. НОВИКОВ**
Кандидат техн. наук **Н.П. АЛДОХИНА**
(ФГБОУ ВО СПбГАУ)

Цены на горюче-смазочные материалы для производителей сельскохозяйственной продукции растут ежегодно. По оценке Министерства сельского хозяйства РФ, общие затраты аграрного сектора на них составляют свыше 200 млрд. руб. ежегодно. Замена их на природный газ способствовало бы сокращению затрат до 20% [1]. Применение газомоторного топлива позволит уменьшить эксплуатационные затраты на технику, увеличить эффективность производственного сектора, больше всего растениеводческого, снизить экологические ущербы окружающей среде от отработавших газов двигателей. В сельскохозяйственном производстве преимущественно дизельное топливо потребляется тракторами. Отработавшие газы двигателей, использующие природный газ по наиболее вредным компонентам в 1,5-5,0 раз менее опасны, чем выхлопы двигателей внутреннего сгорания, работающих на жидких моторных топливах [2].

Цель исследования – определение условий перевода мобильного машинно-тракторного парка на газомоторный вид топлива в условиях Новгородской области для уменьшения затрат на единицу продукции сельского хозяйства и снижения вредного воздействия на окружающую среду.

Материалы, методы и объекты исследований. Технологические процессы и комплексы технических средств, позволяющие снизить затраты на единицу продукции сельского хозяйства, повысить результаты экологической безопасности на основе использования в качестве топлива для двигателей природного газа.

Минсельхоз Российской Федерации совместно с ПАО «Газпром» разрабатывает программу закупки и перевода на природный газ сельскохозяйственной техники и зерносушильного оборудования [3]. Ее цель – создание мер господдержки сельхозпроизводителей, производителей газомоторной техники, передвижных автомобильных заправщиков, а также расширение линейки газомоторной техники и мобильной газозаправочной инфраструктуры. На начало 2024 г. в России имеется 836 газозаправочных станций. Российские производители сельскохозяйственной техники выпустили первые образцы тракторов и комбайнов на газомоторном топливе.

Целесообразность использования газа в качестве моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания поняли более 150 лет назад. Первые четырехтактные двигатели работали на светильном газе и только потом стали применять бензин. Принцип работы двигателей по газодизельному циклу Р. Дизель запатентовал еще в 1898 г. При этом способе в воздушный тракт дизеля вместо воздуха поступает газозоодушная смесь, которая поджигается запальной дозой дизельного топлива, впрыскиваемой через форсунки. При этом запальная доза не превышает 40% от максимальной подачи при работе двигателя на дизельном топливе.

В качестве основных факторов, показывающих эффективность замены традиционного вида топлива дизельной автотракторной техники на газомоторное, можно выделить:

- снижение топливных затрат в процессе эксплуатации вследствие более чем в два раза меньшей цены метана, в сравнение с дизельным топливом;
- уменьшение вредного воздействия на окружающую среду в виду почти полного отсутствия в выхлопных газах серных элементов и сажи;
- повышение моторесурса двигателей до двух раз, вследствие отсутствия процесса стекания масляной пленки на внутренних стенках цилиндров двигателя;

- улучшением условий труда механизатора в связи со снижением шумности работы двигателя;
 - обеспечение безопасности эксплуатации баллонного оборудования.
- Однако газомоторный вид топлива обладает некоторыми недостатками [4]:
- имеется более низкое содержание энергии в единице объема в сравнении с топливом в жидком виде;
 - сокращение продолжительности рабочего процесса после одноразовой заправки, вследствие чего требуется больше иметь природного газа в баллонах на энергетическом средстве;
 - трудности с пуском энергетического средства в условиях отрицательных температур, т.к. природный газ в сравнении с бензиновым и дизельным топливами воспламеняется при температуре около 187°С, а самовоспламеняется при 537°С.

Основной компонент природного газа — метан, применяется в качестве компримированного (сжатого) природного газа (КПГ) и сжиженного природного газа (СПГ), а также пропан и бутан, получаемые из попутного газа торфяных месторождений, используются в качестве моторного топлива как сжиженные углеводородные газы (СУГ).

На территории Новгородской области реализация подпрограммы «Развитие рынка газомоторного топлива» стартовала в 2021 году. В настоящее время здесь действуют 6 газовых автозаправок, а также 1 передвижная на базе специального автомобиля. Планируется ввести в эксплуатацию еще как минимум пять станций. В регионе до 40% автопарка общественного транспорта заправляется газомоторным топливом. Кроме этого, в соответствии с условиями действующей государственной поддержки, желающим оборудовать личное транспортное средство оборудованием, работающем на газе, предлагается снижение затратной стоимости на установку около 30%, а малый и средний бизнес даже около 50%. Что касается агропромышленного комплекса области, то аграрии используют только тракторов более 8,2 тысяч единиц.

Среди основных путей перевода машинно-тракторного парка предприятий на альтернативный (газовый) вид топлива можно выделить следующие [5]:

1. Приобретение новых автомобилей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, оборудованных двигателями с газомоторным топливом.

В условиях постепенного обновления машинно-тракторного парка возникает необходимость в оснащении ремонтных мастерских техническими средствами для использования и технического обслуживания газовой техники, переобучении персонала.

Достоинства: простота, экономичность. Недостатки: долгая реализация, полная замена старой техники займет 10-20 лет.

2. Смена дизельных двигателей и установка новых газовых двигателей.

Указанные направления схожи между собой, обладают едиными преимуществами, недостатками. Но при этом в комплексе газовые двигатели имеют худшие технические, экономические и экологические показатели по сравнению с газодизельными.

3. Переоснащение дизельных двигателей в газовые с использованием искрового зажигания.

В качестве преимуществ данного направления можно отметить: исключая создание новых производств, используя минимальные затраты возможно получение двигателя, обладающего меньшим числом степени сжатия, значительно экономичный цикл рабочего процесса, доступность переоснащения на собственной ремонтной базе сельскохозяйственных предприятий.

Недостатками являются: двигатели с использованием искрового зажигания превращаются в однопаливные, при этом повышается зависимость от числа заправочных операций, а также усложняется эксплуатация при отрицательных температурах.

4. Осуществление на применяемом дизельном двигателе совместно газового и дизельного рабочих процессов.

Создание двухтопливных двигателей вызывает наибольший интерес [6]. Рабочий процесс осуществляется по обычному режиму: запуск двигателя осуществляется как обычно, после чего он начинает работать на газодизельном режиме. Для осуществления данного направления мобильная сельскохозяйственная техника оборудуется газовой аппаратурой, работающей одновременно с дизельной.

Преимуществами являются: минимальные конструктивные изменения, возможно использование в работе жидкого и газового топлива. То есть в условиях сельскохозяйственных производственных организаций появляется возможность перевода за короткие сроки на газовый вид топлива много техники, в том числе и той, которая не выработала свой ресурс.

Однако, техника, работающая одновременно на газовом и дизельном топливе, имеет по сравнению с базовой: увеличенную эксплуатационную массу вследствие добавления газобаллонного оборудования: если установлены стальные баллоны с улучшенной сталью повышение достигает около десяти процентов для разных тяговых классов трактора, применение баллонов из металлопластика – от четырех до шести процентов, а также большую длительность рабочего процесса после одного процесса топливной заправки [5].

Процесс перевода машинно-тракторного парка на газовый источник питания в основе размещения необходимого числа баллонных емкостей следует выполнять некоторые требования:

- обязательное использование всережимного регулятора угловой скорости коленвала;
- обеспечение: удобства сцепления тракторной навески или прицепа с сельскохозяйственной машиной или транспортным оборудованием; возможности применения тракторного вала отбора мощности для привода рабочего технологического оборудования;
- распределенная масса трактора между осями не должна приводить к снижению тягово-сцепных характеристик, нарушению возможности использования навески технологического оборудования;
- сохранение удобства выполнения технических обслуживающих операций;
- соблюдение агротребований, связанных с воздействием ходовой системы на почвенный пласт, а также с безопасностью работы.

Соблюдение этих условий важно, так как почти половина тракторов (4 тыс. штук) эксплуатируемые аграриями Новгородской области являются белорусскими, а основной трактор МТЗ-80/82 и размещение на них необходимого числа баллонов является проблематичным.

Для переоснащения машинно-тракторного парка газомоторным оборудованием необходимо организовать заправку машин природным газом. Общая площадь Новгородской области - 54,5 тыс.км², площадь сельскохозяйственных угодий - 602,1 тыс. га, из них 425,4 тыс.га - пашня. На территории региона работают 133 сельскохозяйственных организаций развитых организационно-правовых форм, 795 крестьянско-фермерских хозяйств и 191 тыс. личных подсобных хозяйств. Стационарных газонаполнительных станций (АГНКС) в регионе мало и хозяйства находятся на значительном расстоянии от них, а создание на базе крупных сельскохозяйственных предприятий газозаправочных станций требует, как минимум подключение к газовой магистрали и достаточной мощности последней. Уровень газификации в Новгородской области на сегодняшний день составляет 64%.

Одним из вариантов заправки сельскохозяйственной техники является применение мобильных специализированных транспортных средств с цистернами для газа. В связи с особенностью работы сельскохозяйственной техники, заправка тракторов, комбайнов должна производиться в поле.

Как показывает практика, количество необходимых топливных ресурсов в сельскохозяйственном предприятии определяется периодом выполнения работ (весенне-летний, осенне-зимний). Учитывая, что загрузка техники в эти периоды разная, то возникает необходимость заранее планировать бесперебойную поставку топливо-смазочных материалов.

В нашей стране налажен выпуск мобильных автозаправщиков газом (МАЗГ) в виде седельных тягачей.

В качестве важных недостатков использования МАЗГ можно выделить:

- возможные задержки с заправкой полевой автотракторной техники газом из-за значительного рассредоточения мест их работы по территории хозяйства;
- трудности с перемещением большегрузных МАЗГ на полевых участках маршрутов.

Вследствие вышеназванных причин применение мобильных автозаправщиков газом внутри (особенно небольших) хозяйств становится экономически невыгодно

В нашей стране находит широкое распространение новое направление формирования газозаправочных станций в виде стационарно-передвижных блоков [6], которые оснащаются всем необходимым оборудованием для подготовки и заправки. Блоки по необходимости перемещают грузовым транспортом (автомобильным или тракторными прицепами), разгружают на краю поля, заправку газом механизаторы осуществляют сами.

Производительность машинно-тракторных агрегатов в газодизельном и дизельном режимах имеет небольшую разницу. Эффективность газодизельного топлива растет с повышением рабочей нагрузки энергетического средства.

Переоснащение машинно-тракторного парка газомоторным оборудованием способствует снижению (до тридцати процентов) расхода топливо-смазочных материалов, при этом дополнительные затраты на переоснащение возмещаются в течение одного - полутора лет. Согласно исследованиям [7,8] максимальная эффективность перевода на компримированный природный газ получена от энергонасыщенных тракторов. Мощный трактор К-701 окупает затраченные средства на переоборудование его на природный газ за 0,9 года. Вложения в переоборудование трактора Т-150 (время его работы 1,7 тыс. мото-ч/ год) при использовании газодизельной смеси в пропорции 60:40 могут быть возвращены за 1 год [1,9]. Комбайны «Палессе КЗС-4118К», разработанные Гомельским заводом сельскохозяйственного машиностроения, обладают преимуществом повышенной экономичности (до пятидесяти процентов) вследствие более дешевого газодизельного топлива, а также более щадящего влияния на природу. Специальное автоматизированное заправочное оборудование осуществляет операцию заправки в течении десяти минут [10].

Выводы. С целью переоснащения машинно-тракторного парка газомоторным оборудованием, необходимо:

- организовать серийное производство сельскохозяйственной техники (мобильные машины, сушилки, теплогенераторы и др.) работающей на газомоторном топливе;
- создать специализированные дилерские центры, осуществляющие все работы от оснащения до контроля за эксплуатацией автотракторной техники, оборудованной газовыми системами;
- создать заводское производство мобильных автозаправщиков газом (МАЗГ) в виде автомобильных или тракторных седельных тягачей с полным приводом;
- создать рациональную логистическую сеть доставки газового топлива к местам работы автотракторной техники, стационарного оборудования в условиях крупных и средних сельскохозяйственных предприятий различных форм собственности.

Л и т е р а т у р а

1. **Поддать газу. Каков потенциал перевода российской сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо** [Электронный ресурс]. – URL: <http://agroinvestor.ru>markets|:article/42094-poddad-gazu...> (дата обращения 16.04.2024).
2. **Гнедова Л.А., Гриценко К.А., Лапушкин Н.А., Перетряхина В.Б.** Эффективность применения ГМТ в сельском хозяйстве //Транспорт на альтернативном топливе. –2016, №1 (49). – С. 24-33.
3. **Сельскохозяйственные машины.** Примеры основных базовых машинных энергосберегающих технологий производства продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона РФ. Задания для курсовой работы: учебно-методическое пособие / С.Б.

- Павлов, М.А. Новиков, В.А. Смелик, А.Н. Перекопский, Н.П. Алдохина; Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого – Великий Новгород, 2023. – 71 с.
4. **В 2024-м году в России появится программа перевода сельхоз техники на природный газ** [электронный ресурс]. – URL: <http://salt.news>>Сельское хозяйство»...-perevoda-selhostechniki... (дата обращения 25.03.2024).
 5. **Картошкин А.П.** Организация перевода автотракторной техники на газомоторное топливо // Сельскохозяйственные вести. – 2014. – №2. – С. 38-39.
 6. **Проведение исследований, разработка технологии и технических предложений по использованию газомоторного и альтернативных видов топлива для сельскохозяйственной техники нового поколения** [электронный ресурс]: отчёт НИР/А.В. Неговора, К.В. Костарёв, М. М. Рязанов и др.; Башкирский ГАУ. – Уфа, 2020. – 140 с. – Режим доступа: <http://www.apknet.ru>>ispolzovaniye -gazomotornogo-i... (дата обращения 5.03.2024).
 7. **Шайхутдинов Н.Ф., Рамазанов Д.И.** Использование природного газа в качестве газомоторного топлива в сельском хозяйстве // Матер. юбилейного XXX междунар.науч.-технич. семинара им. Михайлова В.В. «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» – Саратов: СГАУ, 2017 – С. 199-202.
 8. **Савельев Г. С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Коклин И.М.** Использование природного газа в качестве моторного топлива для сельскохозяйственной техники // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014, №1(37). – С. 40-48.
 9. **Смелик В.А.** Технологическая надежность сельскохозяйственных агрегатов и средства ее обеспечения / В.А. Смелик. – Ярославль, 1999. – 230 с.: ил.
 10. **Новиков М. А., Сидыганов Ю. Н., Неклюдов В. Б.** Надежность самоходных уборочных машин в современных экономических условиях. – Йошкар-Ола, 2001. – 122 с.

УДК 656.073

Канд. техн. наук **С.Н. ПЕРЦЕВ**
(ФГБОУ ВО СПбГАУ)

Канд. техн. наук **К.Е. МУРАВЬЕВ**
(ФГБОУ ВО СПбГАУ)

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ПЕРЕВОЗКАМ

Транспортные работы, выполняемые в сельском хозяйстве, отличаются большим разнообразием перевозимых грузов. Основная и побочная продукция отраслей земледелия и животноводства составляют до 45 наименований грузов, причем 30-35 видов грузов перевозятся для обеспечения производственных процессов. При возделывании различных культур в растениеводстве почти треть общих затрат труда составляют грузоперевозки, в животноводстве они составляют 17%. Исходя из этого себестоимость сельскохозяйственной продукции зависит от транспортных расходов.

Сельскохозяйственные грузы агропромышленного комплекса – это продукция сельскохозяйственного производства, посевные и посадочные материалы, удобрения, корма, топливо и запчасти для сельскохозяйственных машин и др. Перевозки сельскохозяйственных грузов различают внешнехозяйственные и внутрихозяйственные в зависимости от территории, на которой выполняются работы. Отличительная черта сельскохозяйственных перевозок - неравномерность в течение года. Увеличение объемов перевозок происходит во время уборки урожая и заготовки продукции.

Эффективное использование, расчет оптимального количества транспортных средств для выполнения перевозок грузов в запланированные сроки с минимумом затрат является важнейшей задачей.

Логистические стратегии на транспорте позволяют оптимизировать затраты, повысить надежность и сократить сроки перевозок. Усиление санкционного давления на РФ со стороны ряда стран положительно повлияло на логистическую составляющую АПК [1].

Правильные и оптимальные логистические решения позволяют снизить издержки на производство продукции и, следовательно, её себестоимость. Огромная роль в этом принадлежит автомобильному транспорту по сравнению с тракторным из-за большого объема перевозок.

Результаты исследований. Успешное развитие агропромышленного комплекса дает возможность обеспечения продовольственной безопасности РФ, развития внутреннего обеспечения сельскохозяйственной продукцией. Логистические подходы, направленные на снижение себестоимости производимой продукции, позволяют сократить затраты сельскохозяйственных предприятий [1].

Применяемые в настоящее время технологии производства сельскохозяйственных культур, направленные на увеличение урожайности и валового сбора за счет рационального внесения минеральных и органических удобрений, определяют объем транспортных работ. Расстояние перевозки с полей, дорожные условия, уровень механизации погрузочно-разгрузочных работ, структура транспортных средств в хозяйстве и правильный выбор их для перевозки грузов сказываются на работе транспорта, эффективность и результаты работы сельскохозяйственного предприятия.

В «Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года» указано, что среднегодовой темп прироста продаж сельскохозяйственной техники в период с 2017 по 2030 год составит 1,4%. Суммарный объем рынка сельскохозяйственной техники (с учетом прицепной техники) достигнет к 2030 г. 265 млрд рублей при устойчивом росте отрасли на 3% в год. Это вызовет рост грузооборота транспорта в АПК РФ и увеличит влияние транспортной логистики [2].

Эффективность сельского хозяйства в значительной степени зависит от уровня его транспортного обслуживания, характеризуемого большими объемами перевозок и многообразием перевозимых грузов. В агропромышленном и рыбохозяйственном комплексах в 2030 г. по отношению к уровню 2020 г. индекс производства продукции агропромышленного комплекса (в сопоставимых ценах) составит 129,7 %, что вызовет рост объемов перевозок [3].

Рациональная организация транспортных работ и применение наиболее эффективных средств транспорта позволят снизить затраты труда на перевозку грузов в 1,5–2 раза [4]. Выбранный для сельского хозяйства транспорт должен быть экономически эффективен. Большегрузные автомобили выгодны для внешних перевозок. Тракторы и самосвалы эффективнее использовать на внутривозвратных перевозках. Колесные тракторы имеют возможность движения как по асфальтированным, так и по грунтовым дорогам, но не на большие расстояния. Удельный вес тракторных перевозок в сельском хозяйстве составляет 22-27% от общего объема транспортных перевозок и 50-60% объема внутривозвратных перевозок [4].

Логистический подход предполагает не обособление и определение места каждой из стадий или фазы производства, а представление всего производства в целом, единой и неделимой системой. Основой функционирования такой системы стал конечный результат производства, как количественный, так и качественный. Такой подход позволяет искать резервы не в производстве, где резервы практически исчерпаны, – их следует искать в совершенствовании сферы обращения.

Для эффективного использования транспортных средств важно обеспечить такое количество машин, которое обеспечит:

- оптимальные агротехнические сроки,
- точность и своевременность выполнения технологических операций,
- сохранность и качество продукции,
- выполнение перевозок грузов в необходимых объемах,
- минимум транспортных затрат в производстве сельскохозяйственной продукции.

Особенно высоки затраты труда и средств на транспорт в период уборки и перевозки продукции урожая. Поэтому задача рациональной организации использования транспорта на уборке зерновых, картофеля, сахарной свеклы и других культур состоит в том, чтобы создать

условия для высокопроизводительной работы уборочных агрегатов и обеспечить своевременную перевозку урожая. Для рациональной организации транспортного процесса при вывозке урожая с полей с обеспечением поточности проведения уборочных операций создают уборочно-транспортные комплексы.

Основные технологические особенности уборки, например, зерновых культур [5]:

- необходимость рассмотрения работ по уборке, транспортировке и послеуборочной обработке зерна в качестве единого производственного процесса,
- согласование объемов уборочных работ с работой по приему и обработке зерна с возможностью по транспортировке зерна,
- проведение уборки только по одному или двум вариантам технологии иначе значительно снижается общий темп уборки,
- жесткое соблюдение технологических операций уборки с целью минимизации простоев техники,
- оперативное воздействие на уборочный процесс.

При уборке урожая зерновых для ликвидации простоев комбайнов в ожидании разгрузки и транспортных средств в ожидании погрузки применяются различные технологические схемы транспортного обслуживания (например, мобильные накопители-погрузчики, прокладка разгрузочных магистралей, бункера-перегрузчики, выгрузка зерна из бункера на ходу). В этом случае практическая задача по определению оптимальных составов уборочно-транспортных звеньев, маршрутов движения транспортных средств, мест расположения пунктов приема зерна и т. п. является основной логистической задачей [4].

При этом надо иметь в виду, что суточная производительность зерноуборочных комбайнов может превышать в несколько раз возможности обработки зерна на зернохранилищах хозяйств в виду плохой обеспеченности хозяйств техническими средствами для послеуборочной обработки зерна и подготовки семян [5, 6].

Логистические подходы организации четкой и слаженной работы транспорта предполагают [7]:

- оперативное планирование перевозок;
- выбор и организацию рациональных маршрутов движения;
- учет расстояния перевозок;
- распределение и закрепление транспортных средств по маршрутам, видам перевозок;
- эффективное использование средств механизации погрузочно-разгрузочных работ;
- четкость диспетчерского управления перевозками.

При организации перевозок рассчитывается потребность в транспортных средствах для выполнения работы. Для производственного транспорта оптимальное количество транспортных средств определяется по условию равенства производительности группы технологических машин и группы транспортных средств. Исходными данными для определения объема перевозок грузов и потребности в транспортных средствах являются запланированные объемы производства: размер посевных площадей и урожайность сельскохозяйственных культур, поголовье животных и их продуктивность, потребность в кормах, удобрениях, топливе и смазочных материалах [9].

На основании полученной расчетным путем информации для согласования работы погрузочно-разгрузочных и транспортных средств строят графики движения, называемые часовыми. Рациональная организация транспортного процесса по часовому графику предусматривает оперативный контроль за работой транспортных агрегатов в соответствии с графиком (диспетчерская служба) и работой погрузочно-разгрузочных агрегатов и приемных пунктов. При организации работы по правильно составленному графику производительность транспортных агрегатов повышается на 20-30% [6].

В процессе проведения комплексного анализа ключевых особенностей грузов большую роль играет выбор транспортного средства, а также формирование маршрута. От объема товара или груза зависит подготовка автомобиля для перевозки.

Решающими факторами при выборе типа подвижного состава являются

производительность и себестоимость перевозки.

Часовая производительность транспортных средств по произвольному маятниковому маршруту ($\beta_M = 0,5$) [8]:

$$W_Q^ч = \frac{q_n \cdot \gamma_{ст} \cdot V_T \cdot \beta_M}{l_{ге} + t_{пр} \cdot V_T \cdot \beta_M}, \frac{т}{ч} \quad (1)$$

где q_n - номинальная грузоподъемность подвижного состава, т;

$\gamma_{ст}$ - коэффициент использования грузоподъемности;

$l_{ге}$ - пробег с грузом за езду;

β_M - коэффициент использования пробега;

V_T - техническая скорость;

$t_{пр}$ - время простоя под погрузкой и разгрузкой.

Себестоимость единицы транспортной работы является обобщенным оценочным показателем при выборе подвижного состава. Экономически целесообразным будет подвижной состав минимальной величиной себестоимости:

$$C_1 = \frac{1}{q_n \cdot \gamma_{ст}} \left[\frac{l_{ге}}{\beta_M} \cdot S_{пер} + S_{зп} + \left(t_{пр} + \frac{l_{ге}}{V_T \cdot \beta_M} \right) S_{пост} \right], \text{руб.}, \quad (2)$$

где $S_{пер}$ – переменные расходы на 1 км пробега, руб. (расход на топливо, шины, ТО и ТР, амортизацию, на капитальный ремонт); $S_{зп}$ – расходы по заработной плате на езду, руб.;

$S_{пост}$ – постоянные расходы на 1 час работы, руб. (накладные расходы и амортизационные отчисления на восстановление подвижного состава).

Вторым показателем в оценке эффективности использования подвижного состава является рентабельность перевозок:

$$R = \frac{D \cdot S_э}{S_э} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где D – доходы от перевозок, исчисленные по действующим тарифам и правилам, руб./т;

$S_э$ – эксплуатационные расходы, руб./т.

Окончательный выбор рационального подвижного состава определяется его количеством

$$A_э = \frac{U^{пл}}{W_p^{см}}, \quad (4)$$

где $U^{пл}$ – плановое задание по грузообороту; $W_p^{см}$ – сменная производительность автомобиля.

Такая технико-экономическая оценка транспорта дает огромные практические возможности при выборе экономически правильного решения повышения эффективности использования подвижного состава. В этих формулах показатели разделены на две группы: не зависящие от конструкции автомобиля и зависящие от уровня организации его использования. Повышение производительности транспорта может быть достигнуто повышением уровня почти всех показателей, входящих в формулы, за исключением номинальной грузоподъемности и вместимости. Расчетные показатели при практическом использовании транспортных средств будут характеризовать уровень интенсивности работы подвижного состава.

С улучшением этих показателей связаны конкретные вопросы технологии и процесса перевозок, например, обеспечение высокой технической готовности подвижного состава, уровень механизации труда при обслуживании и ремонте подвижного состава.

Практика использования уборочно-транспортного процесса показала рациональный состав транспортного звена для уборочного звена, состоящего из комбайнов одинакового класса. При этом применение транспортных средств большей грузоподъемности для обслуживания звена комбайнов 3 и 4 классов нецелесообразно [11].

При транспортировке зерна от комбайнов 5-6 класса целесообразнее использовать транспортные средства большей грузоподъемности. Это связано с тем, что объем перевозимого зерна транспортными средствами малой грузоподъемности не кратен объему бункера, что ведет к большим простоям или транспортного средства в ожидании загрузки или комбайна в ожидании транспортного средства. Применение тракторов с прицепами на транспортных работах возможно лишь для комбайнов большой производительности и при небольших расстояниях транспортировки [11].

Использование тракторных поездов на тяжелых участках по полю, а дальше перевозка грузов автомобилями является целесообразным. Такая система повышает производительность и снижает себестоимость перевозок [10].

Использование бункеров-накопителей зерна позволяет исключить простои комбайнов при правильной организации процесса.

Но надо иметь в виду, что даже простая погрузка зерна, производимая в автомобиль непосредственно из бункера комбайна без его остановки, по сравнению с выгрузкой с остановкой комбайна повышает производительность комбайна на 10...20% [9].

Логистический подход подразумевает рациональную организацию производственных процессов в сельском хозяйстве на основе пропорциональности, согласованности, равномерности и поточности. Нарушение ритмичности и равномерности объема перевозок отрицательно влияет на конечные результаты. Сюда можно отнести согласованность транспортных и погрузочно-разгрузочных работ, сбой в которой приводит к неполному использованию подвижного состава, перерасходу материальных, трудовых и денежных средств [11].

Важным показателем при логистическом подходе к транспортному процессу является расстояние перевозок. Зависимость удельных транспортных издержек на 1 т. груза практически прямо пропорционально средней длины ездки с грузом. Неудовлетворительное состояние дорог снижает техническую скорость до 3–5 раз, увеличивая расход топлива в 2–2,5 раза, а себестоимость перевозок - в 3–5 раза.

Все вышесказанное приводит в соответствие с условиями производства структуру транспортного парка. Здесь учитываются структура грузов и объем транспортных сельскохозяйственных перевозок. Большое значение имеет наличие твердого покрытия внутрихозяйственных дорог. Оптимальный состав автотракторного парка в конкретных хозяйствах формируется в зависимости от условий его использования, технико-экономических показателей транспортных средств и имеющихся средств механизации погрузочно-разгрузочных работ.

Использование цифровых технологий в агропромышленном комплексе помогает организовывать работу на более высоком профессиональном уровне, эффективнее использовать материальные, трудовые и финансовые ресурсы [12].

Применение GPS и ГЛОНАСС сокращает потери во время проведения с.-х. работ, приводит к увеличению производительности транспорта [13, 14].

Развитие АПК РФ на современном этапе требует подготовки квалифицированных инженерно-технических кадров, умеющих организовывать, планировать, вести учет и анализ использования транспорта. В своей работе агроинженер, находясь в цифровом пространстве, должен уметь организовывать информационно-аналитическую деятельность с помощью цифровых технологий, обеспечивая конкурентоспособность предприятия [15].

Выводы. Для развития и обеспечения функционирования АПК РФ транспортная логистика играет одну из ключевых ролей, что во многом обусловлено высокой долей транспортных затрат в общей структуре себестоимости продукции сельского хозяйства. Транспорт в сельском хозяйстве также обеспечивает существующие технологические и производственные процессы в отрасли и ее взаимосвязь и взаимодействие со смежными сферами экономики в условиях жесткого внешнего санкционного давления. Оптимизация перевозок грузов в сельском хозяйстве позволяет структурировать процесс и минимизировать расходы.

Л и т е р а т у р а

1. **Зюкин, Д.А. и др.** Роль транспортной логистики в развитии российского агропромышленного комплекса. // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – Том 66, № 5 (395). – С. 471-474.
2. **Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года** [Текст]: Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2017 № 1455-п // Рос. газ. - 2017. – 17 июля. – С. 10.

3. **Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 года** [Текст]: Распоряжение Правительства РФ от 08.09.2022 № 2567-р // Рос. газ. - 2022. - 10 сент. - С. 10.
4. **Пискачев, И.А.** Повышение сохранности сельскохозяйственной продукции при транспортировке / И. А. Пискачев. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 11.3 (145.3). - С. 49-51.
5. **Лабодаев, В.Д.** Организация эффективного использования комбайнов и транспортных средств на уборке зерновых / В. Д. Лабодаев, Д. И. Криваль // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, 4-6 июня 2014 г. В. 2 ч. Ч. 2. - Минск: БГАТУ, 2014. - С. 239-243.
6. **Ружьев, В.А.** Моделирование управлением смешанными перевозками при оптимизации эффективности логистических систем / В.А. Ружьев, Р.Ю. Максименко // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, Санкт-Петербург-Пушкин, 28–30 января 2016 г. / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Том Часть I. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2016. – С. 435-437. – EDN WFCVBX.
7. **Повышение эффективности уборочно-транспортных работ при уборке зерновых культур.** URL: https://dzen.ru/a/xrk4oivhnqk44ars?Share_to=link (дата обращения: 12.03.2024).
8. **Касаткин, Ф.П.** Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: учебное пособие для высшей школы / Ф.П. Касаткин, С.И. Коновалов, Э.Ф. Касаткина. — М.: Академический Проект, 2015. — 352 с. — ISBN 5-8291-0384-2. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/36868> (дата обращения: 15.03.2023).
9. **Перцев, С.Н.** Логистика на транспорте: Учебно-методическое пособие / С.Н. Перцев, К.Е. Муравьев. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2022. – 78 с.
10. **Астафьев, В.Л.** Обоснование транспортного обеспечения на уборочных работах / В. Л. Астафьев, И. И. Султанов // Вестник науки и образования. – 2018. – № 15-1(51). – С. 24-29.
11. **Соцкая, И.М.** Оптимизация перевозок сельскохозяйственных грузов / И.М. Соцкая, Е. В. Соцкая // Инновационные инженерно-технические решения в АПК: Сб. научн. тр. – Ярославль: ФГБОУ ВПО ЯГСХА, 2018. – С. 114-121.
12. **Ружьев, В.А.** Эксплуатация транспортно-технологических комплексов в информационно-навигационных системах управления точными агротехнологиями / В.А. Ружьев, В.А. Смелик, И.З. Теплинский // Технологии и средства механизации сельского хозяйства: Белому императорскому гаражу 100 лет / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Редакционная коллегия: М.А. Новиков, В.А. Смелик, Б.И. Вагин, Э.П. Бабенко Научный редактор: Е.И. Давидсон. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2013. – С. 77-80. – EDN SMDNAX.
13. **Ружьев, В.А.** Информационно-навигационные системы управления точными агротехнологиями / В.А. Ружьев, К.В. Кожевников // Вестник Студенческого научного общества. – 2013. – № 1. – С. 436-439. – EDN SMBGJN.
14. **Кокунова, И.В.** Экологические аспекты применения точного земледелия / И.В. Кокунова, В.А. Ружьев // День Балтийского моря: Сборник материалов XVII Международного экологического форума, Санкт-Петербург, 22–23 марта 2016 года. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. – С. 38-39.
15. **Толочко, Н.К.** Цифровые технологии в техническом сервисе / Н.К. Толочко, Н.Н. Романюк // Цифровизация агропромышленного комплекса: Сб. научн. ст., Тамбов, 10–12 октября 2018 г. Том 1. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2018. – С. 141-143.

ПОЛЕВЫЕ РОБОТЫ КАК СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Полевые роботы действительно представляют собой инновационное решение для сельского хозяйства. Они могут выполнять различные задачи, такие как посев семян, прополка, сбор урожая и мониторинг состояния посевов. Использование роботов в сельском хозяйстве помогает увеличить производительность и эффективность, снизить затраты на рабочую силу и минимизировать воздействие на окружающую среду за счет дифференцированного применения минеральных удобрений и пестицидов [1, 2]. Кроме того, роботы могут работать круглосуточно и в любых погодных условиях, что делает их очень полезными для различных технологических операций (рис. 1).



a



б



в



г

Рис. 1. Современные полевые роботы:

a – Agrointelli Robotti 150D: автономный полевой робот (Дания); *б* – AutoAgri ICS 20 (Норвегия);
в – AgXeed AgBot 2.055W4 (Нидерланды); *г* – FarmDroid FD20: автономный полевой робот (Дания)

Agrointelli Robotti 150D (рис. 1, *a*) представляет собой динамичное решение для современного сельского хозяйства. Этот автономный держатель навесного оборудования, разработанный в Дании, предназначен для работы, в основном, с пропашными культурами, обеспечивающих «точное» выполнение технологических операций. Также Agrointelli Robotti 150D идеально подходит для садоводческих работ, он поддерживает широкий спектр задач, таких как посев, прополка, опрыскивание и многое другое.

Robotti 150D, оснащенный двумя дизельными двигателями общей мощностью 144 л.с., по мощности не уступает трактору среднего размера, но работает полностью без водителя (Энергетический запас/диапазон: 100-литровые дизельные баки (2 шт.), запас хода (автономной работы) – 18 ч.). Наличие стандартного трехточечного сцепного устройства и

ВОМ обеспечивают универсальную совместимость с различным навесным оборудованием, что позволяет легко адаптировать его под любые нужды сельского хозяйства.

Робот оснащен RTK-GPS, что позволяет переносить с.-х. орудие в центр. Это означает, что вес равномерно распределяется на все 4 колеса, поэтому компенсация веса не требуется. Aggointelli Robotti 150D работает с высокой точностью позиционирования на поле и аккуратностью, сохраняя при этом низкий общий вес.

AutoAgri ICS 20 (рис. 1, б) – это многофункциональный носитель навесного оборудования, доступный в полностью электрическом и подключаемом гибридном вариантах, разработанный для экологически чистых и точных технологических операций.

Робот AutoAgri ICS 20 – это новое определение эффективности сельского хозяйства благодаря своим полностью электрическим (ICS 20 E) и подключаемым гибридным версиям (ICS 20 HD). Он рекомендуется сельхозтоваропроизводителям, заботящихся об окружающей среде, сокращая эксплуатационные расходы и минимизируя воздействие на окружающую среду за счет точного земледелия и низкого уплотнения почвы.

Благодаря 65-литровому дизельному двигателю плюс аккумулятору емкостью 10 кВтч в гибридной модели и аккумулятору емкостью 60 кВтч в электрической версии ICS 20 сочетает в себе мощность и экологичность. Он обеспечивает значительное сокращение выбросов, а электрическая модель позволяет вести сельское хозяйство с нулевым уровнем выбросов.

ICS 20 предназначен для автономной работы под управлением GPS и датчиков, обеспечивая точность выполнения операций днем и ночью.

AgXeed AgBot 2.055W4 (рис. 1, в) – автономный сельскохозяйственный робот – это высокопроизводительная универсальная машина для обработки и ухода за легкими почвами, предназначенная для автономной работы, повышающая эффективность ведения сельского хозяйства.

Компания AgXeed (Нидерланды) оснастила AgBot расширенными функциями, такими как стандартные регулирующие клапаны, комплексные системы безопасности, включая обнаружение LiDAR, а также камерами переднего и заднего вида, что обеспечивает безопасное и автономное выполнение технологических операций.

Робот включает в себя систему Geofence, визуальные и акустические предупреждения, кнопки аварийной остановки, а также интегрированную систему обнаружения препятствий с лидарными, ультразвуковыми и радарными датчиками для обеспечения безопасности во время работы.

AgBot оснащен четырехтактным дизельным двигателем Deutz объемом 2,9 л, обеспечивающим мощность 75 л.с. и максимальный крутящий момент 300 Нм. Дополнительный электрический ВОМ и высоковольтные разъемы повышают его функциональность, а также дизельный бак емкостью 220 литров для длительного использования. Благодаря гидравлическому насосу, работающему со скоростью 85 л/мин при давлении 210 бар, AgBot справляется с тяжелыми грузами благодаря трехточечным задним и передним навесным устройствам, способным поднимать до 4 тонн и 1,5 тонны соответственно.

Для связи используется RTK GNSS для точного наведения и позиционирования в полевых условиях с точностью до 2,5 см.

AgBot превосходно справляется с подготовкой почвы, посевом и уходом за растениями с помощью специального навесного оборудования, обеспечивая оптимальную производительность и топливную экономичность на различных типах почв.

FarmDroid FD20 (рис. 1, г) автоматизирует процессы посева и прополки, повышая производительность технологической операции. Этот робот приносит точность в управление посевами, удовлетворяя потребности современных специалистов сельского хозяйства.

Благодаря возможности точного высева FD20 обеспечивает оптимальное размещение семян, глубину и расстояние между ними. Такой уровень точности не только повышает

всхожесть, но и способствует более равномерному появлению всходов, создавая основу для будущего урожая.

FD20 плавно переходит от посева к прополке, используя сложную сенсорную технологию для различения культур и сорняков. Он тщательно удаляет сорняки рядом с растениями, сводя к минимуму конкуренцию за питательные вещества и свет без использования химических гербицидов, тем самым поддерживая устойчивые методы ведения сельского хозяйства.

Одной из самых примечательных особенностей FarmDroid FD20 является его работа на солнечных батареях. Такой выбор конструкции отражает стремление к экологичности, снижая углеродный след, связанный с традиционной сельскохозяйственной техникой. Благодаря солнечным батареям робот может работать в течение длительного времени, используя энергию солнца для выполнения своих задач.

FarmDroid FD20 имеет встроенные солнечные панели с резервным аккумулятором для бесперебойной работы; оснащен высокоточным GPS для точной навигации по полю; двойной режим для посева и прополки, адаптируем к различным агротехническим требованиям и к культурам. Робот разработан для работы с широким спектром с.-х. культур, что усиливает его конкурентоспособность среди аналогов.

Ориентир на проектирование [3, 4] и создание отечественных полевых роботов – это сложный процесс, который включает в себя несколько ключевых аспектов:

- ✓ *Механический дизайн*: Создание прочной и устойчивой конструкции, способной выдерживать нагрузки и работать в различных условиях сельскохозяйственной среды [5, 6].
- ✓ *Электроника и управление*: Интеграция датчиков и систем управления для автономной работы и навигации.
- ✓ *Программное обеспечение*: Разработка алгоритмов для обработки данных с датчиков, принятия решений и выполнения задач [7].
- ✓ *Энергоэффективность*: Обеспечение робота энергоэффективными источниками питания для длительной работы без перезарядки [8].
- ✓ *Безопасность*: Гарантирование безопасности как для робота, так и для окружающей среды, включая растения и животных [9, 10].

Каждый из этих аспектов требует тщательного планирования и тестирования, чтобы обеспечить надежность и эффективность полевых роботов в сельском хозяйстве.

Литература

1. **Кокунова, И.В.** Экологические аспекты применения точного земледелия / И.В. Кокунова, В.А. Ружьев // День Балтийского моря: Сборник материалов XVII Международного экологического форума, Санкт-Петербург, 22–23 марта 2016 года. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. – С. 38-39.
2. **Ружьев, В.А.** Эксплуатация транспортно-технологических комплексов в информационно-навигационных системах управления точными агротехнологиями / В.А. Ружьев, В.А. Смелик, И.З. Теплинский // Технологии и средства механизации сельского хозяйства: Белому императорскому гаражу 100 лет / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Редакционная коллегия: М.А. Новиков, В.А. Смелик, Б.И. Вагин, Э.П. Бабенко Научный редактор: Е.И. Давидсон. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2013. – С. 77-80. – EDN SMDNAX.
3. **Ружьев, В.А.** Применение компьютерного моделирования при проектировании сельскохозяйственных машин / В.А. Ружьев // Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей: Материалы Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 20-22 апреля 2011 г. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2011. – С. 203-206. – EDN VQSCST.
4. **Ружьев, В.А.** Компьютерное моделирование при проектировании сельскохозяйственных машин / В. А. Ружьев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 26. – С. 353-357. – EDN PIQTTR.

5. **Ожегов, Н.М.** Исследования методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин и разработка автоматической установки для нанесения на них упрочняющих покрытий / Н.М. Ожегов, А.В. Добринов, В.А. Ружьев // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 28-31. – EDN YIZVJR.
6. Упрочнение почворезущих поверхностей деталей машин твердыми сплавами / Н. М. Ожегов, В.А. Ружьев, Д.А. Капошко, С.В. Шагин // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 35. – С. 88-92. – EDN ZQTDND.
7. **Ружьев, В.А.** Информационно-навигационные системы управления точными агротехнологиями / В.А. Ружьев, К.В. Кожевников // Вестник Студенческого научного общества. – 2013. – № 1. – С. 436-439. – EDN SMBGJN.
8. **Муравьев, К.Е.** Техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования / К.Е. Муравьев, С.Н. Перцев; Министерство сельского хозяйства РФ, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2022. – 342 с. – EDN FZITEJ.
9. **Теплинский, И.З.** Минимизация факторов риска техногенного характера при производстве картофеля по интенсивной технологии / И.З. Теплинский, А.Б. Калинин, В.А. Ружьев // Научное обоснование стратегии развития АПК и сельских территорий в XXI веке: материалы Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 10 ноября 2020 г. Том 1. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 29-33. – EDN FZHPSX.
10. **Ружьев, В.А.** Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с учетом экологических требований / В.А. Ружьев, Н.М. Ожегов, Д.А. Капошко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 38. – С. 254-259. – EDN UXKPER.

УДК 64.011.5

Соискатель **В.В. САМОСЮК**
(ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ)
Доктор техн. наук, профессор **В.А. ШАХОВ**
(ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ)

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОСМЕСЕЙ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Выбор установок для смешивания комбикормов разнообразен: вертикальные, наклонные, горизонтальные, шнековые, лопастные, ленточные. У всех есть свои преимущества, но имеется и один общий недостаток – это создание равновесных комбикормов с ультрадисперсными частицами [1, 2].

Ультрадисперсная частица имеет размерность менее 100 нанометра (10^{-9}), в то время как частица комбикорма имеет размерность 0,9-1,5 мм (10^{-3}), и из-за таких разностей размерности смешивание обычными заводскими смесителями для достижения равновесности компонентов не представляется возможным.

Были произведены литературный обзор и патентный поиск подходящих смесителей для достижения поставленной цели.

Из-за отсутствия смесителей для смешивания ультрадисперсных частиц с комбикормом было принято решение о создании своего смесителя (рис. 1) [3, 4, 5].

Работает смеситель следующим образом. Ингредиенты кормосмеси после открытия заслонок дозатора-распределителя через загрузочное окно поступают во вращающийся смесительный канал, расположенный в закрытой емкости. Ингредиенты кормосмеси, попадая в смесительный канал, подвергаются механическому воздействию продольных ребер. Продольные ребра смешивают ингредиенты кормосмеси и перемещают ее по спирали вверх во внутреннем пространстве канала; вследствие движения вверх ингредиенты кормосмеси

переваливаются через продольные рёбра, вновь оказываются в нижней части канала. Данная операция смешивания и пересыпания воспроизводится многократно.

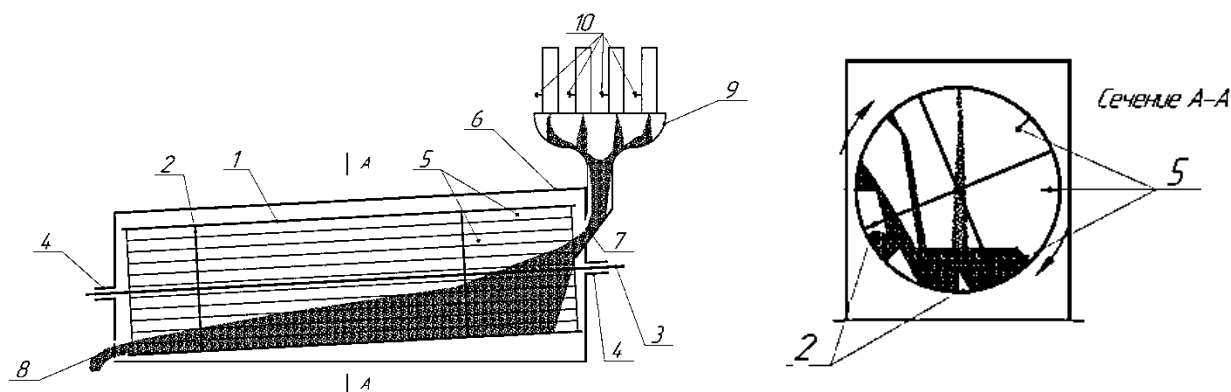


Рис. 1. Смеситель комбикормов (патент РФ № 2800937):

1 – смесительный канал, 2 – спицы, 3 – вал, 4 – подшипники, 5 – продольные ребра, 6 – закрытая емкость, 7 – загрузочное окно, 8 – окно выгрузки, 9 – дозатор-распределитель, 10 – заслонки

Процесс завершается высыпанием готового продукта через окно выгрузки [3].

Собрав и скомпоновав конструкцию смесителя (рис. 2), для лабораторных и производственных испытаний оставили возможность изменять угол наклона смесительного канала, скорость подачи ингредиентов из дозатора-распределителя и скорость вращения смесительного канала [6].



Рис. 2. Техническая реализация смесителя комбикормов:

1 – изменение угла наклона смесительного канала; 2 – изменение скорости подачи ингредиентов из дозатора-распределителя; 3 – изменение скорости вращения смесительного канала

В лабораторных испытаниях находили оптимальные параметры для работы данного смесителя, определяющими были однородность получаемого комбикорма и удельные затраты электроэнергии.

Были получены плоскости откликов по результатам эксперимента, из их анализа были получены оптимальные параметры работы смесителя:

- угол наклона смесительного канала (градусы) – 5;

- скорость подачи ингредиентов в смесительный канал (кг/мин) – 30;
- скорость вращения смесительного канала (мин⁻¹) – 30;

Смешивание ультрадисперсных частиц с комбикормом является сложной технологической задачей из-за разницы размерностей, но решение этой задачи является актуальным для повышения продуктивности выращивания животных. Из-за особенностей таких малых частиц это проникание в организм животного еще на стадии поедания комбикорма с их содержанием [7, 8, 9, 10].

Л и т е р а т у р а

1. **Самосюк, В.В.** Обзор смесительных аппаратов комбикормового сырья с применением наночастиц / В. В. Самосюк // Потенциал молодых ученых аграрных вузов и НИИ в реализации политики импортозамещения в современных условиях: материалы международной научно-практической конференции, Оренбург, 21–23 июня 2022 года. – Оренбург: Агентство Пресса, 2022. – С. 119-122.
2. **Совершенствование технико-технологических параметров смесителей для приготовления кормосмесей с ультрадисперсными частицами** / В. А. Шахов, В. В. Герасименко, Ю. А. Ушаков [и др.] // Национальные приоритеты развития агропромышленного комплекса : материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 16 декабря 2022 года. – Оренбург: Агентство Пресса, 2022. – С. 122-124.
3. **Патент № 2800937 С2 Российская Федерация, МПК А23N 17/00.** Смеситель комбикормов : № 2022100903 : заявл. 13.01.2022 : опубл. 01.08.2023 / В. А. Шахов, И. А. Рахимжанова, В. В. Самосюк [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет".
4. **Применение экспериментальной установки для приготовления равнобалансированных кормосмесей с ультрадисперсными частицами** / В. В. Самосюк, В. В. Шахов, В. А. Шахов, П. Г. Учкин // В фокусе достижений молодежной науки: Материалы ежегодной итоговой научно-практической конференции, Оренбург, 23 декабря 2022 года / под общей редакцией В. А. Шахова. – Оренбург: ФГБОУ ВО ОГАУ, 2023. – С. 59-62.
5. **Самосюк, В.В.** Приготовление нанокормосмеси для интенсивного откорма / В. В. Самосюк, В. А. Шахов // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – № 3(51). – С. 45-49. – DOI 10.22314/27132064-2023-3-45.
6. **Новая технология приготовления равновзвешенных нанокормосмесей в вибрационном смесителе** / В. А. Шахов, В. В. Самосюк, П. Г. Учкин [и др.] // Национальные приоритеты развития агропромышленного комплекса : Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 17 ноября 2023 года. – Оренбург: Агентство Пресса, 2023. – С. 11-15.
7. **Применение системного подхода в технологии кормопроизводства и технологии выращивания скота на мясо** / В. А. Шахов, В. В. Герасименко, А. Г. Белов [и др.] // Национальные приоритеты развития агропромышленного комплекса : материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 16 декабря 2022 года. – Оренбург: Агентство Пресса, 2022. – С. 116-119.
8. **Технологические аспекты использования экструдеров для приготовления кормосмесей с ультрадисперсными частицами** / В. А. Шахов, Е. М. Асманкин, А. Г. Белов [и др.] // Национальные приоритеты развития агропромышленного комплекса: материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 16 декабря 2022 года. – Оренбург: Агентство Пресса, 2022. – С. 113-116.
9. **Беззубцева, М.М.** Экспериментальные исследования процесса намола в электромагнитных механоактиваторах / М.М. Беззубцева, В.А. Ружьев, Н.В. Романейн // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11-3. – С. 122-123. – EDN SVPSSJ.
10. **Влияние теплофизических характеристик сыпучих материалов при вибрационном смешивании на качество кормосмеси** / В. А. Шахов, П. Г. Учкин, В. В. Самосюк [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 6(104). – С. 169-176. – DOI 10.37670/2073-0853-2023-104-6-169-176.

Д-р техн. наук **В.А. СМЕЛИК**
(ФГБОУ ВО СПбГАУ)
Канд. техн. наук **А.Н. ПЕРЕКОПСКИЙ**
(ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
Канд. техн. наук **В.Д. ВРУБЛЕВСКИЙ**
(ООО «Агромаг»)

ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРИ ПОСЕВЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Сельскохозяйственное производство, в т.ч. отрасль растениеводства в настоящее время как никогда характеризуется систематическим дефицитом опытных и ответственных трактористов, запчастей к импортной дорогостоящей технике и др. [1].

Например, регионы Поволжья и Южного федерального округа используют широкозахватные посевные и уборочные агрегаты зерновых культур, получают максимально высокие урожаи в т.ч. и за счет технологий «точного земледелия» (ТЗ), которые уже десятком лет используются в крупных агропредприятиях, таких как «Агрокомплекс имени Н.В. Ткачева», «Кубань», «Белая дача Фарминг» и другими [2].

Отличительной особенностью растениеводства Северо-Западного региона РФ является сравнительно низкая урожайность, мелкоконтурность, неоднородность плодородия почвы, производство кормовых культур для молочного животноводства. Повсеместное использование элементов ТЗ или всего комплекса функций ТЗ пока остается экономически и технологически не обоснованным. Дилерами предлагаются многие решения как от проверенных временем компаний JD и Trimble, так и российских и китайских компаний, но специалисты и владельцы агропредприятий пока с настороженностью относятся к внедрению ТЗ в растениеводстве и механизации растениеводства [3,4,5].

В исследовании [2] приводятся сведения о количестве хозяйств Северо-Западного региона, использующих элементы ТЗ. Так, лидером является Вологодская область с наибольшим количеством хозяйств (45 ед.), использующих элементы ТЗ. Также можно судить об использовании элементов ТЗ по следующим показателям: количество оцифрованных полей (например, Ленинградская область – 5 ед.), использование параллельного вождения, дифференцированный посев и др. Хозяйства Республики Карелия и Новгородской области не использовали элементы ТЗ в 2019 г.

Экспериментальные исследования проводились на базе крупного сельскохозяйственного предприятия Ленинградской области, которое занимается производством молока, выращиванием молодняка КРС, возделыванием зерновых и кормовых культур.

В исследованиях использовался машинно-тракторный агрегат для посева зерновых культур – трактор Claas Axion 850 + сеялка Amazone Citan 6000.

В исследовании использовались следующие инструменты: метеостанция Davis Vantage Pro2 с датчиками влажности почвы Sentek Drill & Drop 900 мм; линейка 500 мм по ГОСТ 427-75; рулетка строительная 10 м.

На предварительном этапе исследований было определено, что точность движения посевного агрегата можно повысить за счет использования системы «Автопилот» для облегчения управления агрегатом механизатору. Также можно повысить производительность посева, уменьшить расход семян из-за «пересева» стыковых проходов.

Перекрытие на стыках проходов посевного комплекса (посев на неполную ширину захвата) определяли экспериментально. Яровой сев в хозяйстве одним агрегатом составил 450 га. Площадь, посеянная дважды, составила около 35 га или 8 %. Ширина захвата агрегата конструктивная - 6 м, ширина междурядья - 12,5 см. Двойное перекрытие составляло до 50 см. Эффективная ширина захвата – 5,5 м (при перекрытии) (рис. 1).



Рис. 1. Площадь, засеянная дважды агрегатом Claas Axion 850 + Amazone Citan 6000

Перерасход затрат на посев при ручном управлении представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Перерасход затрат на посев при ручном управлении

Показатель	Значение
Площадь, обработанная дважды, га	35
Расход топлива, л/га	15
Цена топлива, руб./л	60
Норма высева семян, кг/га	220
Стоимость семян, руб./кг	23,5
Затраченные средства на топливо, руб.	31500,0
Затраченные средства на семена, руб.	180950,0

Перерасход затрат на посев 450 га при использовании навигации «Автопилот» с точностью 15 см и 2-3 см представлен в табл. 2.

Таблица 2. Перерасход затрат на посев при управлении агрегатом системой «Автопилот» с различной точностью

Затраты	Навигация с точностью 15 см	Навигация с точностью 2-3 см
Площадь, обработанная дважды, га	24	1,8
Затраченные средства на топливо, руб.	21600,0	1620,0
Затраченные средства на семена, руб.	124080,0	9306,0

Из таблиц видно, что при точности вождения с «Автопилот» 15 см перерасход затрат составит 145,7 тыс.руб., а с точностью 2-3 см – 10,9 тыс.руб. в отличие от ручного управления – 212,4 тыс.руб.

Затраты на криволинейном движении агрегата «в загоне» трудно рассчитать в финансовом выражении, но следует отметить следующие обстоятельства (рис. 2):

- увеличивается путь, пройденный агрегатом;
- дополнительные потери в ходовой части агрегата;
- нагрузка на тракториста на «подруливание».

Технические решения с «Автопилотом» на основе ТЗ могут выглядеть следующим образом: используется главным образом спутниковая связь, т.к. интернет и телефонная связь достаточно ограниченно распространены на сельскохозяйственных угодьях организаций.

Обычно система «Автопилот» включает антенну, дисплей, подруливающее устройство, датчики [6, 7]. Например, фирма Shanghai AllyNav Technology поставляет по цене 600 тыс.руб. комплект AF-305. Комплект применяется с NSS-приёмником с гироскопом и модемом вместо двойной GNSS-антенны, а также с RTK-станцией за 400 тыс.руб. Система навигации FJ Dynamics стоит 460000 рублей на один тракторный агрегат обеспечивая те же показатели работы, как и у других фирм.



Рис. 2. Криволинейное движение агрегатов по полю при ручном управлении

Некоторые технические решения могут выглядеть следующим образом: NTRIP на один месяц за 4800 рублей, EFT Cons. – 40000 рублей за год [8, 9]. Для сева 450 га одним агрегатом необходимо иметь RTK-станцию, систему управления, договор на спутниковую связь (часто используется годовая «подписка» тракторного агрегата для механизированных работ по опрыскиванию полей, культивации почвы, уборки урожая). Также требуется в хозяйстве специалист по настройке оборудования и обучение механизаторов. Дилерские предложения по продаже, монтажу и обслуживанию оборудования начинаются для предприятия от 0,9 млн рублей. Дополнительно каждый год необходимо платить за связь и обслуживание системы в размере 80000 рублей. Окупаемость автоматической системы контроля управления на посеве зерновых культур составит не менее 5 лет.

Следует отметить, что системы могут использоваться и на других сельскохозяйственных работах.

Таким образом нами были определены причины, которые влияют на производительность посевного агрегата и расходы на дизельное топливо, семена. Это перекрытие на стыковых проходах до 0,5 м; перерасход затрат 212,4 тыс.руб. при ручном управлении в сравнении с «Автопилотом» точностью управления 2-3 см и RTK-станцией (10,9 тыс.руб.).

Внедрение элементов точного земледелия при посеве зерновых культур необходимо начать с системы «Автопилот» с точностью 2,5 и 15 см для обеспечения отсутствия или сведения к минимуму отрицательных факторов «ручного управления».

Ещё больший эффект от точного земледелия достигается при использовании дифференцированных технологий. Так, при дифференцированном внесении минеральных удобрений сокращается их расход повышается эффективность выполнения агротехнических операций, снижается отрицательное влияние агрохимикатов на окружающую среду [3, 10].

Л и т е р а т у р а

1. **Dibirova, H.A.** Problems and Prospects of Implementation of the Precision Farming System in the Russian Federation / H.A. Dibirova, N.V. Osipova // Journal of Agriculture and Environment 7 (27) 2022.
2. **Труфляк, Е.В.** Рейтинг регионов по использованию элементов точного сельского хозяйства / Е.В. Труфляк – Краснодар: КубГАУ, 2020. – 37 с.

3. **Сутугина, И.М.** Информационное обеспечение кадастра недвижимости и точного земледелия по материалам аэрофотосъемки / И.М. Сутугина, В.А. Смелик – СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. 2016. - 198 с.
4. **Лагун, А.А.** Экономическое обоснование и необходимость внедрения системы точного земледелия в сельскохозяйственных предприятиях Вологодской области / А.А. Лагун, И.Н. Шилова // Journal of Economy and Business, 2019, vol. 7. P. 90-96.
5. **Murdoch, A.J. et al.:** Predicting the probability that higher profits could be achieved by adopting PA. Precision agriculture'21. 2021. P. 984.
6. **Смелик, В.А.** Эффективность применения системы точного земледелия при предпосевной обработке почвы / В.А. Смелик, С.Д. Фомин, А.М. Захаров, А.Н. Перекопский // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2023. – № 4(72). – С. 441-449.
7. **Automatic control system AF-305** [Электронный ресурс] URL: <https://поле.рф/agricultural-products/214/c4d9d4b4-f353-4b27-993e-4baf324ed69b>_(дата обращения: 10.03.2024).
8. **Navigation system FJ Dynamics** [Электронный ресурс] URL: <https://поле.рф/agricultural-products/214/17dc45ee-76fb-443a-b02f-fe46aa023a49> (дата обращения: 10.03.2024).
9. **Precision farming. Tractor efficiency improvement systems** [Электронный ресурс] URL: <https://rostselmash.com/electronic-systems/sistemy-povysheniya-effektivnosti-traktorov/>_(дата обращения: 10.03.2024).
10. **Смелик, В.А.** Внесение минеральных удобрений в точном земледелии / В.А. Смелик, Н.А. Цыганова, И.З. Теплинский // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 3. С. 38-40.

Научное издание

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В АПК

Материалы международной научно-практической конференции
профессорско-преподавательского состава
«Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации
и структурных изменений национальной экономики»,
посвященной академику почвоведу и первому ректору университета К.Д. Глинке

(в рамках празднования 120-летия ФГБОУ ВО СПбГАУ)

Санкт-Петербург – Пушкин
15 марта 2024 года

Главный редактор

декан Инженерно-технологического факультета ФГБОУ ВО СПбГАУ, канд. техн. наук,
доцент В.А. Ружьев

Заместитель главного редактора

заместитель декана инженерно-технологического факультета по научной работе, канд. техн.
наук *А.В. Антипов*

Литературный редактор Раззак М.Ю.
Верстка Еремина М.А.



Подготовлено к публикации 17.06.2024
Издательско-полиграфический комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СПбГАУ)
196601, Россия, г.Санкт-Петербург, г.Пушкин, Петербургское шоссе, дом 2