

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

Гайдар С.М., Карелина М.Ю., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М. Разработка алгоритма автоматизации определения эффективности в многоуровневой системе оценки качества сельскохозяйственной техники..... 2

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

Зерноуборочный комбайн RSM 161: всепогодный вариант..... 6
Тихомиров Д.А., Хименко А.В., Кузьмичев А.В. Оценка эффективности применения воздушных завес в животноводческих помещениях ферм крупного рогатого скота 8

Технологии, машины и оборудование для АПК

Федоренко В.Ф., Иванов А.Б., Зленко С.В., Таркинский В.Е. О повышении эффективности тракторов 14
Сидоров Б.Б., Карелина М.Ю. Математическая модель управления возрастной структурой парка машинотракторного парка на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР 20
Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Состояние и перспективы обновления тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края..... 24
Алешкин А.В., Савиных П.А., Нечаев В.Н. Результаты исследований насоса и характеристики сети установки для производства зерновой патоки 30

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

Виноградов А.В., Голиков И.О. Новый подход к математическому моделированию сельских электрических сетей 0,4 кВ с использованием метода фазных координат 36

Аграрная экономика

Свиридова С.А., Петухов Д.А., Юзенко Ю.А., Васильев С.А. Оценка современных зерноуборочных комбайнов отечественного производства с однобарабанной схемой МСУ 42

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

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

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

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

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

Редакция журнала:

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



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

© «Техника и оборудование для села», 2024

Отпечатано в ФГБНУ «Росинформагротех»

Подписано в печать 27.03.24 Заказ 51

УДК 620

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-3-2-4

Разработка алгоритма автоматизации определения эффективности в многоуровневой системе оценки качества сельскохозяйственной техники

С.М. Гайдар,*д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
techmash@rgau-msha.ru***М.Ю. Карелина,***д-р техн. наук, проф.,
techmash@rgau-msha.ru***Р.Р. Мирзаев,***инженер,
techmash@rgau-msha.ru***А.М. Пикина,***канд. техн. наук, доц.,
pikina@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»);*

Аннотация. Представлен разработанный алгоритм автоматизации определения эффективности в многоуровневой системе оценки качества транспортных средств в сельском хозяйстве. Алгоритм процесса моделируется блок-схемой или идентичной ей граф-схемой, отражающей использованный набор функциональных операторов и взаимосвязь между ними. Представлена схема алгоритма последовательного формирования «распознавателей» с последующей их трансформацией в информационные «вершины», позволяющие объективно оценивать их эффективность в системе оценки качества сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: многоуровневая сложная система, сельскохозяйственная техника, показатель эффективности.

Постановка проблемы

Высокое качество транспортных средств должно закладываться на этапе его разработки и обеспечиваться, как правило, в процессе производства. Известно, что требования к свойствам, характеризующим качество производимой техники,

определяют технические решения, учитывающие условия эксплуатации в агропромышленном комплексе [1-2].

Невозможно добиться одновременного максимума эффективности и минимума стоимости единицы техники и её эксплуатации, так как в реальной конструкции невозможно обеспечить экстремальные значения всех качественных показателей. Можно получить лишь определённое, наилучшее с точки зрения эксплуатации сочетание значений показателей, по которым оценивается качество единицы техники. Это обусловлено специфическими условиями и особенностями её эксплуатации.

В основе современных научных подходов для оценки совокупности свойств и показателей качества сельскохозяйственной техники лежат однокритериальные многофакторные модели [3], но развитие их конструкций и повышение требований внешней среды требуют дифференцированного подхода, т.е. применения многокритериальных моделей для определения закономерностей формирования парка сельскохозяйственной техники [4].

Объективность полученных результатов при применении многокритериальных математических моделей достигается за счёт основного их свойства: оцениваемые показатели по одному из критериев не могут быть занижены за счёт показателей оценки по другим критериям. Таким образом, получаемое решение всегда находится в области компромиссов, учитывающей весь спектр функциональных свойств транспортных

средств [5-6]. Важным обстоятельством является необходимость получения оптимального решения без применения процедуры экспертного оценивания, т.е. результаты должны быть получены аналитическим методом [7].

Цель исследования – разработка алгоритма автоматизации определения эффективности в многоуровневой системе оценки качества машин, эксплуатируемых в агропромышленном комплексе, обеспечивающей объективное сравнение их функциональных и потребительских свойств.

Материалы и методы исследования

В качестве предмета исследований рассмотрены методы и математические модели количественной оценки качества сельскохозяйственной техники и закономерности их определения.

В качестве объекта исследования была выбрана сложная система, представляющая собой совокупность отдельных частей, которые функционируют в тесном взаимодействии и составляют единое целое. Примером сложной системы может служить сам автомобиль, а также процесс его обслуживания и ремонта.

В этом классе задач универсальным может быть только подход к решению, а частным – набор признаков и их разновидностей, учитываемых при классификации. Определяют как число её уровней, так и, соответственно, число этапов конкретизации. При этом систематизации подвергаются не только сами решения, но и алгоритмы их поиска и выбора, вклю-

чающие в себя процедуры описания условий (ситуаций) при определении информационного пространства принятия решений [4].

Поскольку в сложных системах «дерево решений» может содержать большое число признаков или свойств, а также исследуемых объектов, оно, как правило, алгоритмируется в целях упорядочивания пути поиска решений. Алгоритм процесса моделируется блок-схемой или идентичной ей граф-схемой, отражающей использованный набор функциональных операторов и взаимосвязь между ними.

Результаты исследований и обсуждение

На рис. 1 приведена схема алгоритма последовательного формирования «распознавателей» с дальнейшей их трансформацией в информационные «вершины», позволяющие объективно оценивать их эффективность на последующих уровнях решений в системе оценки качества. На рис. 2 представлен алгоритм автоматизации определения эффективности в многоуровневой системе оценки качества.

Среди функциональных операторов выделяются условные, по которым в соответствии с граф-схемой алгоритма осуществляется целенаправленная проверка выполнения условий, характеризующих значение признаков (показателей) и их разновидности в информационном описании информационных состояний. Повторим, что условные операторы по своему смыслу можно назвать операторами-«распознавателями», а весь куст дерева, охватывающий упомянутые проверки, – «распознавателем».

Последним «вершинам» куста дерева решений распознавателя вводится в соответствие оператор присвоения, предполагающий операцию «заимствования». Алгоритмы решения унифицированы, поэтому их создание и программирование не представляют особой трудности на современном этапе освоения этих информационных процессов.



Рис. 1. Схема алгоритма последовательного формирования «распознавателей» с последующей их трансформацией в информационные «вершины»

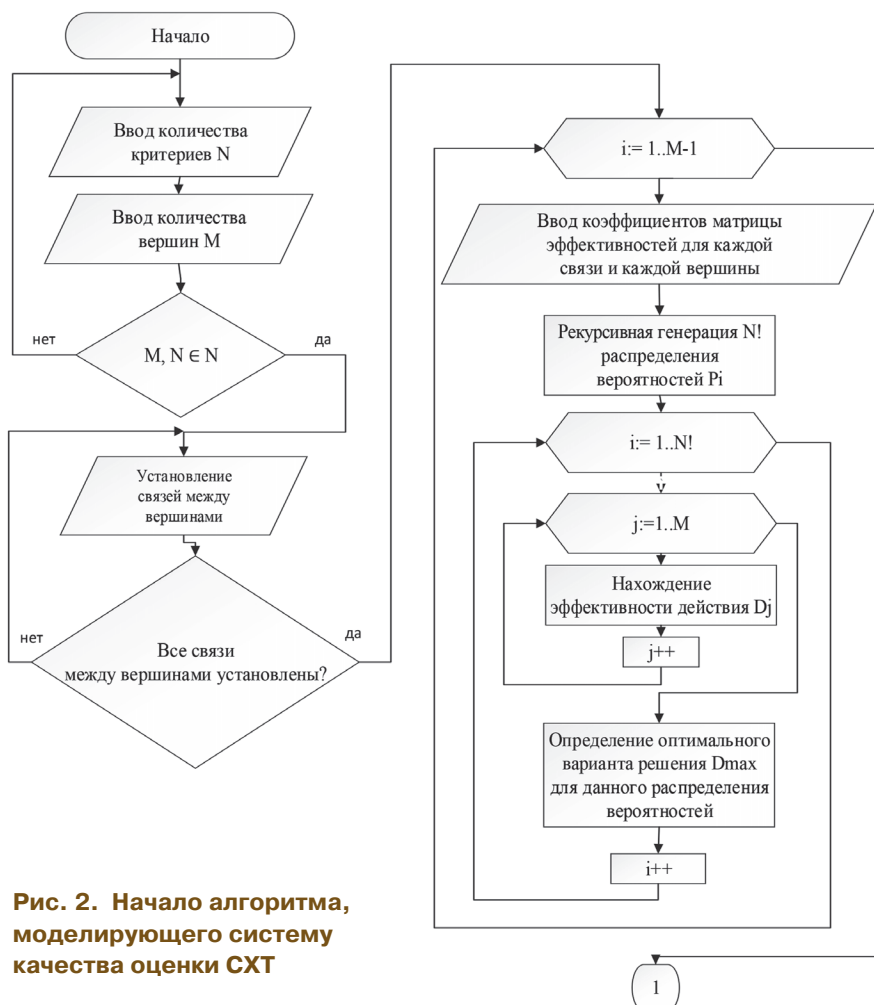


Рис. 2. Начало алгоритма, моделирующего систему качества оценки СХТ

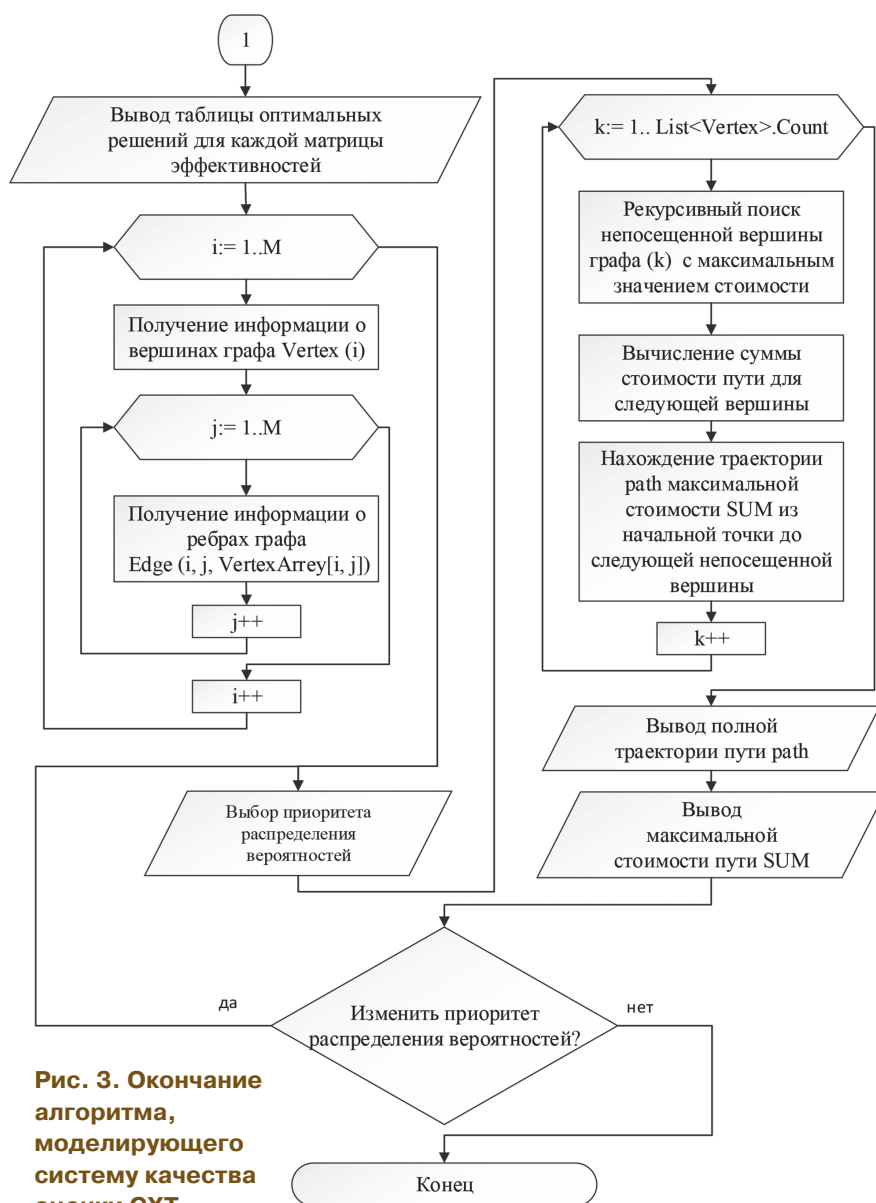


Рис. 3. Окончание алгоритма, моделирующего систему качества оценки СХТ

Примерами к сказанному можно назвать алгоритмы поиска решения при функциональных, всюду определенных и сюръективных соответствиях, синтеза минимизированных граф-схем алгоритмов поиска решений. Указанная операция заимствования, соответствующего найденному аналогу решения, основывается на методе динамического программирования.

Выводы

1. Сущность алгоритма состоит в получении оптимальной траектории поиска решения в ходе органи-

зованного процесса оценки качества сельскохозяйственной техники. В ходе него используются специальные приемы и обозначения формальной логики.

2. Многокритериальные математические модели позволяют аналитически определять эффективность для любого количества исследуемых объектов по достаточно большому количеству признаков и объективно оценивать их эффективность для отдельных «распознавателей» в системе оценки качества сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе.

Список

используемых источников

1. Карелина М.Ю., Арифиллин И.В., Терентьев А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 3-9. EDN: YTOMQN.
2. Гайдар С.М. Разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества / Гайдар С.М., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М., Балькова Т.И. // Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 5. С. 46-51.
3. Терентьев А.В. Методы определения множества парето в некоторых задачах линейного программирования / Прудовский Б.Д., Терентьев А.В. // Записки Горного института. 2015. Т. 211. С. 86-90.
4. Беляев А.И. Оценка методов восстановления деталей дорожно-строительных машин в многокритериальной постановке / Беляев А.И., Терентьев А.В., Пушкарев А.Е. // Вестн. гражданских инженеров. 2018. № 1 (66). С. 123-127.
5. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
6. Петровский А.Б. Теория принятия решений / А.Б. Петровский. М.: Академия, 2009. 400 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

Development of the Algorithm for Automating the Evaluation of Efficiency in the Multi-level quality Assessment System of Agricultural Machinery

S.M. Gaidar, M.Yu. Karelina,
R.R. Mirzaev, A.M. Pikina

(RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev)

Summary. The algorithm for automating the evaluation of efficiency in a multi-level quality assessment system of the vehicles in agriculture is presented. The process algorithm is modeled by a flow chart or a graph diagram identical to it which demonstrates the set of functional operators used and the relationship between them. The diagram of the algorithm for the sequential formation of "recognizers" with their subsequent transformation into information "vertices" is presented which makes it possible to objectively evaluate their effectiveness in the quality assessment system of the agricultural machinery.

Key words: multi-level complex system, agricultural machinery, efficiency indicator.



33-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА



ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ
НА НАШ
TELEGRAM-КАНАЛ
@AGRORUS1

28-30 АВГУСТА 2024

МЕЖДУНАРОДНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ
ЭКСПОЗИЦИИ

ЦЕНТР ДЕЛОВЫХ
КОНТАКТОВ

ДЕЛОВАЯ, ФЕСТИВАЛЬНАЯ
И КОНКУРСНАЯ ПРОГРАММА



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

AGRORUS.EXPOFORUM.RU
ТЕЛ.: +7 (812) 240-40-40, ДОБ. 2980, 2427



0+

Зерноуборочный комбайн RSM 161: всепогодный вариант



Во многих регионах страны время работы уборочной техники сокращается из-за дождей или суточных колебаний влажности, приводящих к обильному выпадению росы. В таком случае в выигрыше остаются те хозяйства, в парке которых есть машины, способные качественно убирать культуру в широком диапазоне

показателей влажности зерна и незерновой части. Лидер в этой категории – зерноуборочный комбайн Ростсельмаш RSM 161. Еще во время демотора он доказал способность чисто обмолачивать тритикале влажностью свыше 40 % и выходил в поля тогда, когда любые другие ЗУК этого сделать не могли.

✓ ЧИСТАЯ УБОРКА

Зерноуборочный комбайн RSM 161 с двухбарабанным МСУ Tetra Processor и системой очистки OptiFlow предназначен для уборки всех традиционных зерновых, зернобобовых, крупяных, технических культур с минимальными потерями. Машина создана для работы на любых фонах, включая засоренные и высокосоломистые. В условиях нормированного хлебостоя комбайн намолачивает до 36 т зерна за один час основной работы и обрабатывает до 2 000 га в сезон. Машина укомплектована бункером вместимостью 10 500 л с вибропобудителями и высокоскоростной системой выгрузки зерна, а также двухскоростным ИРС с половоразбрасывателем и валкоукладчиком.

Двухбарабанная система обмолота Tetra Processor действительно уникальна: ускоряющий битей на входе в МСУ; молотильный барабан Ø 800 мм; сепарирующий барабан Ø 750 мм; разнесенные на максимальное расстояние рабочие органы; единое гибкое подбарабанивание с регулируемыми зазорами на входе, выходе и в середине.

Это не имеющее аналогов сочетание лучших отраслевых решений обуславливает приспособляемость машины к уборке сухого, нормированной влажности, влажного и даже сырого зерна. То же касается незерновой части: МСУ комбайна легко справляется с высокорослым, скрученным, содержащим зеленые стебли ворохом. Функция сброса деки под барабаном-сепаратором дает возможность перевести двухбарабанное МСУ в режим однобарабанного, что обеспечивает эффективную работу на пересушенном фоне.

В двухкаскадной системе очистки OptiFlow использован ряд решений, обеспечивающих отличный результат при работе с любыми культурами в любых условиях, в том числе: запатентованная схема подвеса решета с большим перепадом по высоте; турбинный двухпоточный вентилятор, равномерно продувающий оба каскада решета; универсальная форма гребенок увеличенной жесткости; пальцевые решетки на стрясной доске и дополнительном решете.

✓ Мощная энергетика

Комбайн RSM 161 оснащают двигателем мощностью 400 л.с. Агрегат надежен и экономичен, хороший запас крутящего момента (порядка 37 %) выручает на сложных фонах, когда нагрузка может возрастать быстро и неожиданно. Топливный бак объемом 1 050 л вкуче с экономичным мотором и трансмиссией с высоким КПД определяет возможность длительной работы без дозаправки. Машина комплектуется системой контроля расхода топлива.

Увеличенный дорожный просвет, мощные мосты, большие колеса (800/65R32 – передние и 500/70/R24 – задние) увеличенной грузоподъемности, 3-диапазонная КПП с безрычажным селектором переключения скоростей, «чуткий» руль обеспечивают высокую проходимость и хорошую управляемость машиной.

✓ Легкое управление и уход

В комплектацию кабины Luxury Cab II включены бортовая информационно-голосовая система Adviser IV и платформа агроменеджмента РСМ Агротроник. Первая, помимо отслеживания показателей работы узлов и агрегатов машины, позволяет даже неопытному оператору подобрать оптимальные настройки МСУ, очистки, жатки для максимально эффективной уборки культуры.

РСМ Агротроник осуществляет удаленный мониторинг технологических процессов с доступом к данным из любой точки. Таким образом, у инженерной и агрономической служб есть возможность в режиме реального времени оказать оператору поддержку и скорректировать процессы логистики.

Комбайн укомплектован пневмокомпрессором с ресивером и рабочим инструментом, а также сгруппированной централизованной системой смазки. Ко всем требующим внимания узлам обеспечен прямой доступ. Все это намного упрощает обслуживание и минимизирует затраты времени на него.



УДК 631.371: 697.382.4

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-3-8-13

Оценка эффективности применения воздушных завес в животноводческих помещениях ферм крупного рогатого скота

Д.А. Тихомиров,*д-р техн. наук,
чл.-корр. РАН, гл. науч. сотр.,
tihda@mail.ru***А.В. Хименко,***канд. техн. наук,
ст. науч. сотр.,
education.science@yandex.ru***А.В. Кузьмичев,***науч. сотр.,
alkumkuzm@mail.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)*

Аннотация. Приведены рекомендации по выбору воздушных завес и расчету их параметров для животноводческих помещений ферм крупного рогатого скота (КРС). Разработаны структурная схема и модульная конструкция воздушной завесы с изменяемым вектором направления воздушной струи и регулируемой шириной щели. Получены экспериментальные данные скорости воздушной струи на выходе из завесы V_c для диапазона значений угла α ($10-60^\circ$) между направлением выхода струи из щели завесы и плоскостью проема и значений ширины щели воздушной завесы b_c ($0,05-0,15$ м) с учетом изменения скорости ветра V_w ($1-5$ м/с). По предварительным оценкам, использование предложенной конструкции воздушной завесы позволит на 10-15 % снизить энергетические затраты на поддержание требуемого микроклимата в животноводческих помещениях ферм КРС в холодный период года.

Ключевые слова: воздушные завесы, микроклимат животноводческих помещений, скорость воздушной струи, температура воздуха, энергосбережение.

Постановка проблемы

В центральных нечерноземных регионах России сосредоточено наибольшее количество ферм крупного рогатого скота (КРС). При этом продолжительность периода в году со среднесуточной температурой воздуха ниже 0°C составляет не менее 40-45 %. На поддержание требуемых параметров микроклимата в животноводческих помещениях ферм КРС обычно затрачивается до 50 % тепловой энергии от общих затрат на теплообеспечение. Повышение эффективности систем теплообеспечения и вентиляции, направленное на сокращение расхода энергии, затрачиваемой на создание и поддержание требуемых параметров микроклимата в животноводческих помещениях ферм КРС, является актуальной задачей [1].

В работе [2] выполнено численное моделирование животноводческого помещения для исследования влияния на микроклимат и скорость воздушного потока восьми возможных режимов открывания боковых экранов на стенах для типичного коровника с естественной вентиляцией в зимнее время. Предложена энергосберегающая комбинированная приточно-вытяжная система вентиляции, включающая в себя систему удаления воздуха из помещения коровника, оконные фрамуги с электроприводом, нагревательные элементы для подогрева приточного воздуха, датчики, контролирующие температуру и влажность внутреннего воздуха помещения, а также вентиляторы с распылительными форсунками [3]. Исследовано влияние ветрового давления на здание коровника с учетом его аэродинамической характеристики при формировании струи воздушной завесы [3], а также сформулированы условия эффективного применения воздушных завес и влияния их на микроклимат в животноводческих помещениях ферм КРС [2].

Разработан алгоритм оптимального управления параметрами микроклимата для обеспечения необходимых условий комфорта животным и выполнения требований минимальных затрат на производство сельхозпродукции с учетом энергосберегающих технологий [4]. Представлена концепция интеллектуального сельского хозяйства для мониторинга и контроля параметров микроклимата животноводческих помещений [5].

Существенное влияние на микроклимат животноводческих помещений ферм КРС оказывает проникновение наружного воздуха не менее 1 ч в сутки в холодный период года через открытый проем ворот в период проведения необходимых технологических операций (въезд в помещение мобильного кормораздатчика, другой техники и др.). Применение воздушных завес в животноводческих помещениях ферм КРС направлено на сокращение количества поступающего через открытый проем ворот холодного воздуха и его нагрев и является одним из перспективных направлений энергосбережения в системах поддержания микроклимата животноводческих помещений [6].

Различают завесы шиберующего и смешивающего типов. Завесы шиберующего типа в результате перекрытия проема воздушной струей значительно сокращают прорыв наружного воздуха, и в помещение поступает смесь холодного наружного воздуха и нагретого, пода-

ваемого на воздушную завесу. Завесы смешивающего типа осуществляют смешение входящего наружного с нагретым воздухом завесы в пределах тамбура. Основным условием для эффективной работы воздушных завес является соответствие температуры воздушной смеси нормативному значению температуры внутреннего воздуха в помещении [7].

В работе [8] приведены рекомендации по выбору и применению воздушных завес. Выполнен расчет параметров воздушных завес различных типов для производственных помещений. Сделан вывод об эффективности двухслойных (2 параллельные воздушные струи) комбинированных воздушно-тепловых завес.

Проведенный анализ литературных источников, а также патентный поиск показали, что вопрос применения воздушных завес в животноводческих помещениях ферм КРС является малоизученным.

Цель исследования – разработка эффективной конструкции воздушной завесы и оценка энергосберегающего эффекта от применения воздушных завес в системе обеспечения микроклимата для животноводческих помещений ферм КРС.

Материалы и методы исследования

Применение воздушных завес в животноводческих помещениях ферм КРС актуально, в первую очередь, для центральных нечерноземных регионов России, где значение расчетной зимней температуры составляет $-33\text{--}29^\circ\text{C}$. В соответствии с РД-АПК 1.10.01.01-18 «Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота» обязательным требованием для районов с расчетной зимней температурой ниже -20°C является наличие тамбуров у ворот животноводческих помещений или применение воздушных завес с подогревом воздуха.

В современных типовых проектах быстровозводимых зданий ферм КРС, состоящих из металлических конструкций и сэндвич-панелей, устройство тамбуров у ворот в большинстве случаев не предусмотрено. Это объясняется технологией раздачи кормов с использованием мобильных кормораздатчиков, поскольку общая длина кормораздатчика и трактора будет превышать размеры тамбура коровника. В течение суток ворота коровника могут открываться 6 и более раз в день, что обусловлено проведением определенных технологических операций и сопровождается снижением температуры внутреннего воздуха в помещении коровника ниже нормативного значения, особенно в зоне около ворот. В соответствии с СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» воздушные завесы необходимо предусматривать у ворот и проемов, открывающихся более 5 раз или не менее чем на 30 мин за смену, в районах с расчетной температурой наружного воздуха -8°C и ниже, что соответствует технологическому режиму работы коровника. Поэтому целесообразно применять именно воздушные завесы

для отсечения потока холодного наружного воздуха через открытый проем ворот и нагрева струи воздуха, поступающей из щелей воздушной завесы.

Наиболее эффективной воздушной завесой для помещений ферм КРС принято считать шиберную завесу периодического действия с боковой двухсторонней подачей воздуха. Применение данного типа воздушных завес обусловлено установкой их у проемов ворот в помещении коровника без тамбура, где предполагается остановка мобильных транспортных средств, или в проеме транспортеров для технологических нужд коровника [9].

Подход к расчету воздушных завес основан на использовании коэффициента расхода воздуха через проем ворот μ , защищенный завесой. Зная зависимость этого коэффициента от расхода воздуха G_c , подаваемого на завесу, и расхода воздуха, поступающего через проем ворот в помещение G_p , можно рассчитать тепловые параметры воздушной завесы. Для расчета необходимо задаться величиной относительного расхода воздуха $q = G_c/G_p$. Поток воздуха G_p состоит из смеси воздуха, подаваемого на завесу G_c , и наружного G_{out} .

Расчетное выражение для коэффициента расхода воздуха через проем ворот μ , защищенный завесой, имеет вид [10]:

$$\mu = \frac{\sqrt{1 + 4\mu_0 q^2 D} - 1}{2q^2 D}, \quad (1)$$

$$\text{где } D = \frac{F_d \gamma_{mix}}{F_s \gamma_c} \sin \alpha;$$

μ_0 – коэффициент расхода воздуха через ворота при бездействии завесы (принимается 0,8);

γ_{mix} – объемная плотность смеси наружного воздуха при температуре t_{out} и подаваемого на завесу нагретого воздуха при температуре t_c , кг/м^3 ;

γ_c – объемная плотность нагретого воздуха, подаваемого на завесу, кг/м^3 ;

F_d – площадь ворот, м^2 ;

F_s – суммарная площадь щелей воздушной завесы, через которые выходит струя воздуха, м^2 ;

α – угол между направлением выхода струи завесы и плоскостью ворот, град.

Количество прорывающегося в помещение воздуха можно определить по формуле

$$G_p = \mu F_d V_w, \quad (2)$$

где V_w – скорость ветра, м/с .

Результаты исследований и обсуждение

Разработаны структурная схема и конструкция экспериментального образца модульной воздушной завесы с изменяемым вектором направления воздушной струи и регулируемой шириной щели (рис. 1) [11].

Возможна установка воздухораспределителей воздушной завесы как горизонтально при подаче воздуха сверху-вниз или снизу-вверх, так и вертикально с односторонней или двухсторонней подачей воздушной струи с внутренним или наружным воздухозабором.

Воздухораспределитель состоит из модулей длиной до 1 м, при этом количество модулей воздухораспределителя подбирается таким образом, чтобы перекрыть всю высоту или ширину проема ворот в зависимости от способа их установки.

Каждый модуль выполнен в виде встроенных двух полых цилиндрических поверхностей (см. рис. 1б).

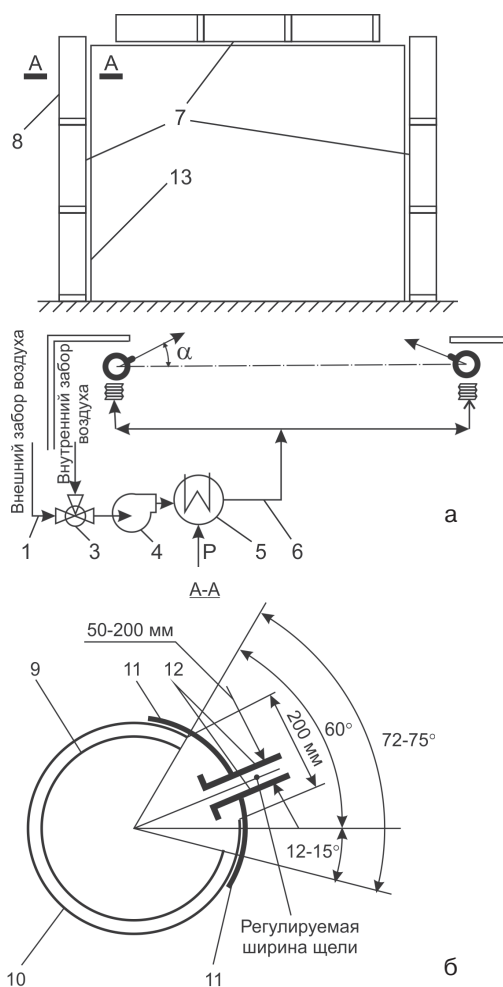


Рис. 1. Структурная схема воздушной завесы (а) и конструкция модуля воздухораспределителя воздушной завесы в разрезе (б):

- 1, 2 – воздуховоды для забора соответственно наружного и внутреннего воздуха;
- 3 – управляемый воздушный клапан; 4 – вентилятор;
- 5 – электрический калорифер;
- 6 – распределительные воздуховоды;
- 7 – модульные воздухораспределители воздушной завесы;
- 8 – модуль воздушной завесы;
- 9 – внутренний неподвижный корпус модуля воздушной завесы;
- 10 – вращающаяся внешняя поверхность корпуса модуля воздушной завесы;
- 11 – направляющие на поверхности внешнего корпуса модуля воздушной завесы;
- 12 – насадки направляющих; 13 – проем ворот

Внутренний неподвижный корпус имеет вид цилиндрического сектора, а внешняя поверхность модуля выполнена в виде цилиндрического сектора с изменяемой шириной щели. На внешней поверхности корпуса модуля воздухораспределителя воздушной завесы установлены плотно прилегающие направляющие по всей его длине, регулирующие ширину щели, с закрепленными на торцах насадками, формирующими плоскую воздушную струю.

Ширина щели изменяется путем перемещения направляющих по поверхности внешнего цилиндра в диапазоне от 50 до 200 мм. Угол между плоскостью, параллельной проему ворот, и плоскостью, обращенной наружу здания, образованной осевой линией внутреннего цилиндра модуля воздушной завесы, составляет 60°, между плоскостью, обращенной в помещение, – 12-15°.

Направление вектора воздушной струи изменяется поворотом внешней поверхности модуля воздушной завесы относительно его неподвижного внутреннего цилиндра в пределах 72-75°. При избыточном наружном давлении ($p_{in} < p_{out}$) угол направления воздушной струи устанавливается в пределах 0-60°, а в случае превышения внутреннего давления над наружным ($p_{in} > p_{out}$) – 0-15° для формирования устойчивой плоской воздушной струи в пределах ширины перекрываемого проема в зависимости от скорости ветра V_w .

Лабораторные исследования модульной воздушной завесы с двухсторонней подачей воздушной струи и внутренним воздухозабором предложенной конструкции при соблюдении микроклиматических требований для помещений ферм КРС проводились в зимний период с середины декабря до конца января, измерения скорости воздушной струи V_c и ее температуры выполняли на выходе из воздушной завесы в нескольких контрольных точках с помощью термоанемометра ТКА-РКМ60 с выносным зондом.

На выходе из воздушной завесы обеспечивалась температура воздуха t_c в диапазоне 21-23°C в зависимости от изменения скорости ветра V_w (1-5 м/с) и температуры наружного воздуха t_{out} (-13-9°C) для поддержания температуры смеси воздуха в помещении у ворот $t_d = 10^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ при нормативном значении для производственных помещений не менее 5 °C в соответствии с СП 60.13330.2020. При этом температура в самом помещении поддерживалась на уровне $t_{in} = 12^\circ\text{C}$ в соответствии с требованиями для помещений с привязным содержанием коров (РД-АПК 1.10.01.01-18). Результаты измерений параметров воздуха на выходе из воздушной завесы обрабатывались с помощью вероятностно-статистического метода.

Изменение скорости воздушной струи V_c на выходе из воздушной завесы предложенной конструкции при углах $\alpha = 10-60^\circ$ и ширине щели воздухораспределителя $b_c = 0,05-0,15$ м с учетом изменения скорости ветра приведены на рис. 2.

Рационально устроенные воздушные завесы соответствуют расчетным параметрам в диапазоне $q = 0,5-1$ и $\alpha = 10-60^\circ$ [10]. Для расчета коэффициента расхода

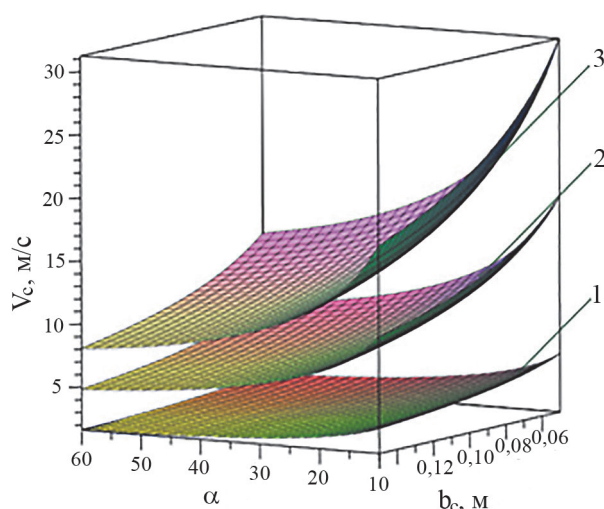


Рис. 2. Изменение скорости струи на выходе из воздухораспределителя воздушной завесы V_c в зависимости от ширины щели b_c , угла α и скорости ветра V_w :
1 – 1 м/с; 2 – 3 м/с; 3 – 5 м/с

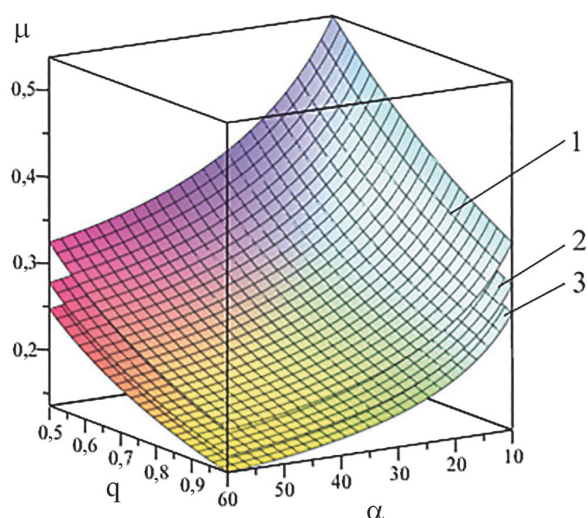


Рис. 3. Изменение коэффициента расхода воздуха μ для диапазона значений угла α , относительного расхода воздуха, подаваемого на завесу q , и относительной ширины щели воздушной завесы

воздуха через проем ворот μ , защищенный воздушной завесой, принимаем ширину проема $B_d = 3$ м и высоту $H_d = 3$ м. Расчетную наружную температуру воздуха принимаем $t_{out} = -9^\circ\text{C}$. Задаем значения относительной ширины щели воздушной завесы для значений $b_c = 0,05$; $0,1$ и $0,15$ м. Для двухсторонней боковой воздушной завесы относительная ширина ее щели определяется как $2b_c/B_d$ [19].

Отношение объемной плотности смеси воздуха γ_{mix} при температуре $t_{mix} = 10-12^\circ\text{C}$ к объемной плотности нагретого воздуха, подаваемого на завесу γ_c при температуре t_c в диапазоне $20-25^\circ\text{C}$, составляет $1,03-1,05$. Для инженерных расчетов можно принять значение, равное 1. Значения коэффициента расхода воздуха μ определены для диапазона значений угла α ($10-60^\circ$), относительного расхода воздуха, подаваемого на завесу q ($0,5-1$), и при относительной ширине щели воздушной завесы $1/10$; $1/15$; $1/30$ (рис. 3).

При расчете температуры подаваемого воздуха на завесу t_c и средней температуры смеси воздуха, поступающей в помещение t_{mix} , по выражениям, приведенным в работах [12, 3], целесообразно использовать в качестве расчетной зимней температуры t_{out} среднюю температуру наиболее холодного месяца года (января) в соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Для рассматриваемых регионов указанная температура составляет $-13-10^\circ\text{C}$. Использование в качестве расчетной зимней температуры t_{out} среднюю температуру наиболее холодной пятидневки $-33-29^\circ\text{C}$ обеспеченностью $0,92$ приведет к увеличению мощности воздухонагревателя (калорифера) в 2-3 раза. В течение последних 10-15 лет такие значения температуры воздуха в зимний период в центральных нечерноземных регионах России фиксировались крайне редко.

Относительное снижение потерь тепловой энергии за единицу времени через проем ворот коровника при работающей воздушной завесе можно оценить по выражению

$$\frac{\Delta Q}{Q_l} = 1 - \left(\mu \frac{(t_{in} - t_{ave})}{(t_{in} - t_{out})} + q \frac{(t_c - t_{in})}{(t_{in} - t_{out})} \right), \quad (3)$$

где $\Delta Q = Q_l - (Q_c + Q_{out})$;

Q_l – потери теплоты через проем при бездействии воздушной завесы, Вт;

Q_c – расход тепловой энергии на нагрев воздуха, подаваемого на завесу, Вт;

Q_{out} – расход тепловой энергии на нагрев прорывающегося наружного воздуха, Вт;

t_{mix} – средняя температура смеси воздуха, поступающей в помещение, $^\circ\text{C}$.

Выражение (3) также можно записать в виде

$$\frac{\Delta Q}{Q_l} = 1 - (\mu - q) \frac{t_{in}}{t_{in} - t_{out}} + \left(\frac{\mu^2}{\mu + q} \right) \frac{t_{out}}{t_{in} - t_{out}} - \left(\frac{q^2}{\mu + q} \right) \frac{t_c}{t_{in} - t_{out}}. \quad (4)$$

Определено относительное снижение потерь тепловой энергии через проем ворот коровника $\Delta Q/Q_l$ при работающей воздушной завесе для диапазона значений коэффициента расхода воздуха μ ($0,2-0,4$), угла α ($10-60^\circ$), относительного расхода воздуха, подаваемого на завесу q ($0,5-1$), и при относительной ширине щели воздушной завесы $1/10$; $1/15$; $1/30$ (рис. 4).

Определено относительное снижение потерь тепловой энергии через проем ворот коровника $\Delta Q/Q_l$ при работающей воздушной завесе для значения угла между направлением выхода струи завесы и плоскостью ворот $\alpha = 40^\circ$, диапазона значений наружной температуры воз-

Рис. 4. Относительное снижение потерь тепловой энергии через проем ворот коровника $\Delta Q/Q_i$ при работающей воздушной завесе для диапазона значений коэффициента расхода воздуха μ , относительного расхода воздуха, подаваемого на завесу θ , угла α и при относительной ширине щели воздушной завесы: 1–1/10; 2–1/15; 3–1/30

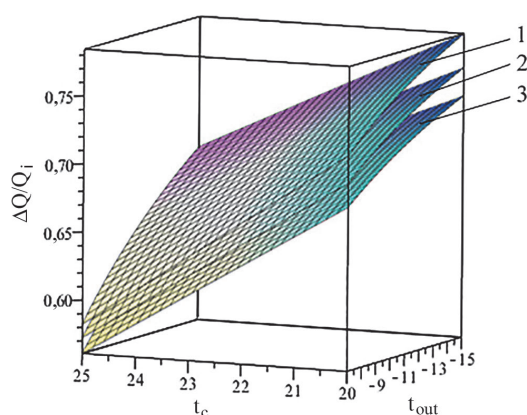
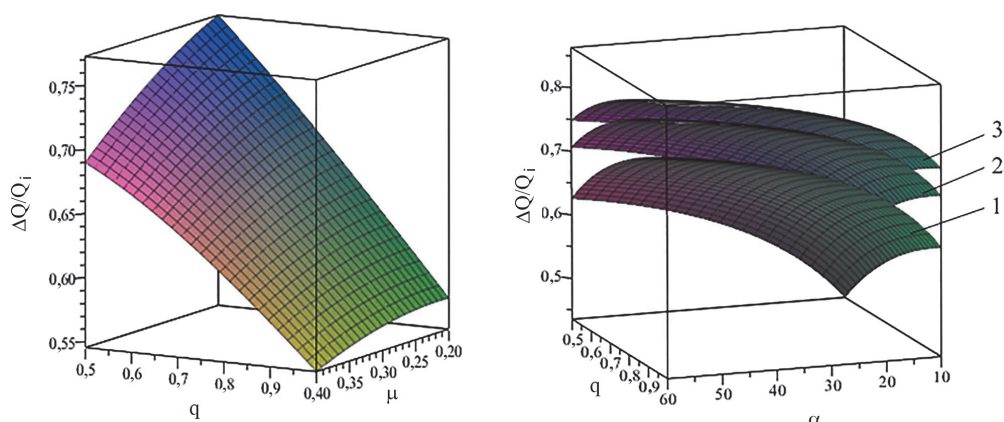


Рис. 5. Относительное снижение потерь тепловой энергии через проем ворот коровника $\Delta Q/Q_i$ при работающей воздушной завесе для значения угла $\alpha = 40^\circ$, диапазона значений наружной температуры воздуха t_{out} , °C, диапазона значений температуры подаваемого на завесу нагретого воздуха t_c , °C, и относительной ширины щели воздушной завесы: 1–1/10; 2–1/15; 3–1/30

духа $t_{out} = -15-7^\circ\text{C}$, температуры подаваемого на завесу нагретого воздуха $t_c = 20-25^\circ\text{C}$ и при относительной ширине щели воздушной завесы 1/10; 1/15; 1/30.

Таким образом, энергосберегающий эффект при работающей воздушной завесе у проема ворот коровника для рассматриваемого диапазона значений параметров в среднем составляет 35%. Рекомендуемый режим работы воздушной завесы для помещений коровников – периодического действия с внутренним воздухозабором. В зависимости от размера перекрываемого проема ворот коровника подбирается вариант воздушной завесы из универсальных модульных воздухораспределителей, которые рекомендуется устанавливать с двух сторон проема ворот.

Также возможна работа воздушной завесы в постоянном режиме с внутренним воздухозабором в качестве воздушной отопительной установки для устранения инфильтрации наружного воздуха в помещении коровника

у ворот. При закрытии ворот воздушная завеса может переходить в режим с пониженной скоростью воздушной струи и осуществлять локальный обогрев воздуха в помещении у ворот. Предусмотрена также работа воздушной завесы в постоянном режиме при наружном воздухозаборе в качестве приточной вентиляционно-отопительной установки для компенсации тепловых потерь всего помещения коровника и обеспечения требуемых параметров микроклимата. В данном случае при снижении температуры наружного воздуха ниже -15°C рекомендуется переходить на режим работы только с внутренним воздухозабором, так как работа воздушной завесы в постоянном режиме с наружным воздухозабором при указанных температурах приводит к снижению ее эффективности и увеличению эксплуатационных затрат.

Выводы

1. Приведены рекомендации по выбору воздушных завес и расчету их параметров для животноводческих помещений ферм КРС. Предложена модульная конструкция воздушной завесы с несколькими вариантами режимов работы, позволяющая регулировать расход воздуха и угол выхода струи из щели воздушной завесы в зависимости от ветровой нагрузки и адаптировать ее работу для конкретной фермы с учетом климатических параметров региона.

2. Проведены лабораторные исследования воздушной завесы предложенной конструкции при соблюдении микроклиматических требований для помещений ферм КРС. Получены экспериментальные данные скорости воздушной струи на выходе из завесы V_c для диапазона значений угла α ($10-60^\circ$) и значений ширины щели воздушной завесы b_c (0,05-0,15 м) с учетом изменения скорости ветра V_w (1-5 м/с). Экспериментальные значения скорости воздушной струи на выходе из завесы V_c могут быть использованы для подбора вентилятора воздушной завесы и расчета мощности электрического воздухонагревателя (калорифера).

3. При расчете температуры подаваемого воздуха на завесу t_c и средней температуры смеси воздуха, поступающей в помещение t_{mix} , целесообразно ис-

пользовать в качестве расчетной зимней температуры t_{out} среднюю температуру наиболее холодного месяца года (января). Проведенные расчеты показали, что относительное снижение потерь тепловой энергии через проем ворот коровника $\Delta Q/Q_1$ при работающей воздушной завесе относительного расхода воздуха, подаваемого на завесу q (0,5-1), температуры наружного воздуха t_{out} ($-7-15^\circ\text{C}$) и при относительной ширине щели воздушной завесы 1/10; 1/15; 1/30 в среднем составляет 35%.

4. По предварительной технико-экономической оценке использование предложенной конструкции воздушной завесы для коровника на 200 голов позволит снизить энергетические затраты на поддержание требуемого микроклимата в помещении на 10-15%. Снижается также риск возникновения простудных заболеваний у животных, находящихся в помещениях ферм КРС.

Список использованных источников

1. Tikhomirov D., Vasiliev A., Dudin S. Energy-saving electrical installations for heat supply of agricultural objects // Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development. Hershey, PA, USA, 2019. P. 96-122.
2. Li Q., Yao C., Ding L., Yu L., Ma W., Gao R., Zheng W. Numerical Investigation on Effects of Side Curtain Opening Behavior on Indoor Climate of Naturally Ventilated Dairy Buildings // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2020. Vol. 13. Iss. 5. P. 63-72.
3. Довлатов И.М., Юрочка С.С. Разработка энергоэффективной системы микроклимата для беспривязного содержания дойного стада // С.-х. машины и технологии. 2021. Т. 15. № 3. С. 73-80.
4. Havelka Z., Kunes R., Kononets Y., Stokes J.E., Smutny L., Olsan P., Kresan J., Stehlik R., Bartos P., Xiao, M., Kriz P., Findura P., Rztocil D. Technology of Microclimate Regulation in Organic and Energy-Sustainable Livestock Production // Agriculture 2022. Vol. 12. Iss. 10. 1563.
5. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // С.-х. машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10.
6. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Трунов С.С. Тепловые завесы в системах микроклимата животноводческих ферм // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 1 (34). С. 14-20.

7. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Баклачян Р.А., Добровольский Ю.Н. Методология расчета и обоснование технологической схемы тепловой завесы // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 3 (32). С. 302-312.

8. Strongin A.S., Zhivov A.M. Energy Efficient Air Curtains for Industrial Gates in Cold Climates // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 246. 08005.

9. Растимешин С.А., Трунов С.С. Энергосберегающие системы и технические средства отопления и вентиляции животноводческих помещений. М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. 180 с.

10. Батулин В.В. Основы промышленной вентиляции. М.: Профиздат, 1990. 448 с.

11. Пат. № 2716299. Модульная тепловая воздушная завеса для защиты проемов ворот с изменяемым вектором направления воздушной струи и регулируемой шириной щели // Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Кузьмичев И.А., Ламонов Н.Г. // Заяв. и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Заявка 2019125012 от 07.08.2019; опубл. 11.03.2020.

12. Богословский В.Н., Новожилов В.И., Симаков Б.Д., Титов В.П. Отопление и вентиляция. М.: Стройиздат, 1976. Ч. 2. 439 с.

Evaluation of the Effectiveness of Using Air Curtains in the Livestock Houses of the Bovine Cattle Farms

D.A. Tikhomirov, A.V. Khimenko, A.V. Kuzmichev (FGBNU FNATS VIM)

Summary. Recommendations are given for the selection of the air curtains and the calculation of their parameters for livestock houses of the bovine cattle farms. A block diagram and modular design of an air curtain with a variable direction vector of the air stream and an adjustable slot width have been developed. Experimental data on the speed of the air stream at the exit from the curtain V_c for the range of values of the angle α ($10-60^\circ$) between the direction of exit of the air stream from the curtain slot and the opening plane and the data on the values of the air curtain slot width b_c (0.05-0.15 m) taking into account changes in wind speed V_w (1-5 m/s) are provided. According to preliminary estimates, the use of the proposed air curtain design will allow a 10-15% reduction in energy costs for maintaining the required microclimate in livestock houses of the bovine cattle farms during the cold season.

Key words: air curtains, microclimate of livestock houses, air stream speed, air temperature, energy saving.



ДОРОГИЕ АБИТУРИЕНТЫ!

ФГБНУ «Росинформагротех» объявляет прием на обучение по образовательным программам – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в АСПИРАНТУРЕ на 2024-2025 учебный год по специальностям:

- ✓ 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса;
- ✓ 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика (3. Экономика сельского хозяйства и АПК)

Прием документов – с 3 июня по 16 августа 2024 г.

Подробная информация о сроках приема документов, проведения вступительных испытаний и условиях поступления размещена на сайте ФГБНУ «Росинформагротех» <https://rosinformagrotech.ru>

Тел. (495) 594-99-41



О повышении эффективности тракторов

В.Ф. Федоренко,
акад. РАН, гл. науч. сотр.,
f@maro.pro
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

А.Б. Иванов,
науч. сотр.,
artem_b_ivanov@mail.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТиМ]);

С.В. Зленко,
канд. техн. наук,
zlenkosv@bk.ru
(независимый исследователь);

В.Е. Таркивский,
д-р техн. наук, врио директора,
tarkivskiy@yandex.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТиМ])

Аннотация. Представлены результаты исследования повышения эффективности сельскохозяйственных тракторов в производственных условиях. На основании анализа данных, полученных при определении тяговых показателей колесных тракторов, разработаны способ определения буксования колес трактора с помощью одночастотного ГНСС-приемника и математическая модель, позволяющая в производственных условиях рассчитать вес трактора, обеспечивающий максимальную тяговую эффективность при выполнении текущей операции.

Ключевые слова: полная мощность двигателя, сопротивление перекачиванию, буксование, трактор, сцепной вес, коэффициент тяги, тяговые испытания.

Постановка проблемы

Основное назначение сельскохозяйственных тракторов, особенно средней и высокой мощности – выполнение тяговой работы. Эффективность трактора оценивают по объему выполненной работы относительно затрат, понесенных при ее выполнении. Работа определяется тяговым усилием и скоростью движения, поэтому идеальный трактор всю энергию топлива преобразует в полезную агротехническую работу. На практике большая часть потенциальной энергии теряется при преобразовании тепловой энергии в механическую, далее при передаче мощности от двигателя через трансмиссию и,

наконец, через тяговое устройство. При полевых работах наибольшую долю всех потерь энергии между дизельным двигателем и орудием составляют потери энергии на границе взаимодействия движитель-почва [1] – порядка 25% доступной энергии трактора [2]. Это ускоряет изнашивание шин и помимо уплотнения почвы, непосредственно снижающего урожайность сельскохозяйственных культур [3], изменяет её структуру [4], способствуя образованию поверхностной корки, приводящей к потере влаги и растрескиванию [5].

Оптимизация производительности колесного трактора, выполняющего полевые операции на почвах с различными характеристиками, предполагает правильно подобранные мощность трактора, вес, скорость и тяговое усилие (или пробуксовку колес). Для оптимизации конкретной агротехнической операции необходимо манипулировать массой трактора, скоростью и тяговой силой, действующей на орудие, до тех пор, пока не будут достигнуты оптимальные рабочие условия [6]. Очевидно, что для проектирования и эксплуатации трактора очень полезны сведения об оптимальных значениях в конкретных условиях основных тяговых показателей (вес, тяговая сила и скорость в различных почвенных условиях).

Цель исследований – усовершенствование метода достижения максимальной тяговой эффективности колесных сельскохозяйственных тракторов за счет оптимального балластирования.

Материалы и методы исследования

В исследовании применялись методы математического моделирования и регрессионного анализа данных, полученных при экспериментальном определении параметров тяговой эффективности колесных сельскохозяйственных тракторов в различных условиях.

Понимание и прогнозирование производительности тракторов было основной целью многих исследователей. На производительность трактора влияют тяговые элементы, состояние почвы, тип орудия и конфигурация трактора [7]. Тяговые характеристики необходимы для прогнозирования производительности трактора в производственных условиях в сочетании с базовой информацией из официальных испытаний тракторов [6].

Мощность $N_{\text{кол}}$ (кВт), приходящую на ведущие колеса трактора, можно представлять в виде

$$\begin{aligned} N_{\text{кол}} &= N_{\text{полн}} - N_{\text{пот}} = \frac{M_{\text{кол}} \cdot \omega_{\text{кол}}}{9550} = P_{\text{кол}} \cdot v_{\text{теор}} = (P_{\text{пер}} + P_{\text{крюк}}) \cdot v_{\text{теор}} = \\ &= P_{\text{пер}} \cdot v_{\text{теор}} + P_{\text{крюк}} \cdot v_{\text{теор}} = P_{\text{пер}} \cdot v_{\text{теор}} + P_{\text{крюк}} \cdot (v_{\text{теор}} - v_{\text{факт}} + v_{\text{теор}}) = \\ &= P_{\text{пер}} \cdot v_{\text{теор}} + P_{\text{крюк}} \cdot (v_{\text{теор}} - v_{\text{факт}}) + P_{\text{крюк}} \cdot v_{\text{теор}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $N_{\text{полн}} = f(n_{\text{двиг}}, q_{\text{ц}})$ – полная мощность двигателя, которую можно представить в виде эмпирической функции скорости вращения коленчатого вала двигателя $n_{\text{двиг}}$ (мин^{-1}) и цикловой подачи топлива $q_{\text{ц}}$ (г), кВт;

$N_{\text{пот}} = f(n_{\text{двиг}})$ – потери мощности на привод вспомогательных систем (вентиляторы, насосы и т.д.) и потери в трансмиссии, которые можно представить в виде эмпирической функции скорости вращения коленчатого вала двигателя $n_{\text{двиг}}$ (мин^{-1}), кВт;

$M_{\text{кол}}$ – крутящий момент на оси ведущего колеса, Н·м;

$\omega_{\text{кол}} = f(n_{\text{двиг}}, u)$ – скорость вращения ведущего колеса, которую можно представить в виде функции скорости вращения коленчатого вала двигателя $n_{\text{двиг}}$ (мин^{-1}) и передаточного числа трансмиссии u , мин^{-1} ;

$P_{\text{кол}}$ – касательное усилие на границе раздела поверхность колеса-опорное основание, кН;

$P_{\text{пер}}$ – усилие сопротивления перекачиванию, кН;

$P_{\text{крюк}}$ – усилие на крюке (тяговое усилие), кН;

$v_{\text{теор}}$ – окружная скорость колеса на границе раздела поверхность колеса-опорное основание (горизонтальная проекция скорости движения оси колеса относительно опорной поверхности при отсутствии скольжения и деформации колеса), м/с;

$v_{\text{факт}}$ – фактическая горизонтальная скорость движения оси колеса относительно опорной поверхности, м/с.

Три слагаемых в получившемся уравнении

$$N_{\text{полн}} - N_{\text{пот}} = P_{\text{пер}} \cdot v_{\text{теор}} + P_{\text{крюк}} \cdot (v_{\text{теор}} - v_{\text{факт}}) + P_{\text{крюк}} \cdot v_{\text{теор}} \quad (2)$$

можно обозначить как мощности, затрачиваемые соответственно на перекачивание $N_{\text{пер}}$, буксование $N_{\text{букс}}$ и выполнение работы на крюке $N_{\text{крюк}}$:

$$N_{\text{пер}} = P_{\text{пер}} \cdot v_{\text{теор}}, \quad (3)$$

$$N_{\text{букс}} = P_{\text{крюк}} \cdot (v_{\text{теор}} - v_{\text{факт}}), \quad (4)$$

$$N_{\text{крюк}} = P_{\text{крюк}} \cdot v_{\text{теор}}. \quad (5)$$

Тогда уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$N_{\text{полн}} - N_{\text{пот}} = N_{\text{пер}} + N_{\text{букс}} + N_{\text{крюк}}. \quad (6)$$

В производственных условиях перераспределение баланса в сторону увеличения мощности на выполнение работы на крюке возможно при снижении ее на преодоление буксования и (или) самопередвижение трактора, которые взаимосвязаны [6]. Тем не менее в результате исследований [7] получены условия, при которых колесный трактор имеет максимальную тяговую эффективность. На рис. 1 представлена диаграмма Уильяма Бриксиуса, которая характеризует зависимость тягового КПД колесного трактора от коэффициента тяги k (7) для почв с различным индексом проходимости B_N , характеризующим контакт шины с почвой (малые значения означают мягкую почву и (или) высокую нагрузку

на колеса, большие – наоборот. Типичные значения индекса при выполнении сельскохозяйственных работ на почвах находятся в диапазоне 20-80 [8]:

$$k = \frac{P_{\text{крюк}}}{P_{\text{трак}}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{трак}}$ – вес трактора, кН.

Для максимальной тяговой эффективности выполнения работ в текущих условиях следует обеспечить соответствующее значение коэффициента тяги k , для чего нужно изменить либо тяговое усилие на крюке $P_{\text{крюк}}$ (что представляется нереализуемым при выполнении работ имеющимся орудием с заданными техническими параметрами и настройками, обеспечивающими необходимое качество операции), либо сцепной вес трактора $P_{\text{трак}}$ – путем изменения количества и расположения балластных грузов [2]. Однако для этого, прежде всего, нужно знать текущее состояние работы тягового агрегата (текущий сцепной вес $P_{\text{трак}}$ и текущее тяговое усилие на крюке $P_{\text{крюк}}$) [9]. Определение первого параметра для пользователя обычно затруднений не составляет, а возможность определения тягового усилия в производственных условиях без специализированного оборудования представляется маловероятной.

Как видно из рис. 1, параметром, устойчиво связанным с коэффициентом тяги k и тяговым КПД трактора η , является буксование его движителей d , которое обычно выражается в (%) и характеризует разницу между горизонтальным расстоянием, на которое фактически переместилась ось колеса за определенное число оборотов, и расстоянием, на которое ось могла бы переместиться за то же число оборотов, если бы поверхность вращения колеса не проскальзывала относительно опорной поверхности и не деформировалась. В соответствии с ГОСТ 30745-2001 буксование определяется по формуле

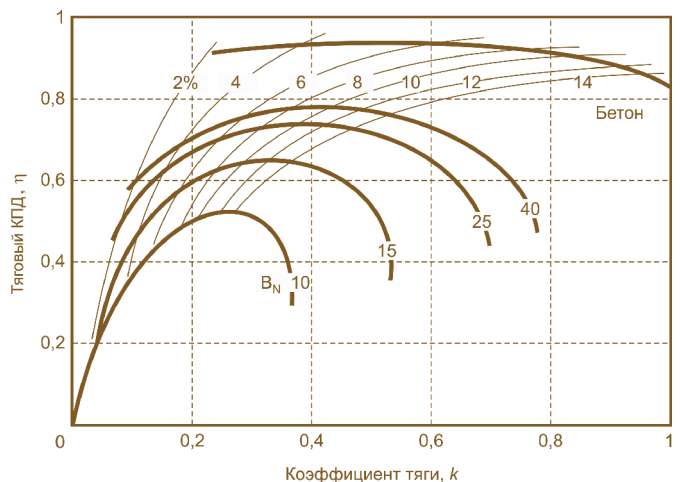


Рис. 1. Диаграмма тяговой эффективности колесных тракторов для различных почв

$$\delta_{\text{ГОСТ}} = \left(1 - \frac{n'_k}{n_k}\right) \cdot 10^2, \quad (8)$$

где n'_k – число оборотов колеса при движении без нагрузки на крюке и фиксированной длине гона;

n_k – число оборотов колеса при движении с нагрузкой на крюке и той же длине гона.

Для определения буксования колес трактора в производственных условиях достаточно нанести метки на ведущие колеса трактора, отметить на поле участок достаточной длины, затем (наблюдая за метками) подсчитать число оборотов колес сначала при проезде трактора по отмеренному участку без орудия, а затем с орудием при выполнении работы и выполнить соответствующие вычисления [10].

Несмотря на техническую доступность реализации, данный метод является достаточно трудоемким, требует присутствия еще одного человека (помощника) и при этом не характеризуется высокой точностью. Кроме того, в настоящий момент существуют только крайне нечеткие рекомендации по изменению сцепного веса, которые предлагают, изменяя балластировку, опытным путем добиваться требуемого уровня буксования колес. С учетом того, что и сама процедура изменения балластировки трактора достаточно трудоемка, складывается ситуация, когда довольно значительную часть времени сельскохозяйственные тракторы работают с низкой тяговой эффективностью [11].

Исследования американских инженеров Agricultural Technology Centre (ранее называвшийся Alberta Farm Machinery Research Centre) показали, что это приводит к излишнему потреблению топлива в количестве около 150 млн галлонов (567,8 млн л) в год, а в результате исследований, проведенных в СКС ВИМ [2], выявлено, что повышенное сопротивление плугов при вспашке переуплотненных следами колесных тракторов почв приводит к годовому перерасходу около 1 млн т топлива.

Результаты исследований и обсуждение

Для достижения поставленной цели необходимо решить две основные задачи:

- усовершенствование метода определения буксования ведущих колес трактора в производственных условиях;

- разработка метода, позволяющего при известном значении текущего буксования рассчитать необходимое изменение сцепного веса трактора для достижения максимальной тяговой эффективности в сложившихся условиях работы.

Исходя из представленного определения и уравнений (1), буксование можно рассматривать и как разницу между расстояниями, пройденными под нагрузкой и без нее при равном числе оборотов колеса (коленчатого вала двигателя), и как разницу между фактической скоростью движения трактора под нагрузкой и без нее. Уравнение (8) в этих случаях выглядит следующим образом:

$$\delta_S = \left(1 - \frac{S'_{\text{трак}}}{S_{\text{трак}}}\right) \cdot 10^2, \quad (9)$$

$$\delta_v = \left(1 - \frac{v'_{\text{факт}}}{v_{\text{факт}}}\right) \cdot 10^2, \quad (10)$$

где $S'_{\text{трак}}$ и $S_{\text{трак}}$ – расстояние, пройденное трактором соответственно без нагрузки и под нагрузкой при равном числе оборотов колес n_k , м;

$v'_{\text{факт}} = v_{\text{теор}}$ и $v_{\text{факт}}$ – скорость движения трактора соответственно без нагрузки и под нагрузкой при равной скорости вращения колес $\omega_{\text{кол}}$, м/с.

При наличии возможности измерения скорости вращения коленчатого вала двигателя трактора (либо любого вала, имеющего с коленчатым прозрачную кинематическую связь) уравнения (9) и (10) можно представить в виде

$$\delta_S = \left(1 - \frac{S_{\text{трак}}}{n_{\text{двиг}}(S) \cdot k'_S}\right) \cdot 10^2, \quad (11)$$

$$\delta_v = \left(1 - \frac{v_{\text{факт}} \cdot t}{n_{\text{двиг}}(t) \cdot k'_v}\right) \cdot 10^2, \quad (12)$$

$n_{\text{двиг}}(S)$ и $n_{\text{двиг}}(t)$ – число оборотов, совершенных коленчатым валом двигателя при прохождении пути $S_{\text{трак}}$ и за время $t(c)$ соответственно;

k'_S и k'_v – коэффициенты, получаемые отношением фактического пути, пройденного трактором, к числу оборотов коленчатого вала двигателя и отношением фактической скорости к скорости вращения коленчатого вала двигателя соответственно, при том же передаточном отношении трансмиссии и движении трактора без нагрузки.

Определить буксование по формулам (11) и (12) можно с помощью одностотного ГНСС-приемника, имеющегося в современном смартфоне. Для этого достаточно получить доступ к NMEA-протоколу с помощью любого из множества свободно распространяемых специализированных приложений. При этом данные о пройденном расстоянии $S_{\text{трак}}$ приемник определяет по технологии точечного позиционирования (Point Position) с минимальной точностью $\Delta S_{\text{трак}} = \pm 5$ м, а данные о фактической скорости – по технологии, основанной на эффекте Доплера (Dopler Measurment) с минимальной точностью $\Delta v_{\text{трак}} = \pm 0,02 \cdot v_{\text{трак}}$, м/с.

Для сравнения точности определения буксования по рассмотренным трем методам были разработаны модели, представляющие $\Delta \delta$ в виде функции одного аргумента – пути S , пройденного трактором при измерении

$$\Delta \delta_{\text{ГОСТ}}(S) = \sqrt{\left(\frac{10^2}{\bar{n}_k(S)} \cdot \Delta n'_k\right)^2 + \left(\frac{\bar{n}'_k(S) \cdot 10^2}{\bar{n}_k^2(S)} \cdot \Delta n_k\right)^2}, \quad (13)$$

где

$$\bar{n}_k(S) = \frac{S}{2 \cdot \pi \cdot R_K}, \quad (14)$$

$$\bar{n}'_k(S) = \frac{2 \cdot \bar{\delta} \cdot S}{2 \cdot \pi \cdot R_K}, \quad (15)$$

$\bar{\delta}$ – математическое ожидание буксования, %;

R_K – радиус качения колеса трактора, м.

$$\Delta\delta_S(S) = \sqrt{\left(\frac{10^2}{k'_S \cdot \bar{n}_{\text{букс}}(S)} \cdot \Delta S\right)^2 + \left(\frac{S \cdot 10^2}{k'_S \cdot \bar{n}_{\text{букс}}(S)^2} \cdot \Delta n_{\text{букс}}(S)\right)^2}, \quad (16)$$

где

$$\bar{n}_{\text{букс}}(S) = \frac{S \cdot 10^2}{k'_S \cdot (\bar{\delta} - 10^2)}, \quad (17)$$

$$\Delta\delta_v(S) = \sqrt{\left(\frac{\bar{t}(S) \cdot 10^2}{k'_v \cdot \bar{n}_{\text{букс}}(t)(S)} \cdot \Delta v_{\text{факт}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{t}(S) \cdot \bar{v}_{\text{факт}} \cdot 10^2}{k'_v \cdot \bar{n}_{\text{букс}}(t)(S)^2} \cdot \Delta n_{\text{букс}}(t)\right)^2 + \left(\frac{\bar{v}_{\text{факт}} \cdot 10^2}{k'_v \cdot \bar{n}_{\text{букс}}(t)(S)} \cdot \Delta t\right)^2}, \quad (18)$$

где

$$\bar{t}(S) = \frac{S}{\bar{v}_{\text{факт}}}, \quad (19)$$

$$\bar{n}'_{\text{букс}}(t)(S) = \frac{S}{k'_v}. \quad (20)$$

На рис. 2 представлены результаты моделирования точности определения буксования трактора Versatile 2375, оборудованного радиальными шинами 30.5 R32 R1, на 3-й передаче среднего (Medium range) диапазона. Исходные данные для моделирования представлены в таблице.

Для решения прикладной задачи расчета такого относительного изменения веса трактора $P_{\text{трак}}$ (%), которое бы позволило в текущих условиях обеспечить требуемый для максимальной тяговой эффективности уровень буксования, это изменение рассматривалось в виде функции

$$\Delta P_{\text{трак}} = f(\Delta\delta_u, P_{\text{трак}}, k_{\text{КТ}}), \quad (21)$$

где $\Delta\delta_{\text{ц}}$ – целевое изменение буксования, необходимое для достижения максимальной тяговой эффективности, %;

Исходные данные, принятые при моделировании точности измерения буксования

Переменная	Значение
ΔS , м	± 5
$\Delta v_{\text{факт}}$, м/с	$\pm 0,02$
Δt , с	$\pm 0,1$
$\Delta n_{\text{двиг}}(S)$, мин ⁻¹	$\pm 0,5$
$\Delta n_{\text{двиг}}(t)$, мин ⁻¹	$\pm 0,5$
k'_S	$\pm 0,0826$
k'_v	$\pm 0,0826$
$\bar{\delta}$, %	14

$k_{\text{КТ}}$ – эмпирический коэффициент, характеризующий конструкцию трактора.

В этом представлении не учитывается тяговое сопротивление $P_{\text{крюк}}$, которое орудие оказывает на трактор. Также не учитываются особенности взаимодействия колеса с опорной поверхностью (почвой) B_N . Это связано с тем, что эмпирические результаты решения задачи применяются к тем же условиям, при которых были получены исходные данные. Следовательно, единственной остающейся неопределенностью, влияющей на успех или неудачу решения задачи, является $k_{\text{КТ}}$, но при наличии достаточного количества сопоставимых экспериментальных данных можно получить математическую модель с высокой степенью адекватности, которая позволит обеспечить результат, максимально приближающийся к желаемому.

В рамках исследования были проанализированы отчеты об испытаниях 78 моделей колесных тракторов (рис. 3), в которых имелись данные тяговых испытаний и в базовой комплектации (без балласта) с максимальной балластировкой (рассматривалась только балластировка грузами, случаи дополнительной балластировки путем заполнения шин водой не рассматривались). По каждой модели трактора были построены математические модели буксования в виде функции тягового усилия (для возможности сравнения тракторов различных тяговых классов тяговое усилие было представлено в виде отно-

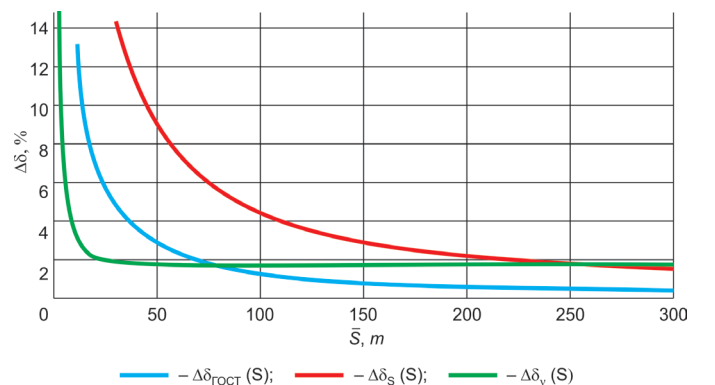


Рис. 2. Результаты моделирования точности определения буксования $\Delta\delta_{\text{ГОСТ}}(S)$, $\Delta\delta_S(S)$ и $\Delta\delta_v(S)$

сительных единиц. За 100% было принято максимальное тяговое усилие (ограниченное пределом буксования), полученное в комплектации трактора без балласта).

После аппроксимации данных по каждой модели трактора и определения характеристик распределения опорных значений стало возможным получение регрессионных моделей буксования «усредненного» колесного трактора на почвенных фонах с различным индексом проходимости B_N , которые показали, что при фиксированных изменениях веса трактора ($\Delta P_{\text{крюк}} = \text{const}$) изменение буксования происходит нелинейно и зависит от тягового усилия. Поскольку при формулировке задачи не учитывалось тяговое сопротивление $P_{\text{крюк}}$, которое орудие оказывает на трактор, $\Delta \delta$ целесообразно выразить как зависимость от текущего буксования, которую для каждого принятого изменения сцепного веса трактора $\Delta P_{\text{трак}}$ можно представить в виде уравнения

$$\Delta \delta_u(\delta) = a \cdot (1 + \delta)^b, \quad (22)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты.

В результате регрессионного анализа имеющихся данных была получена зависимость

$$\Delta P_{\text{трак}}(\delta, \Delta \delta_u) = \frac{c \cdot \Delta \delta_u}{a \cdot (1 + \delta)^b} \cdot 100, \quad (23)$$

где $a = 0,03$, $b = 1,77$ и $c = 0,28$ – коэффициенты.

График зависимости (23) представлен на рис. 4.

С помощью разработанной математической модели становится возможным, имея в распоряжении только информацию о текущем буксовании колес трактора, рассчитать относительное изменение сцепного веса трактора для обеспечения максимального тягового КПД. Если полученные в результате значения буксования, а следовательно, и тяговая эффективность трактора будут достигнуты не в полной мере (расчетная вероятность успеха составляет 0,68), полученные данные могут быть использованы для внесения корректировок и уточнения значений коэффициентов a , b и c . Также повышению вероятности более точных расчетов будет способствовать внедрение современных интеллектуальных алгоритмов анализа данных [13].

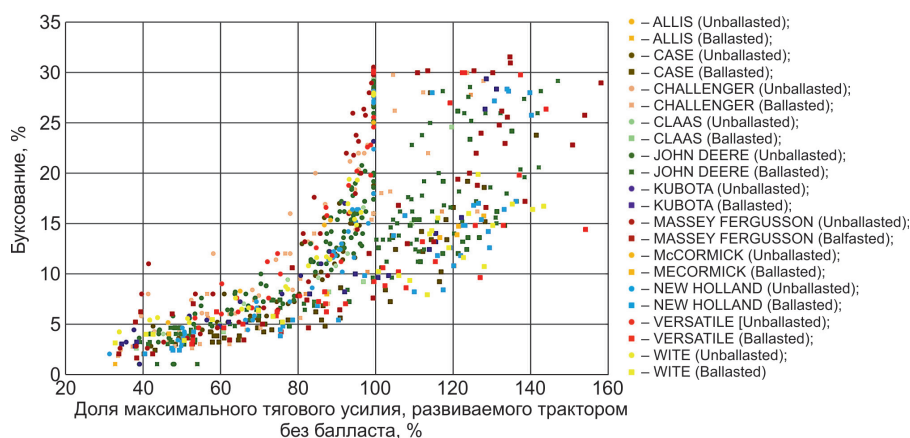


Рис. 3. Экспериментальные значения буксования

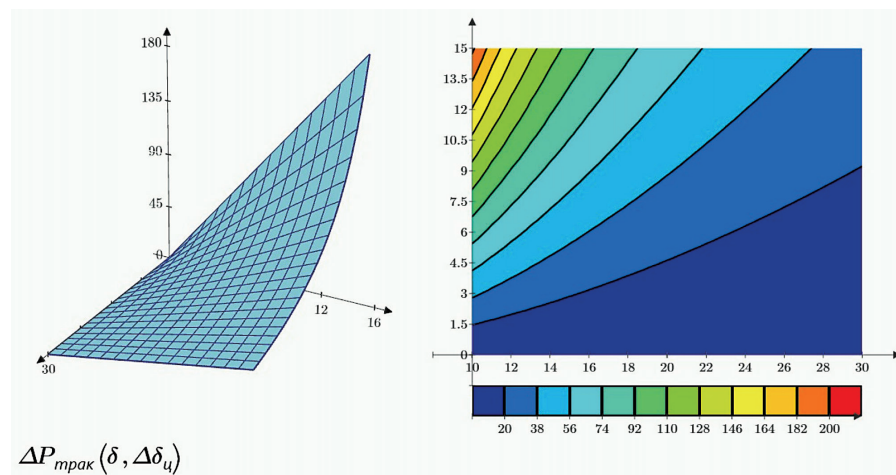


Рис. 4. Изменение сцепного веса трактора в виде функции текущего буксования и необходимого его изменения

Выводы

1. Проведенное исследование показало, что в условиях производственной эксплуатации сельскохозяйственные колесные тракторы значительное время работают с тяговой эффективностью ниже возможного предела.

2. Наиболее доступным как для оценки, так и для регулирования тяговой эффективности колесного трактора в производственных условиях параметром является буксование его ведущих колес.

3. Применение одночастотных ГНСС-приемников упрощает процесс и повышает точность оценки буксования колес сельскохозяйственного трактора в производственных условиях. Для оценки буксования более предпочтительной является технология прямого измерения скорости, основанная на эффекте Доплера.

4. Полученная математическая модель позволяет достаточно точно рассчитать необходимое изменение веса трактора для достижения максимальной тяговой эффективности в любых условиях выполнения сельскохозяйственной операции. Для расчета модель требует только информации о текущем буксовании колес трактора.

Список использованной литературы

1. **Renius K. T.** Tractor Mechanics. In: Fundamentals of Tractor Design. Cham, Switzerland : Springer. 2020. Pp. 25-49. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32804-7_2.
2. **Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S.** Profound insight into tractor energy dissipation through inevitable interaction inside wheel-soil interface for the period of plowing works // Soil and Tillage Research. 2021. T. 211. P. 104998. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104998>.
3. **Fonteyne S., Martinez Gamico M.A., Tejeda A.S., & Verhulst N.** Conservation agriculture improves long-term yield and soil quality in irrigated maize-oats rotation // Agronomy. 2019. 9(12), 1–13. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120845>.
4. **Shaheb M.R., Venkatesh R. & Shearer S.A.** A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production // J. Biosyst. Eng. 46. 2021. P. 417-439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7>.
5. **Bolan N.S., Kirkham M.B.** Soil Constraints and Productivity. CRC Press, 2023. P. 634. <https://doi.org/10.1201/9781003093565>.
6. **Shafaei S.M., Loghavi M., Kamgar S.** Fundamental realization of longitudinal slip efficiency of tractor wheels in a tillage practice. Soil and Tillage Research. 2021 Jan 1;205:104765. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104765>.
7. **Brixius W.W.** Traction prediction equations for bias ply tires // ASAE-Paper. 1987. № 87. P. 1622.
8. **Pichlmaier B., Honzek R.** Traktionsmanagement für Gross-Traktoren. ATZoffhighway. 2011 Nov; 4(2): 84-95. <https://doi.org/10.1365/s35746-011-0023-x>.
9. **Ivanov A.B.** Rational use of energy potential and reduction of the negative impact on the soil of agricultural tractor propellers using instrumental control of slipping / A.B. Ivanov, V.F. Fedorenko, V.E. Tarkivsky, D.A. Petkhov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2021. 808. P. 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/808/1/012019>.
10. **Ivanov A.B.** Solving the problem of ballasting an agricultural tractor when performing agricultural operations. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. 979. P. 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012076>.

11. **Hanna Mark H., Petersen Dana** (2011) Energy management for crop production. Integrated Crop Management Conference. Iowa State University. 2011. P. 31-36.

12. **Русанов В.А.** Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М.: ВИМ, 1998. 368 с.

13. **Федоренко В.Ф.** Применение алгоритмов машинного обучения для определения характеристики турбонаддува дизельных двигателей / В.Ф. Федоренко, А.Б. Иванов // Техника и оборудование для села. 2023. № 10(316). С. 16-20. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-10-16-20>.

Regarding Improvement of the Tractor Efficiency

V.F. Fedorenko

(FGBNU FNATS VIM)

A.B. Ivanov

(Novokubansk branch of

FGBNU "Rosinformagrotech"

[KubNIITiM])

S.V. Zlenko, V.E. Tarkivsky

(Novokubansk branch of

FGBNU "Rosinformagrotech"

[KubNIITiM])

Summary. The results of the study on increasing the efficiency of agricultural tractors in production conditions are presented. The authors analyzed the data on the traction performance of wheeled tractors and developed the method of determining the tractor wheels slipping using a single-frequency GNSS receiver and a mathematical model that allows, under production conditions, to calculate the weight of the tractor which ensures the maximum traction efficiency when performing the current operation.

Key words: total engine power, rolling resistance, slipping, tractor, hitch weight, traction coefficient, traction tests.

РЕКЛАМА

VIII ЕЖЕГОДНАЯ ПОЛЕВАЯ ВЫСТАВКА-ДЕМОНСТРАЦИЯ

13-14 июня

ДЕНЬ ДОНСКОГО ПОЛЯ



50

ДЕМПОКАЗОВ
ВСЕГО ЦИКЛА
С/Х РАБОТ

120

БРЕНДОВ
АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ
ПРОДУКЦИИ

ОДИН
ИЗ КРУПНЕЙШИХ
ПРОЕКТОВ
НА ЮГЕ
РОССИИ!

200

ЕДИНИЦ С/Х
ТЕХНИКИ

6 500+

ПОСЕТИТЕЛЕЙ

ПРОДЕМОНСТРИРУЙТЕ
СВОИ ПРЕИМУЩЕСТВА И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
НЕПОСРЕДСТВЕННО В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ!

РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ КАК УЧАСТНИК
И ПОДАВАЙТЕ ЗАЯВКУ УЖЕ СЕЙЧАС!



ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:




ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР

РОСТСЕЛЬМАШ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



Ростовская область, Зерноградский район,
DON-POLE.RU п. Экспериментальный

 (863) 268-77-94  ФГБУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

УДК 629.014.7

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-3-20-23

Математическая модель управления возрастной структурой парка машинотракторного парка на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР

Б.Б. Сидоров,мл. науч. сотр.,
bbs101973@mail.ru**М.Ю. Карелина,**д-р техн. наук,
проф., проректор,
karelinamu@mail.ru

(ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»)

Аннотация. Представлен алгоритм формирования методов управления возрастной структурой парка по показателям ТО и ТР МТП в виде дискретных зависимостей, позволяющих реализовать комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники (коэффициенты технического использования или технической готовности (КТИ или КТГ)). Разработана математическая модель управления возрастной структурой МТП с учетом потребительских свойств, определяемой дискретной математической моделью изменения номенклатуры показателей ТО и ТР, с применением специализированного математического аппарата принятия решений в условиях неопределенности, при этом задача носит многокритериальный характер.

Ключевые слова: коэффициент технического использования, машинотракторный парк, дискретная функция, интервал технического обслуживания.

Постановка проблемы

В современных условиях интенсивного обновления машинотракторного парка (МТП) Российской Федерации неизбежно изменяются актуальные требования к возрастной структуре парка (ВСП) [1]. При этом необходимо учитывать особенности ВСП МТП и отражать их в методике управления ею:

- более 2/3 отечественных автомобилей, тракторов и комбайнов в отрасли уже отработали более десяти лет. Фактически многие хозяйства эксплуатируют технику, которую при упомянутой нагрузке давно пора утилизировать. В итоге ежегодные потери урожая по данной причине составляют 10-15%, а требуемые объемы производства сельскохозяйственной техники существенно превышают существующие поставки [2];

- происходят изменения и в структуре предприятий технического сервиса, складываются новые формы внутрихозяйственного обслуживания ремонтно-техниче-

скими подразделениями и специализированными сервисными предприятиями. Таким образом, усложняется задача достоверной оценки величины традиционных показателей технического использования, необходимых в управлении ВСП [3].

При этом изменение среднего возраста МТП во времени должно носить монотонный колебательный характер, отражающий дисбаланс поставок и списания техники, а также изменение фактических сроков эксплуатации (службы) [4]. Решение проблемы состоит в разработке методики, позволяющей обеспечить научно обоснованные размеры текущего обновления сельскохозяйственной техники, применяя методики управления ВСП МТП, адаптированные к современным условиям его эксплуатации [5].

В соответствии с работой [6] оптимальной является такая возрастная структура, при которой количество единиц техники в каждой возрастной группе одинаково. Следовательно, возможные методы управления возрастной структурой должны быть направлены на ее выравнивание так, чтобы к определенному моменту времени все возрастные группы были представлены одинаковым количеством техники [7].

Одним из наиболее действенных методов выравнивания возрастной структуры является рациональная стратегия списания старых и поступления новых единиц техники [8].

Цель исследования – разработка методики, позволяющей реализовывать управление возрастной структурой машинотракторного парка с учетом потребительских свойств, определяемой дискретной математической моделью изменения номенклатуры показателей ТО и ТР.

Материалы и методы исследования

Методы управления возрастной структурой парка зависят от принятого расчёта способа поставки и списания единиц техники. Различают два основных способа расчёта ВСП:

- дискретное списание – по достижении единицей техники принятого или установленного на данном предприятии значения наработки (пробега или срока службы) происходит вывод из эксплуатации или списание вне зависимости от показателей ее работы или технического

состояния. Данная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации;

- метод случайного списания определяется вариацией фактической наработки единицей техники до её списания. По данной схеме списание производится на основании регулярного контроля необходимых технико-эксплуатационных показателей работы, например, по накопленному расходу запасных частей, уменьшению производительности, сокращению прибыли и т.д. Нередко в рыночных условиях для сокращения больших разовых инвестиций на омоложение парка эксплуатируемой техники применяют различные схемы финансирования данного процесса.

Рассмотрим математическую модель выравнивания возрастной структуры на основе оптимизации стратегии списания и поступления новой техники в МТП. Введем следующие допущения и обозначения:

- рассматриваемая совокупность МТП однородная (парк состоит из техники одной модели или одной группы приведения показателей ТО и ТР);
- все единицы МТП классифицированы по возрастному признаку на возрастную группу $(N+1)$;
- единица МТП может быть списана после эксплуатации в рамках возрастных групп $(N-1)$ и N и подлежит безусловному списанию после эксплуатации в группе $(N+1)$;
- замена списываемой техники осуществляется только новыми единицами МТП;
- списание старых и поступление новых единиц МТП осуществляется только в дискретные моменты времени $j = 1, 2, \dots, N$;
- шаг дискретной шкалы времени постоянный.

Переход рассматриваемой системы из одного состояния в другое осуществляется при следующих условиях:

- только в дискретные моменты времени j ;
- продолжительность во времени между каждой соседней парой этих моментов всегда одинаковая и составляет Δt ;
- в любой фиксированный момент времени j суммарное количество единиц техники в парке неизменно.

Таким образом, общая продолжительность планирования определяется величиной произведения

$$\Pi = N \cdot \Delta t. \quad (1)$$

Будем обозначать количество единиц МТП символом (A) . Исходная возрастная структура парка характеризуется вектором

$$\{a_i; i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где a_i – количество единиц МТП, относящихся к i -й возрастной группе.

Каждая единица МТП переходит из любой возрастной группы в следующую в соответствии со стохастическими законами распределения случайных величин, т.е. с вероятностями, близкими к единице [9]. Исключение составляют три последние возрастные группы, так как предполагается применять разработанную методику

в уже действующих парках МТП, а не для полного их обновления. Именно три последние группы формализуются с возможностью учёта потребительских свойств единиц МТП, т.е. здесь происходит смена информационного состояния исследуемой системы.

Оценка потребительских свойств единиц МТП носит стохастический, неопределенный характер и в этом случае необходимо применять специализированный математический аппарат принятия решений в условиях неопределенности, а сама задача носит многокритериальный характер [10].

Обозначим условия перехода в трёх последних возрастных группах p [11]. Из возрастной группы $(N-1)$ единица МТП переходит в N -ю группу или списывается. Из группы N единица МТП переходит в группу $(N+1)$ или списывается. Из группы $(N+1)$ единица МТП подлежит списанию в обязательном порядке.

Символом x_{ij} будем обозначать количество единиц МТП i -й возрастной группы, имеющееся в парке в j -й период планирования

$$i = \overline{1, N+1}; \quad j = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Интенсивность «старения» единиц МТП за время Δt обозначим символом β , коэффициент технического использования автомобиля i -й возрастной группы определим из выражения

$$\text{КТГ} = \exp(-\beta(i-1)), \quad i = \overline{1, N+1}. \quad (4)$$

Возраст автомобиля i -й возрастной группы будем считать равным

$$t_i = (i-1)\Delta t; \quad i = \overline{1, N+1}. \quad (5)$$

Когда все основные допущения и обозначения перечислены, перейдем к формализованному описанию и изучению рассматриваемой оптимизационной задачи выравнивания возрастной структуры парка МТП.

Сформулируем математически ограничительные условия поставленной задачи

$$\begin{cases} x_{i1} = a_i; i = \overline{1, N} \\ x_{ij} = x_{i-1, j-1}; i = \overline{2, N-1}; j = \overline{2, N} \\ x_{ij} \leq x_{i-1, j-1}; i = \overline{N, N+1}; j = \overline{2, N} \\ \sum_{i=1}^{N+1} x_{ij} = A; j = \overline{1, N} \\ x_{ij} \geq 0; i = \overline{1, N+1}; j = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (6)$$

В качестве целевой функции рассматриваемой задачи примем математическое выражение с многокритериальной структурой КТГ

$$\min_{1 \leq j \leq N} \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N+1} x_{ij} \text{КТГ} \rightarrow \max_{\{x_{mathit{ij}}\}}, \quad (7)$$

$$\min_{1 \leq j \leq N} \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N+1} x_{ij} \exp(-\beta(i-1)) \rightarrow \max_{\{x_{mathit{ij}}\}}, \quad (8)$$

где

$$\begin{cases} \text{КТГ}^{(1)} = \text{КТГ}_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ \text{КТГ}^{(2)} = \text{КТГ}_0^{(2)} e^{-\beta_2 t} \\ \text{КТГ}^{(3)} = \text{КТГ}_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (9)$$

В рассматриваемой модели (6)-(9) при условии, что исходная возрастная структура считается известной (задана условиями задачи), введена дополнительная возрастная группа – $(N+1)$; разрешено списание единиц МТП не из одной, а из трех возрастных групп – $(N-1)$, N , $(N+1)$; списание из трех последних возрастных групп производится при условии решения многокритериальной задачи определения КТГ с учетом потребительских свойств, определяемых как отдельные критерии [12].

Очевидно, что введение этих дополнений и создает возможность маневра при управлении и оптимизации процесса списания старых и поставки новых единиц техники в МТП, что позволяет управлять возрастной структурой, приводя ее к оптимальной. Сформулированная задача относится к классу комбинаторных задач математического программирования, оптимальное решение которой достигается использованием следующих рекуррентных соотношений:

$$x_{i1} = a_i; \quad i = \overline{1, N}; \quad (10)$$

$$x_{1j} = \frac{A}{N}; \quad j = \overline{2, N}; \quad (11)$$

$$x_{ij} = x_{i-1, j-1}; \quad i = \overline{2, N-1}; \quad j = \overline{2, N}; \quad (12)$$

$$x_{N, j} = \begin{cases} x_{N-1, j-1}; x_{N, j-1} \geq \frac{A}{N}; j = \overline{2, N} \\ x_{N-1, j-1} - \frac{A}{N} + x_{N, j-1}; x_{N, j-1} < \frac{A}{N}; j = \overline{2, N}; \end{cases} \quad (13)$$

$$x_{N+1, j} = \begin{cases} 0; x_{N, j-1} \leq \frac{A}{N}; j = \overline{2, N} \\ x_{N, j-1} - \frac{A}{N}; x_{N, j-1} > \frac{A}{N}; j = \overline{2, N}. \end{cases} \quad (14)$$

Соотношение (9) позволяет оценивать многокритериальную структуру потребительских свойств МТП в системе управления возрастной структурой парка следующим образом [16]:

$$\begin{cases} \Pi^{(1)} = \Pi_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ \Pi^{(2)} = \Pi_0^{(2)} e^{-\beta_2 t} \\ \Pi^{(3)} = \Pi_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (15)$$

Результаты исследований и обсуждение

Представленный материал актуализирует необходимость дифференцированной оценки потребительских свойств сельскохозяйственной техники при определении ВСП машинотракторного парка. Классификация потребительских свойств сельскохозяйственной техники разделяет эти свойства на три группы:

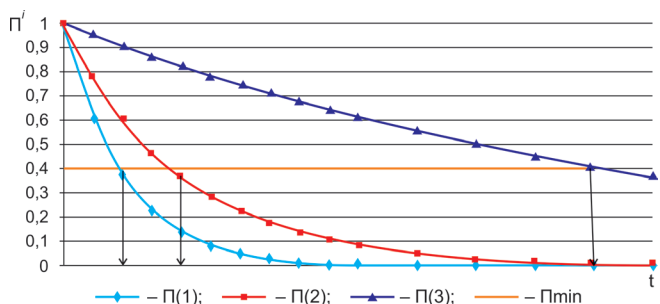
- способность техники к соблюдению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические);
- производительность и экономичность техники (технично-экономические);
- свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт водителя (общетехнические).

Наличие численных измерителей потребительских свойств сельскохозяйственной техники позволяют перейти к их аналитической оценке и возможности учесть при адаптации методики управления ВСП к современным требованиям эксплуатации. Важным является методология оценки, которая, с одной стороны, должна объективно отражать весь комплекс необходимых свойств, а с другой – быть простой в применении для эффективной обработки значительных объемов данных, так как число свойств и их показателей значительно и со временем будет только увеличиваться.

Приведенный подход показывает, что расчёт коэффициентов относительной важности (КОВ) легко формализуется и при этом нет необходимости в субъективных (экспертных) оценках, как и обязательной необходимости применения методов теории экспертных оценок; процедура расчёта формализована и легко реализуется в программном обеспечении ЭВМ; в процедуре расчёта возможно изменение информации (оперативное) о свойствах (критериях) при изменении условий в процессе проведения исследований.

Можно констатировать, что применение методов многокритериальной оценки является органичным и необходимым элементом разработки принципиально новой методики определения ВСП с учётом актуальных потребительских свойств. Характер изменения отдельных показателей качества техники во времени представлен на рисунке.

При этом изменение показателя качества единицы МТП определяется экспоненциальной зависимостью.



Изменение отдельных показателей качества техники по времени

Сформирована математическая модель управления возрастной структурой парка машинотракторного парка на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР, которая заключается в следующем.

1. В первый период планирования ($j = 1$) в качестве возрастной структуры служит вектор $\{a_i\}$; $1, N$, соответствующий сложившейся в АТП возрастной структуре МТП.

2. Соотношения (11) определяют стратегию приобретения новой техники и диктуют в каждый фиксированный момент времени (j) приобретать одно и то же количество единиц техники, (12) описывают динамику перехода единиц техники из предыдущих возрастных групп в последующие в процессе эксплуатации подвижного состава. Область действия этих соотношений распространяется на первые $(N-1)$ возрастные группы.

3. Соотношения (13) определяют стратегию списания единиц техники из группы $(N-1)$ и описывают процесс комплектования возрастной группы N , а (14) – необходимость сохранения в парке единиц техники в рамках дополнительной возрастной группы $(N+1)$.

Выводы

1. Разработан алгоритм представления показателей ТО и ТР МТП в виде дискретных зависимостей. При изменении величины дискретного цикла (ДЦ), в течение которого фиксируются изменения показателей ТО и ТР, значения расчётного цикла ТЭ (как правило, это срок службы до капитального ремонта) может не совпадать с принятой величиной ДЦ. В этом случае произойдут закономерные изменения в расчёте производственной программы по ТО и ТР, что должно быть учтено при разработке методики управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники.

2. Разработанный алгоритм определения показателей ТО и ТР в виде дискретных зависимостей является важным элементом эффективного управления процессами ТЭ. Представление показателей ТО и ТР в дискретной форме позволяют реализовать комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатели качества, базирующиеся на определении коэффициентов технического использования или технической готовности (КТИ или КТГ) в дискретной форме.

Список

используемых источников

1. **Кряжков В.М.** Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов в России / З.А. Годжаев, В.Г. Шевцов, А.В. Лавров, Г.С. Гурылев, А.Н. Ошеров // С.-х. машины и технологии. 2015. № 3-4. С. 9-14; С. 5-11.
2. **Гольяпин В.Я.** Анализ качества и технического уровня сельскохозяйственной техники / Л.М. Колчина, Т.А. Щеголихина, М.Н. Хлепихо. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 144 с.
3. **Джексон П.** Введение в экспертные системы, 3-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 624 с.

4. **Лотоцкий В.Л.** Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. 2017. № 2 (16). С. 39-44.

5. **Tsvetkov V.Ya.** Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European researcher. Series A. 2013. № 4-1 (45). p. 782-786.

6. **Розенберг И.Н.** Информационная ситуация как сложная система // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 69-77.

7. **Терентьев А.В.** Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля : дис. д-ра техн. наук: 05.22.10 / Терентьев Алексей Вячеславович. СПб, 2012. 303 с.

8. **Титов Е.Ф.** О методах определения технического уровня АТС, их агрегатов и узлов // Автомобильная промышленность. 2000. № 1. С. 27-29.

9. **Мирзаев Р.Р.** Модель управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники/ Р.Р. Мирзаев, Б.Б. Сидоров, А.В. Терентьев, Д.А. Птицын // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 4(71). С. 92-99.

10. **Терентьев А.В.** Методы анализа показателя «трудоемкость» текущего ремонта / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. СПб: СПбГАСУ, 2014. 1(42). С. 117-120.

11. **Терентьев А.В.** К вопросу определения производственной программы по ТО и ТР для подвижного состава // Социально-экономическое развитие современного общества в условиях реформ : сб. науч. тр. Саратов: СГУ, 2008. С. 237-239.

12. **Гуськов А.В.** Определение потребительских свойств колесных тракторов семейства «БЕЛАРУС» // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008. № 4 (21) С. 19-27.

Mathematical Model for Managing the Age Structure of the Machinery and Tractor Fleet Based on Discrete Forms of Representing Maintenance and Repair Indicators

**B.B. Sidorov,
M.Yu. Karelina**
(FGBOU "State University of Management")

Summary. Algorithm is presented to develop methods for managing the age structure of the machinery and tractor fleet (MTF) according to the indicators of the maintenance and repair of MTF in the form of discrete dependencies which allow to implement complex indicators of the reliability of agricultural machinery (utilization factor or technical readiness factor). Mathematical model for managing the age structure of MTF has been developed which is characterized by changing the nomenclature of maintenance and repair indicators while using a specialized mathematical apparatus for decision-making under conditions of uncertainty, while the problem is of multicriteria nature.

Keywords: utilization factor, machinery and tractor fleet, discrete function, maintenance interval.

УДК 631.372:631.51

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-3-24-28

Состояние и перспективы обновления тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края

Н.И. Селиванов,

д-р техн. наук, проф.,

В.Н. Запрудский,

канд. техн. наук, доц.,

zaprudskii@list.ru

(ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»);

Ю.Н. Макеева,

канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой,

ulya.makееva1982@yandex.ru

(Ачинский филиал

ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»)

обосновать наиболее перспективные направления его обновления и формирования инновационного состава до 2030 г. в соответствии с Государственной программой [2].

Цель исследований – оценка состояния и обоснование перспективных направлений обновления тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования использованы научно-технические [5-7] и информационно-аналитические [1, 8, 9] материалы службы государственной статистики по основным производственным показателям отрасли растениеводства и фактическому помарочному составу тракторного парка региона за 2018-2022 гг.

По географическому расположению и природным условиям (тип почвы и средняя длина гона) все сельскохозяйственные районы края (37) разделены на пять зон с установленными центрами: восточная (11, г. Канск, 600-1000 м); западная (10, г. Ачинск, ≥ 1000 м); центральная (6, г. Красноярск, 600-1000 м); южная (7, г. Минусинск, ≥ 1000 м); северная (3, г. Енисейск, 200-400 м). Лесостепная агрозона с тяжелыми почвами при длине гона 600-1200 м занимает 63,7% общей площади $F_{\text{П}}$ пашни [3] и является основной. Ведущей отраслью растениеводства является производство зерновых и зернобобовых культур, которые в общей площади посевов занимают 62,2 %, из них пшеница – 40,1, ячмень – 10,6, овес – 9,4 % [1].

Производители представлены тремя категориями хозяйств: сельскохозяйственные организации (СХО); крестьянские (фермерские) хозяйства (К(Ф)Х) и индивидуальные предприниматели (ИП); хозяйства населения (ХН). Соотношение посевных площадей, обработанных по разным технологиям, в хозяйствах категорий СХО и К(Ф)Х+ИП остается практически одинаковым [4] при различиях в зависимости от площади пашни, типоразмеров тракторов и рабочих машин. Поэтому оценку состояния и перспективы обновления тракторного парка проводили без учета его структуры в хозяйствах разных категорий.

Состояние тракторного парка в отчетном году характеризовали количественным составом на 01.01. n_i основных типоразмеров Т, определяющих фактическую оснащенность растениеводства физическими $\bar{n}$ и эталонными $\bar{n}_{\text{ЭТ}}$ (ед./1000 га пашни) тракторами при установленных [10] условных коэффициентах перевода $K_{\text{ЭТ}} = n_{\text{ЭТ}}/n_i$:

Аннотация. Дана оценка технического состояния тракторного парка и уровня оснащенности растениеводства в сельском хозяйстве Красноярского края за 2018-2022 гг. с учетом распределения площади и структуры пашни по основным категориям товаропроизводителей и зональным территориям. Обоснованы перспективные направления и показатели обновления в условиях санкций, обеспечивающие к 2030 г. коренную модернизацию и повышение технического уровня парка до установленных нормативов.

Ключевые слова: структура пашни, категория хозяйства, состав парка, оснащенность, обновление, нормативная потребность.

Постановка проблемы

Красноярский край является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции Сибирского федерального округа (СФО), занимая четвертое место среди регионов. В структуре продукции сельского хозяйства на растениеводство приходится 47 % [1] с достигнутой урожайностью зерновых 32 ц/га. Среднегодовой (за 2020-2022 гг.) валовой сбор зерновых и зернобобовых в хозяйствах всех категорий после доработки составил 2,65 млн т, или 930 кг на человека, обеспечивая уровень продовольственной независимости региона.

Для сохранения стабильности показателей и дальнейшего повышения эффективности растениеводства в условиях экономических санкций Запада особую актуальность приобретает проблема технического перевооружения и обновления тракторного парка на ближайшую перспективу [2-4], в основу решения которой должны быть положены новые модели энергонасыщенных колесных тракторов второго поколения отечественной и иностранной разработки. Поэтому оценка фактического состояния тракторного парка с учетом природно-производственных условий основных категорий хозяйств региона позволяет

$$\begin{cases} \bar{n} = \sum n_i / F_{\Pi} \cdot 10^3; \\ \bar{n}_{\text{эТ}} = \sum n_i \cdot K_{\text{эТ}} / F_{\Pi} \cdot 10^3. \end{cases} \quad (1)$$

Обновление парка за отчетный период оценивали начальным $n_{\text{Н}}$ и конечным $n_{\text{К}}$ числом тракторов разных типоразмеров при известных приобретениях новых $n_{\text{П}}$ и убывших $n_{\text{У}}$, соотношение которых определяет новый уровень оснащенности растениеводства в физических $\bar{n}$ эталонных $\bar{n}_{\text{эТ}}$ единицах. Основными характеристиками являются [7] относительные показатели обновления $K_{\text{О}}$ и выбытия $K_{\text{У}}$, определяющие изменение количественного состава $\bar{n}_{\text{К}}$ ($\bar{n}_{\text{эТК}}$) и уровня оснащенности $\bar{K}$ ($\bar{K}_{\text{эТ}}$):

$$\begin{cases} n_{\text{К}} = n_{\text{Н}} / F_{\text{О}} + n_{\text{П}} - n_{\text{У}} \\ \bar{n}_{\text{К}} = \bar{n}_{\text{Н}} / F_{\text{О}} + \Sigma_T (n_{\text{П}} - n_{\text{У}}) \\ \bar{K} = \frac{1}{T} \cdot \Sigma (K_{\text{О}} - K_{\text{У}}) = \frac{1}{T} \Sigma_T [(n_{\text{П}} - n_{\text{У}}) / n_{\text{К}}] \\ \bar{K}_{\text{эТ}} = \frac{1}{T} \Sigma_T [(n \cdot K_{\text{эТ}})_{\text{П}} - (n \cdot K_{\text{эТ}})_{\text{У}}] / n_{\text{эТ}} \cdot n_{\text{эТК}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $K_{\text{О}} = n_{\text{П}} / n_{\text{К}}$; $K_{\text{У}} = n_{\text{У}} / n_{\text{К}}$; $F_{\text{О}} = F_{\text{ПК}} / F_{\text{ПН}}$.

Для достижения фактической n ($n_{\text{эТ}}$) трактороснащенности нормативных показателей n^* ($n_{\text{эТ}}^*$) при установленной продолжительности формирования инновационного парка $T_{\text{О}}$ оптимальный уровень ежегодного

обновления основных типоразмеров и всего состава с учетом выражений (2) в общем виде определяли как

$$\begin{cases} \bar{K}_{\text{эТ}}^* = \left(1 - \frac{\lambda n_{\text{эТН}}}{F_{\text{О}}} \right) / T_{\text{О}} \\ \bar{K}^* = \frac{1 - \frac{\lambda n_{\text{Н}}}{F_{\text{О}}}}{T_{\text{О}}}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{эТН}} = n / n_{\text{эТ}}^*$; $\lambda = n / n^* = \lambda_{\text{эТН}} / \lambda_{\text{эТ}}$; $\lambda_{\text{эТ}} = \bar{K}_{\text{эТ}} / \bar{K}^*$.

Оценку технического состояния тракторного парка проводили с учетом возрастной структуры основных моделей и типоразмеров в процессе обновления. За основной показатель принято изменение численности тракторов старше десяти лет в отчетном периоде

$$\lambda_{\text{КВ}} = K_{\text{КВ}} / K_{\text{ВН}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ВН}} = n_{\text{ВН}} / n_{\text{Н}}$; $K_{\text{КВ}} = n_{\text{КВ}} / n_{\text{Н}}$; $n_{\text{ВН}}$, $n_{\text{КВ}}$ – число тракторов старше десяти лет в начале и конце отсчета.

Принятые за основу приведенные условия, материалы и методы обеспечивают объективную оценку состояния и формирование перспективных направлений обновления тракторного парка.

Результаты исследований и обсуждение

При средней площади пашни в 2018-2022 гг. 1865 тыс. га [1] 80,1% (1500 тыс. га) приходится на по-

севы всех культур и 50,1% (933 тыс. га) – на зерновые и зернобобовые с отклонениями фактических значений $\pm 2\%$. Основными производителями продукции являются СХО, число которых уменьшилось за этот период с 293 до 218. На их долю приходится соответственно 76,2, 77,2 и 76,7% указанных площадей (табл.1) при среднегодовом уменьшении на 0,9% и снижении численности работников на 3,8%.

СХО производят 81,1% от общего объема валового сбора зерновых и зернобобовых культур. К(Ф)К и ИП владеют 22-23% указанных площадей с ежегодным приростом 1-2%. Остальные 1,9-2,2% площадей пашни и посевов являются собственностью ХН с тенденциями снижения до 6,5% в год.

Таблица 1. Распределение площади пашни и посевов по категориям хозяйств, тыс. га

Посевная площадь	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Площадь пашни в хозяйствах всех категорий	1913	1861	1877	1862	1846	1865
В том числе:						
СХО	1501	1447	1440	1417	1406	1418
(К(Ф)Х + ИП)	371	374	399	409	408	412
ХН	41	40	38	36	32	35
Посевная площадь в хозяйствах всех категорий	1509	1498	1495	1476	1470	1530
В том числе:						
СХО	1207	1182	1169	1144	1140	1181
(К(Ф)Х + ИП)	261	276	288	296	298	314
ХН	41	40	38	36	32	35
Площадь чистых паров в хозяйствах всех категорий	404	363	382	386	376	335
В том числе:						
СХО	294	265	271	273	266	237
(К(Ф)Х + ИП)	110	98	111	113	110	98
Площадь под зерновыми и зернобобовыми культурами в хозяйствах всех категорий	1048	951	915	933	930	958
В том числе:						
СХО	834	744	708	717	713	730
(К(Ф)Х + ИП)	211	204	203	212	214	225
ХН	3	3	4	4	3	3

Соотношение посевных площадей, обработанных по разным технологиям в СХО, (К(Ф)Х + ИП) отличается незначительно и составляет: 15% – традиционная с отвальной вспашкой; 30 – минимальная с глубокой безотвальной обработкой; 55% – минимальная с поверхностной обработкой. Технологическая потребность в эталонных тракторах находится на достигнутом в 2017 г. уровне [7] 5,75 эт. ед. на 1000 га пашни.

За период 2018-2022 гг. тракторный парк уменьшился на 645 ед. (8,6%) – с 8086 до 7441 шт. (табл. 2), из кото-

рых 406 – снятые с производства и устаревшие модели. Основу парка составляют колесные полноприводные тракторы отечественного производства «Кировец» К-7 (19,9%) и белорусские МТЗ (44,9%). В категорию прочих (23,1%) входят в основном отечественные машины (75%), снятые с производства, а также новые модели (10%) РСМ 2 и 3 серии ООО «Ростсельмаш» и гусеничные «Агромаш».

На долю импортных колесных тракторов производства LOVOL (Китай), John Deer, Case (США), Claas, Fendt (Германия) и других приходится 7,9% общего количества машин при среднем возрасте менее 10 лет. При этом следует отметить увеличение количества тракторов «Кировец» Р-7 (+ 1,2%) и иностранных моделей (+ 27,2%). В СХО парк сократился с 5415 до 5163 ед. (на 252 ед.) и составил 69,4% общего состава.

Парк свободных тракторов за этот период уменьшился с 7460 до 7041 ед. (на 419 ед., 6%). На СХО приходится 67,6% состава (табл. 3) при снижении численности с 4993 до 4763 ед. (на 230 ед., 4,8%). В К(Ф)Х и ИП этот показатель составил 189 ед. (8,3%).

Оснащенность растениеводческих хозяйств разных категорий и региона в целом физическими тракторами снизилась на 1,5% (СХО), 15,1 (К(Ф)Х + ИП), 4,7% (СХО + К(Ф)Х + ИП) и стабилизировалось на уровне 3,40, 5,18 и 3,83 ед./1000 га пашни соответственно.

Обновление парка энергонасыщенными колесными тракторами второго поколения обеспечило повышение среднего условного коэффициента перевода физических единиц в эталонные $K_{\text{Э}}$ до: 1,033 (+ 4,1%) – в СХО; 0,704 (+ 6,1%) – в (К(Ф)Х + ИП); 0,925 (+ 4,9%) – по региону. Это компенсировало снижение численности тракторного парка, обеспечив к 2021 г. стабильность показателя оснащенности в эталонных единицах $n_{\text{ЭТ}}$ при $K_{\text{ЭТ}} \approx 0$, который составил в хозяйствах указанных категорий и региона соответственно 3,50, 3,66 и 3,54 при уровне обеспеченности нормативной потребности $Q_{\text{Ф}} = n_{\text{ЭТ}}/n_{\text{ЭТ}}^*$ 60,9, 63, 61,6%. Средняя мощность тракторов при этом достигла: 113,6 кВт (154,5 л.с.) – в СХО, 77,7 кВт (105,6 л.с.) – в (К(Ф)Х + ИП) и 102 кВт (138,8 л.с.) – по региону. Энергообеспеченность растениеводства на 100 га посевной площади Э (л.с./100 га)

Таблица 2. Изменение структуры и состава тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края за 2018-2022 гг.

Модели тракторов	По состоянию $n_{\text{И}}$ на 01.01., шт.					$n_{\text{К}}$, %
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Тракторы*, всего	8086	7789	7525	7440	7441	-8,7
В том числе:						
ПТЗ (Кировец)	1466	1430	1420	1450	1484	+1,2
БТЗ, (ХТЗ)	450	439	412	425	308	-46,1
МТЗ	3619	3644	3542	3476	3344	-8,3
ВгТЗ	203	169	99	90	-	
прочие	1822	1560	1456	1401	1717	-11,8
иностранного производства (США, Евросоюз, Китай)	428	470	498	519	588	+27,2

* С учетом специальных.

Таблица 3. Оснащенность растениеводства свободными тракторами по категориям хозяйств

Показатели	По состоянию на 01.01.					
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Тракторы свободные, $\sum n$ в хозяйствах всех категорий	7534	7460	7370	7086	7040	7041
В том числе:						
СХО	5084	4993	4790	4749	4760	4763
К(Ф)Х+ИП	2450	2467	2580	2337	2280	2278
n , ед./1000 га пашни:						
хозяйства всех категорий	3,94	4,01	3,93	3,81	3,81	3,83
СХО	3,39	3,45	3,33	3,35	3,39	3,40
К(Ф)Х+ИП	5,94	5,96	5,90	5,25	5,18	5,18
$K_{\text{Э}} = n_{\text{ЭТ}}/n$:						
хозяйства всех категорий	0,865	0,88	0,89	0,922	0,922	0,925
СХО	0,97	0,988	1	1,02	1,03	1,03
К(Ф)Х+ИП	0,648	0,661	0,686	0,727	0,698	0,704
$n_{\text{ЭТ}} = n \cdot K_{\text{Э}}$, ед. /1000 га пашни / $Q_{\text{Ф}} = n_{\text{ЭТ}}/n_{\text{ЭТ}}^*$, %:						
хозяйства всех категорий	3,41/59,3	3,53/61,4	3,50/60,9	3,51/61	3,51/61	3,54/61,6
СХО	3,29/57,2	3,41/59,3	3,33/57,9	3,42/59,4	3,49/60,7	3,50/60,9
К(Ф)Х+ИП	3,85/67	3,94/68,6	4,05/70,4	3,81/66,3	3,63/62,8	3,65/63,4

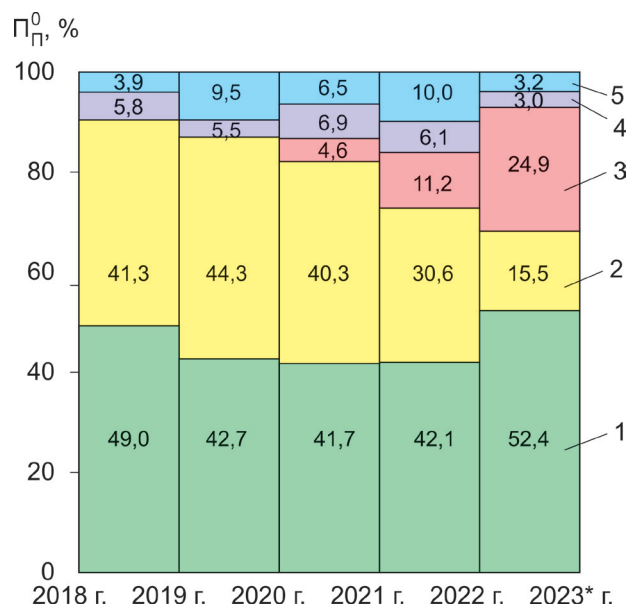
составила для хозяйств указанных категорий и региона 64,7, 73,4 и 65,8 соответственно.

Фактическое состояние тракторного парка в хозяйствах разных категорий и региона до 2022 г. характеризовалось простым воспроизводством при достигнутом уровне оснащенности растениеводства. Обновление компенсировало только убытие списанных машин $\Delta n_{\text{ЭТ}} = (n_{\text{ЭТн}} - n_{\text{ЭТл}}) \approx 0$ и было недостаточным для повышения обеспеченности производства и снижения его среднего возраста. Общее количество тракторов со сроком эксплуатации более 10 лет за указанный период снизилось с 65,1 до 59,6% при $\lambda_{\text{КВ}} = 9,2\%$, а новых (до 3 лет) увеличилось с 12,1 до 13,1%, что характеризует достигнутый уровень ежегодного обновления парка $K_0 = K_Y = 4,73\%$. Указанные показатели характеризуют достаточно высокий уровень достигнутого фактического состояния и обновления тракторного парка, поэтому могут быть приняты за основу на период до 2023 г. как требующие минимальных затрат в условиях санкций.

По предварительной оценке, к 2023 г. впервые достигнуто обновление $K_0 = 5,08\%$, $K_Y = 4,84\%$, что обеспечило прирост парка и снижение количества тракторов, эксплуатируемых свыше 10 лет, соответственно до 7460 ед. и 57,8% при среднем возрасте 11,9 лет. Основу обновления парка свободных тракторов с 2018 по 2022 г. (45,9% из 1051 ед.) составили отечественные колесные модели (4к4б) эксплуатационной мощностью 235-335 кВт «Кировец» (30,6%) и РСМ (13,3%), а также гусеничные «Агромаш» (2%).

Основными зарубежными поставщиками колесных моделей (4к4а) мощностью 50-175 кВт стали МТЗ (31%) и LOVOL (11,3%). В совокупности поставки новых тракторов производства России, Беларуси и Китая за 2022 г. достигли 93% (288 ед. из 310), что позволило снизить влияние санкций на модернизацию парка. При этом продукция из Китая превысила 24,9% и стала второй (после отечественной) по количественному составу (см. рисунок).

Перспективным направлением обновления тракторного парка до 2030 г. [2] является приобретение колесных моделей второго поколения с регулируемым балластированием отечественного (50%), китайского и белорусского (40-45%) производства с учетом технологических потребностей. При снижении нормативной потребности растениеводства до $n_{\text{ЭТ}}^* = 4,72$ [7] за счет совершенствования технологий почвообработки с использованием скоростных агрегатов и неизменной площади пашни в хозяйствах всех категорий ($F_{\text{П}} = 1865$ тыс. га) оптимальная численность свободного парка составит $n_{\text{ЭТ}}^* = 8802$ ед. При достигнутом значении условного коэффициента $K_{\text{Э}} = 0,925$ $n^* = 9515$ ед. нормативное переоснащение (обновление) $K^* = K_{\text{ЭТ}}^* = 3,71\%$. Этому соответствует увеличение численности $\Delta n_{\text{ЭТ}}^* = 353$ ед. в год и $\Delta n_{\text{ЭТ}}^* = 327$ ед. в год. Повышение $K_{\text{Э}}^*$ до 1,03 и $\Delta n_{\text{ЭТ}}^* = 327$ ед. в год обеспечивает снижение показателя обновления физических тракторов в 1,11 раза при $\Delta n^* = 215$ ед. в год и $n^* = 8542$ ед.



*Предварительные данные.

Структура обновления парка свободных тракторов в сельском хозяйстве Красноярского края:

1 – Россия; 2 – Беларусь; 3 – Китай; 4 – США; 5 – прочие

Указанные нормативы обновления в современных финансово-экономических условиях практически недоступны, однако могут служить основным ориентиром формирования инновационного состава тракторного парка хозяйств разных категорий и всего региона. Наиболее объективным является достижение численности парка 7550-7600 ед. при $n_{\text{П}} = 310$, $\Delta n^* = 20$ ед. в год и $K_{\text{ЭТ}} = 0,28\%$, обеспечивающее уровень нормативной потребности 75,5%, уменьшение до 54% количества тракторов со сроком эксплуатации выше амортизационного и средний возраст 11 лет.

Выводы

1. Лесостепная зона с тяжелыми почвами при длине гона 600-1200 м занимает 67,3% общей площади (1865 тыс. га) пашни края. Основными производителями продукции растениеводства являются СХО, численность которых в 2018-2022 гг. уменьшилась в результате укрупнения и банкротства с 293 до 218. На их долю с производством 81,1% общего объема валового сбора зерновых и зернобобовых приходится в среднем 76,5% всех площадей пашни и посевов при среднегодовом уменьшении до 0,9% и снижении количества работников на 3,8%.

2. Оснащенность растениеводства края за пять лет снизилась на 4,7% и стабилизировалась на уровне 3,83 ед./1000 га пашни при незначительном отличии в СХО и (К(Ф)Х + ИП). Обновление парка энергонасыщенными колесными тракторами компенсировало сокращение (на 8,7%), обеспечив стабильность показателя оснащенности в эталонных единицах $\bar{n}_{\text{ЭТ}} = 3,54$, соответствующей 61,6% от нормативной, и повышение технического уровня на 9,2%.

3. Перспективным направлением обновления и формирования инновационного тракторного парка до 2030 г. является достижение численности 7550-7600 ед. путем приобретения колесных тракторов второго поколения отечественного, белорусского (MTЗ) и китайского (LOVOL) производства при показателе переоснащения $K_{\text{эп}} = 0,28\%$ с ежегодным превышением количества новых ($n_{\text{н}} = 310$ ед.) над убывшими не менее чем на 20 ед., что обеспечит 75,5 % нормативной потребности, уменьшение до 54 % количества машин со сроком эксплуатации выше амортизационного и средний возраст 11 лет.

Список использованных источников

1. Селиванов Н.И. Формирование инновационного тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края / Н.И. Селиванов, И.А. Васильев, В.В. Аверьянов // науч.-практ. реком. Красноярск, 2020. 52 с.
2. Постановление Правительства России от 14.07.2012 № 17 (ред. от 19.04.2022) «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия до 2030 г.».
3. Орсик Л.С., Кормаков Л.Ф. Направления решения проблемы технической оснащенности сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2008. № 4. С. 7-10.
4. Кряжков В.М. Проблемы формирования инновационного тракторного парка сельскохозяйственных тракторов России / В.М. Кряжков и др. // С.-х. машины и технологии. 2015. № 3. С. 9-12; № 4. С. 5-10.
5. Васильева Н.К. Техническое оснащение растениеводства Красноярского края / Н.К. Васильева, Е.И. Бойко // Масличные культуры. 2019. Вып. 2. С. 89-96.
6. Попова Л.В. Воспроизводство машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве Волгоградской области: проблемы и тенденции / Л.В. Попова, А.Г. Досова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2017. № 3. С. 274-281.

7. Селиванов Н.И. Формирование парка сельскохозяйственных тракторов в Красноярском крае / Н.И. Селиванов, В.В. Матюшев, Н.И. Чепелев, И.А. Васильев // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 9. С. 72-75.

8. Бурак П.И., Голубев И.Г., Федоренко В.Ф., Мишунов Н.П. Гольяпин В.Я. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники: науч.-аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 152 с.

9. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: руководство / под общей ред. С.В. Брылева. Красноярск: МСХ Красноярского края, Красноярский НИИСХ, 2015. 224 с.

10. Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности / А.Ю. Измайлов и др. : инструктивно-метод. изд. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 56 с.

State and the Prospects for Updating the Tractor Fleet in Agriculture of the Krasnoyarsk Territory

N.I. Selivanov, V.N. Zaprudsky

(Krasnoyarsk State Agrarian University)

Yu.N. Makeeva

(Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University)

Summary. The technical condition of the tractor fleet and the level of equipment for crop production in agriculture in the Krasnoyarsk Territory for 2018-2022 have been assessed taking into account the distribution of the area and the structure of arable land across the main categories of commodity producers and zonal territories. The authors substantiated the promising paths and the renewal indicators under the sanctions ensuring by 2030 a radical modernization and improvement of the technical level of the fleet to the established standards.

Key words: structure of arable land, farm category, composition of the tractor fleet, availability of the equipment, renewal, regulatory need.



З

Двадцать первая специализированная выставка

Защищенный грунт России



19 - 21

июня

2024

Москва,

ЦВК «Экспоцентр»,

Павильон 3



info@rusteplica.ru
+7 499 178 01 59
+7 495 621 08 39



12-13 ИЮЛЯ

Тамбовская область,
Тамбовский м.о., с. Лысые Горы

К ДЕНЬ ТАМБОВСКОГО ПОЛЯ 2024

ОПЕРАТОР

Выставочная фирма **ЦЕНТР**

Тел.: (473)233-09-60

Email.: doc@vfcenter.ru



6+
реклама

РОСТСЕЛЬМАШ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
СПОНСОР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ПАРТНЕР

 **МАЛКОМ**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
СПОНСОР

 **TECHNODOM**

AGRO  **ЦЕНТР**

ПАРТНЕРЫ

 **АГРО**
ДИНАМИКА

СПОНСОР
РЕГИСТРАЦИИ

 **ФОСАГРО**
ТАМБОВ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПОСТАВЩИК УДОБРЕНИЙ

УДК 631.363

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-3-30-35

Результаты исследований насоса и характеристики сети установки для производства зерновой патоки

А.В. Алешкин,*д-р техн. наук, проф.,
usr00008@vyatsu.ru
(ФГБОУ ВО «ВятГУ»);***П.А. Савиных,***д-р техн. наук, проф.,
гл. науч. сотр.,
peter.savinyh@mail.ru
(ФАНЦ «НИИСХ Северо-Востока»);***В.Н. Нечаев,***канд. техн. наук, доц.,
nechaev-v@list.ru
(ГБОУ ВО НГИЭУ)*

Аннотация. Рассмотрены результаты экспериментально-теоретического определения напорной характеристики сети установки для производства зерновой патоки с центробежным насосом 1СМ 65-50-160/2-м. Представлены измерительная аппаратура и условия снятия гидравлической характеристики. Для ускоренного нагрева воды до 30°C предложен кавитатор в виде конуса с лепестками. Определена рабочая точка насоса.

Ключевые слова: характеристика сети, кавитатор, труба Вентури, гидравлическое сопротивление.

Постановка проблемы

Как известно, реальная жидкость обладает рядом специфических свойств: вязкостью и текучестью, тепловым расширением, отсутствием касательных упругих сил и т.д. Во многом такие особенности среды вызывают трудности при исследовании по сравнению, например, с изучением механики твердого тела [1].

При эксплуатации центробежного насоса на определенных участках трубопроводной сети могут меняться физические свойства перекачиваемой среды и значения давлений [2]. К тому же приведенная в паспорте характеристика насоса носит ориентировочный характер. Чтобы точно определить реальную подачу насоса, необходимо провести соответствующие экспериментальные исследования установки, опытным путем уточнить коэффициенты местных сопротивлений трубопроводной сети [3].

В связи с этим практический и научный интерес представляет вопрос прогнозирования рабочих параметров насоса и сети при совершенствовании технологического процесса приготовления зерновой патоки, например, ускоренного нагрева воды до необходимой температуры. Полученные знания о характере и величине потерь позволяют проводить поиск путей их снижения, а также могут

быть использованы при прогнозировании характеристики сети при совершенствовании и проектировании соответствующего оборудования [4].

Цель исследований – определение значений точки пересечения характеристик сети установки для производства зерновой патоки и нагнетателя (центробежный насос) в зависимости от расхода.

Объектом исследования выступала установка для производства зерновой патоки [5], состоящая из технологической емкости вместимостью 200 л с установленным над ней пассивным измельчителем, сточно-массового насоса 1СМ65-50-160/2-м с приводом от электродвигателя АИР 100L2 У2 мощностью 5,5 кВт при частоте вращения вала 2870 мин⁻¹, системы трубопроводов и запорной аппаратуры.

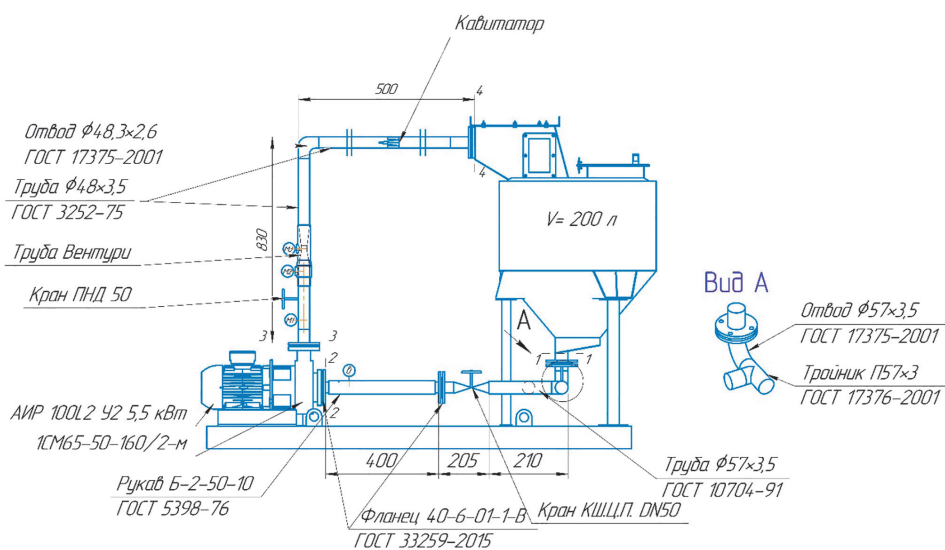
Для определения гидравлических характеристик насоса и сети при проведении испытаний устройства внесены некоторые технические доработки (рис. 1а, б). В системе трубопроводов установлены манометры (рис. 1 в, г, д, е): на всасывающей ветви – вакуумметр РОСМА серии ТМ-310Р с пределом измерения до -0,1 МПа (рис. 1д), на нагнетательной ветви после насоса – манометры РОСМА ТМ-310Р (до 0,16 МПа) или МРФ (до 6 бар) – рис. 1в. Для определения рабочего расхода установлена труба Вентури (рис. 1г) с системой манометров РОСМА ТМ-310Р (до 0,16 МПа).

Труба Вентури изготовлена согласно требованиям ГОСТ 23720-79 «Трубы Вентури. Технические условия». В связи со сложной геометрией и требуемой высокой точностью, предъявляемой к изделию, труба Вентури изготовлена путем 3D-печати по созданной трехмерной модели (рис. 2а). По схеме (рис. 2б) можно проследить внутреннее устройство трубы. Центральный угол входного конуса составляет 20°, диаметр и длина горловины соответственно равны 20 мм, относительная площадь горловины – 0,29, а центральный угол диффузора – 14°.

Для интенсификации процесса нагрева воды до температуры 30°C, необходимой для дальнейшей загрузки зерна и фермента, согласно технологии приготовления жидких сахаристых кормов [5] в нагнетательной ветви водяного контура установлен кавитатор (рис. 3). Основным элементом кавитатора является конус с углом раствора 16°8' (рис. 3б), способствующий сужению проходного сечения трубопровода и образованию эффекта кавитации за основанием конуса. Дополнительным элементом кавитатора являются лепестки. Перед кавитатором установлен манометр МРФ до 6 бар (см. рис. 1е).



а



б



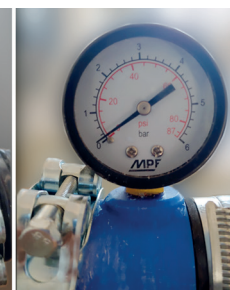
в



г

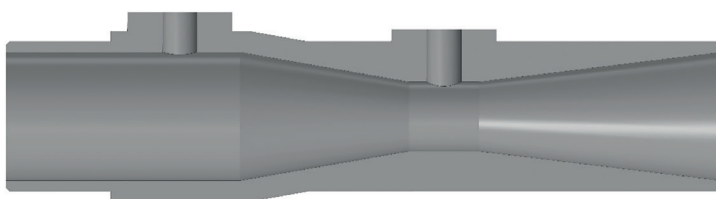


д

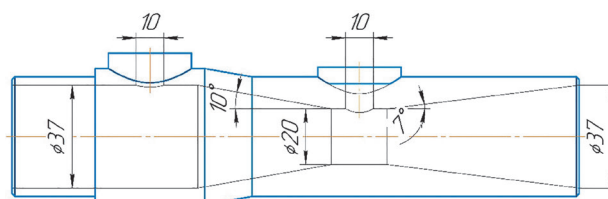


е

Рис. 1. Лабораторная установка: общий вид (а), схема установки (б), показания манометров РОСМА ТМ-310Р (0-0,16 МПа) и MPF (0-6 бар) перед краном на нагнетательной ветви (в), манометров трубы Вентури (г), вакуумметра РОСМА ТМ-310Р (от 0 до -0,1 МПа) во всасывающем трубопроводе (д), манометра, установленного перед кавитатором (е)

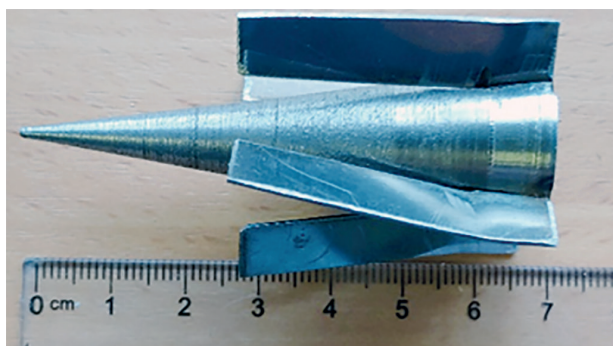


а

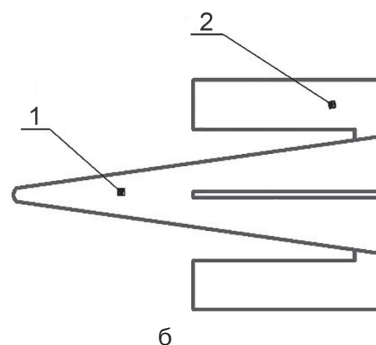


б

Рис. 2. Труба Вентури: 3D-модель (а); 2D-проекция (б)



а



б

Рис. 3. Кавитатор: общий вид (лепестки отогнуты на 15°) (а); схема (б): 1 – конус; 2 – лепесток

Как показали предварительные исследования, установка манометра за кавитатором не имеет смысла, так как на входе в технологическую емкость давление выравнивается до атмосферного.

При гидравлических испытаниях использовалась вода температурой 18–22 °С, при этом температура окружающего воздуха составляла 15–16 °С. Были проведены три параллельных опыта. Для регулирования подачи насоса применялся шаровый кран ПНД 50, рабочий орган которого устанавливался в пяти положениях перекрытия прохода потока. Водяной контур установки имеет различные местные сопротивления, анализ которых пойдет далее. При решении поставленной задачи приняты некоторые допущения:

- все участки водяного контура выполнены стальными;
- нумерация сечений следует по направлению движения жидкости.

Результаты исследований и обсуждение

В подавляющем большинстве встречающихся в технических приложениях случаев движение жидкости по системе трубопроводов осуществляется под действием нагнетателя (насоса), с помощью которого создается определенная разность полных давлений по концам участка сети (см. рис. 1).

Для определения перепада давления Δp_H , который нагнетатель должен создать для обеспечения заданных параметров движения среды в сети трубопроводов, уравнение Бернулли для всего трубопровода в целом, т.е. для участка 1-4, будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \rho g z_1 + p_1 + \rho \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} + \Delta p_H = \\ = \rho g z_4 + p_4 + \rho \frac{\alpha_4 v_4^2}{2} + \Delta p_c, \end{aligned} \quad (1)$$

где Δp_c – потери полного давления на участке сети от сечения 1-1 до сечения 4-4. Отсюда потребный перепад полного давления, создаваемый нагнетателем, равен

$$\begin{aligned} \Delta p_H = \rho g(z_4 - z_1) + (p_4 - p_1) + \\ + \rho \frac{\alpha_4 v_4^2}{2} - \rho \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} + \Delta p_c, \end{aligned} \quad (2)$$

или, обозначая полное давление как $p_0 = p + \frac{\alpha v^2}{2}$,

$$\Delta p_H = \rho g(z_4 - z_1) + (p_{04} - p_{01}) + \Delta p_c. \quad (3)$$

Правая часть выражений (2) и (3) представляет собой изменение удельной полной энергии (отнесенной к 1 м³) транспортируемой среды при ее переходе от начального сечения трубопроводной сети к конечному плюс необратимые путевые потери этой энергии, обозначив ее через Δp_s . Величина Δp_s зависит от расхода Q , так как от расхода зависит как динамическое давление, так и путевые потери, т.е. $\Delta p_s = f(Q)$ – характеристика сети.

Для турбулентного режима течения характеристику сети можно представить в виде следующей квадратичной зависимости от расхода:

$$\begin{aligned} \Delta p_s = \rho g(z_4 - z_1) + (p_{04} - p_{01}) + \\ + \frac{\rho}{2} \left(\sum_i \left(\frac{\lambda_i}{F_i^2} \frac{l_i}{d_i} + \frac{1}{F_i^2} \sum_j \xi_{ij} \right) \right) Q^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Перепад давления, создаваемый нагнетателем, также в общем случае является функцией расхода $\Delta p_H = f(Q)$ – характеристика нагнетателя.

В стационарном режиме в соответствии с уравнением (3) перепад давлений, создаваемый нагнетателем, равен перепаду давлений, необходимому для работы сети. Расход и перепад давлений в этом режиме равны координатам точки пересечения характеристик сети и нагнетателя, которую принято считать рабочей точкой.

Для закольцованной системы в уравнении (3) необходимо принять $z_4 = z_1$ и $p_{04} = p_{01}$. Этот случай соответствует полностью заполненному баку установки до уровня выхода из нагнетательной ветви. В данной системе давление, развиваемое нагнетателем, должно равняться потерям полного давления в сети:

$$\Delta p_{sk} = \frac{\rho}{2} \left(\sum_i \left(\frac{\lambda_i}{F_i^2} \frac{l_i}{d_i} + \frac{1}{F_i^2} \sum_j \xi_{ij} \right) \right) Q^2. \quad (5)$$

Если провести анализ уравнения Бернулли для общего случая работы сети с нагнетателем (когда сеть не изолирована от внешней среды), то нетрудно установить, что полное давление, развиваемое нагнетателем, расходуется на:

- преодоление разности давлений в объемах всасывания и нагнетания, а также избыточного геометрического давления, т.е. на подъем жидкости, которая тяжелее воздуха, на высоту от начального сечения сети до конечного;
- создание динамического давления на выходе жидкости из сети.

Итак, для решения уравнения (5) требуется определить площадь сечений трубы, скорости течений, число Рейнольдса, коэффициенты гидравлического трения и местных сопротивлений на участках 1-2 и 3-4. Для исследуемой установки (см. рис. 1) длина прямых участков трубы во всасывающей ветви с внутренним диаметром $d_{1-2} = 0,05$ м составляла $l_{1-2} = 0,965$ м. Соответственно, для нагнетательной ветви внутренний диаметр трубы составлял $d_{3-4} = 0,04$ м при длине $l_{3-4} = 1,33$ м. Такие данные приняты при расчетах.

Из уравнения неразрывности потока [1] можно оценить скорость на участках по формуле

$$v_i = \frac{Q}{F_i}. \quad (6)$$

При заданном расходе $Q = 28,44 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0079 \text{ м}^3/\text{с}$ скорость составит $v_{1-2} = 4,025 \text{ м/с}$; $v_{3-4} = 6,2898 \text{ м/с}$.

Число Рейнольдса может быть найдено по формуле

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}. \quad (7)$$

Для каждого сечения трубы при значении плотности жидкости $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$, динамическом коэффициенте вязкости $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ при температуре воды 20°C [6] определены по формуле (7) значения $Re_{1-2} = 200847$ и $Re_{3-4} = 251088,82$.

Значение эквивалентной шероховатости поверхности стальных труб принято $k_s = 0,0001 \text{ м}$, тогда число Рейнольдса для диаметров прямого участка 1-2 лежит в промежутке:

$$20 d/k_s < Re < 500 d/k_s,$$

для участка 3-4:

$$Re > 500 d/k_s.$$

Следовательно, для участка 1-2 коэффициент гидравлического трения определяется по формуле Альтшуля, а для участка 3-4 – по формуле Шифринсона [6]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0,25}. \quad (9)$$

Во всасывающей ветви гидравлические потери $\lambda_{1-2} = 0,024189675$, что на 1,68% меньше, чем в нагнетательной ветви, где $\lambda_{3-4} = 0,024596747$. Для исключения большой погрешности в некоторых случаях приходится принимать значения с девятью знаками после запятой.

В системе два отвода на 90° в каждой из ветвей (рис. 5а). Коэффициент местного сопротивления при повороте потока определяется формулой [5]

$$\xi_{90^\circ} = \left(0,2 + 0,001 \cdot (100\lambda)^8 \right) \sqrt{\frac{d}{R}}. \quad (10)$$

После подстановки значений гидравлических потерь и размеров отводов, согласно ГОСТ 17375-2201, получаются следующие значения: $\xi_{90^\circ 1-2} = 1,157186$; $\xi_{90^\circ 3-4} = 1,334762$.

На всасывающей ветви 1-2 имеются два равнопроходных тройника: первый – на ответвление, второй – на проход (табл. 1). Для первого случая принят коэффициент местного сопротивления $\xi_{\text{ГО}} 1-2 = 1,5$, для второго – $\xi_{\text{ТП}} 1-2 = 0,1$ [6-8].

Таблица 1. Характеристика отводов 90°

Ветвь	Размеры отводов, мм					
	DN	D	T	F	R	B
1-2	50	57	3,5	75	75	104
3-4	40	48,3	2,6	57	57	82

На выходе из емкости постепенное сужение потока создает местное сопротивление [6]:

$$\xi_{\text{конф}1-2} = 0,5 \left(1 - \frac{1}{n} \right), \quad (11)$$

где n – отношение площадей потока до и после сужения, при выходе из бака можно принять $\frac{1}{n} = 0$, тогда $\xi_{\text{конф}} = 0,5$. На входе в емкость в нагнетательной ветви 3-4 по аналогичным соотношениям получено местное сопротивление $\xi_{\text{вых}3-4} = 1$.

На нагнетательной ветви также имеются два внезапных сужения и одно внезапное расширение, коэффициенты местных сопротивлений которых определены по формулам [6] и имеют следующие значения:

$$\xi_{2\text{конф}1-2} = 0,36, \xi_{\text{диф}1-2} = 0,36.$$

$$\xi_{2\text{конф}1-2} = 2 \cdot 0,5 \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2} \right), \quad (12)$$

$$\xi_{\text{диф}1-2} = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2} \right). \quad (13)$$

Местные сопротивления в системе обусловлены наличием шаровых кранов во всасывающей $\xi_{\text{К}1-2} = 0,1$ и нагнетательной ветви $\xi_{\text{К}1-4} = 0,1$ [6]. Для определения текущего расхода в системе необходимо установить трубу Вентури с сопротивлением $\xi_{\text{Вентури}3-4}$:

$$\xi_{\text{Вентури}3-4} = \xi_c + \xi_{\text{дифф}}. \quad (14)$$

Первое слагаемое равно

$$\xi_c = 0,5 \left(1 - \frac{1}{n_B} \right),$$

где n_B – отношение площадей потока до и после сужения, если диаметр в расходомере сужается с $D = 0,037 \text{ м}$ до $d = 0,02 \text{ м}$.

Второе слагаемое для сопротивления трубки Вентури при $\alpha = 7^\circ$ для скорости в большем сечении определяется следующим образом:

$$\xi_{\text{дифф}} = \left(\frac{\lambda_{3-4}}{8 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(1 - \frac{1}{n_B^2} \right) + \sin(\alpha) \left(1 - \frac{1}{n_B^2} \right)^2 \right) n_B^2. \quad (15)$$

После подстановки значений сопротивление трубы Вентури равно $\xi_{\text{Вентури}3-4} = 1,633$.

Основное сопротивление в сети создает кавитатор, коэффициент сопротивления которого зависит от конструктивного исполнения и подлежит экспериментальному уточнению. Для предлагаемой конструкции кавитатора с прямыми лепестками экспериментально определены падение напора $\Delta H = 3,52 \text{ м}$ и коэффициент гидравлического сопротивления $\xi_{\text{кавитатор}3-4} = 1,75$, значение которого составляет 21,5% от арифметической суммы всех местных сопротивлений сети.

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}. \quad (16)$$

$$\xi_{\text{Кавитатор}3-4} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot v_{3-4}^2}. \quad (17)$$

$$\Delta p_{sk} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{\lambda_{1-2}}{F_{1-2}^2} \frac{l_{1-2}}{d_{1-2}} + \frac{\lambda_{3-4}}{F_{3-4}^2} \frac{l_{3-4}}{d_{3-4}} + \frac{1}{F_{1-2}^2} \times \left(\xi_{90^\circ 1-2} + \xi_{\text{конф}} + \xi_{K1-2} + \xi_{\text{то1-2}} + \xi_{\text{тп1-2}} + \xi_{2_{\text{конф}} 1-2} + \xi_{\text{диф1-2}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{F_{3-4}^2} \left(\xi_{90^\circ 3-4} + \xi_{\text{вых3-4}} + \xi_{K3-4} + \xi_{\text{Вентури3-4}} + \xi_{\text{кавитат3-4}} \right) \right) Q^2.$$

Представив постоянный коэффициент при квадрате расхода в виде k :

$$k = \frac{\rho}{2} \left(\frac{\lambda_{1-2}}{F_{1-2}^2} \frac{l_{1-2}}{d_{1-2}} + \frac{\lambda_{3-4}}{F_{3-4}^2} \frac{l_{3-4}}{d_{3-4}} + \frac{1}{F_{1-2}^2} \times \left(\xi_{90^\circ 1-2} + \xi_{\text{конф}} + \xi_{K1-2} + \xi_{\text{то1-2}} + \xi_{\text{тп1-2}} + \xi_{2_{\text{конф}} 1-2} + \xi_{\text{диф1-2}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{F_{3-4}^2} \left(\xi_{90^\circ 3-4} + \xi_{\text{вых3-4}} + \xi_{K3-4} + \xi_{\text{Вентури3-4}} + \xi_{\text{кавитат3-4}} \right) \right),$$

уравнение (5) приобретает следующий вид:

$$\Delta p_{sk} = k \cdot Q^2.$$

При заданном расходе $Q = 28,44 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0079 \text{ м}^3/\text{с}$ потери полного давления в сети составят $\Delta p_{sk} = 167738,658 \text{ Па}$, или в метрах водяного столба $h = 17,13 \text{ м}$.

Определенные значения манометра и вакуумметра подставлены в формулу для вычисления напора работающей напорной установки:

$$H = \frac{P_M + P_B}{\rho \cdot g} + z + 0,0827 \left(\frac{1}{d_H^4} - \frac{1}{d_{BC}^4} \right) Q_p^2, \quad (18)$$

где P_M, P_B – давление соответственно на выходе из насоса и входе в него (показания манометра и вакуумметра), Па;

z – расстояние по вертикали между точками подключения манометра и вакуумметра, $z = 0,32 \text{ м}$;

d_H, d_{BC} – диаметр нагнетательного и всасывающего трубопроводов, м;

Q_p – экспериментальный объемный расход жидкости, определенный по показаниям манометров трубы Вентури [9].

$$Q_p = \frac{C \cdot A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \cdot \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}}, \quad (19)$$

где C – экспериментальный коэффициент, $C = 2,195$; A_1, A_2 – площади сечений на входе в трубу Вентури и горловины, м²;

P_1, P_2 – давление на входе трубы и горловины, Па.

Полученные экспериментальные и расчетные данные сведены в табл. 2.

Характеристика сети и насоса 1СМ65-50-160/2-м в зависимости от расхода представлена на рис. 4. Как видно, на участке расхода от 13 до 16 м³/ч наблюдается нарушение формы характеристики «Q-H» насоса в виде «провала» на 35% по напору. В это время стрелки манометров испытывали повышенные колебания (см. рис. 1). По мнению Ю.А. Сазонова [2], это может быть связано с резким увеличением гидравлических потерь в сети.

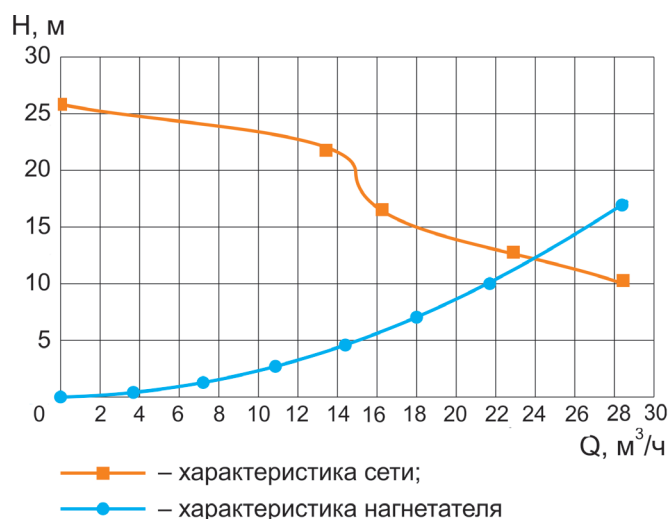


Рис. 4. Напорная характеристика H сети и насоса в зависимости от расхода Q

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов

Показания вакуумметра и манометров				Расчетные значения параметров	
P_B , Па	P_M , Па	P_1 , Па	P_2 , Па	Q_p , м ³ /ч	H , м
15000	70000	60000	0	28,436	10,19631
5000	11000	30000		22,9	12,84078
0	150000	15000		16,199	16,02874
0	206843	10000		13,433	21,7137
0	248211	0		0	25,6725

В области нулевой подачи напор насоса составляет 25,7 м, а при максимальной – 10,2 м. В целом выдерживается закономерность, что с уменьшением подачи насоса увеличивается напор.

По точке пересечения характеристик сети и нагнетателя можно отметить, что при данном сопротивлении сети насос обеспечивает расход 24 м³/ч. Максимальный расход (28,44 м³/ч) возможен, если у сети уменьшить сопротивление до 5 м по напору. Заявленная заводом-изготовителем подача насоса может составлять от 25 до 30 м³/ч. По паспорту расход несколько больше, значит

выбранный экземпляр насоса для исследуемой сети не обеспечивает паспортные характеристики, это рядовое явление.

Выводы

1. В ходе выполнения исследований была решена задача по определению гидравлической характеристики сети установки и насоса.

2. Согласно конструктивно-технологическим особенностям установки уточнена закономерность гидравлических потерь полного давления в сети, которое при расходе 28,44 м³/ч составляет 167738,658 Па, или 17,13 м водяного столба.

3. Экспериментальные исследования показали, что реальный расход насоса равен 24 м³/ч. Проведенные исследования показали, что 21,5% от арифметической суммы всех местных сопротивлений сети дает значение гидравлического сопротивления кавитатора.

Список

использованных источников

1. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова [и др.]. М.: ДМК Пресс, 2017. 210 с.
2. **Сазонов Ю.А.** Основы расчета и конструирования насосно-эжекторных установок. М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2012. 300 с.
3. **Голощапова А.А., Голощапова Е.А., Ихлеф С.Р.** Водопроводные сети. Практика учета местных потерь напора // Alfabulid. 2019. № 2(9). С. 70-80.
4. **Мишуров Н.П., Коноваленко Л.Ю., Неменуцкая Л.А.** Перспективные наилучшие доступные технологии в сфере переработки сельскохозяйственного сырья // Техника и оборудование для села. 2022. № 9. С. 22-27. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-9-22-27>.

5. Research on the work process of a station for preparing forage / A. Marczuk [и др.] // Sustainability. 2020; 12 (3): 1050. <https://doi.org/10.3390/su12031050>.

6. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

7. Методика расчета местных гидравлических сопротивлений для двумерной и трехмерной геометрии канала / М.Г. Анучин [и др.] // Математическое моделирование. 2006. Т.18. № 6. С. 109-126.

8. **Горунович С.Б.** Потери давления в трубопроводах. Тройники // Новости теплоснабжения. 2010. № 4. С. 15-21.

9. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. Кн. 1. СПб: Политехника, 2002. 409 с.

Results of the Studies of the Pump and Network Characteristics of the Plant for the Production of Grain Molasses

A.V. Aleshkin

(FSBEI VyatGU)

P.A. Savinykh

(Federal agrarian scientific center of the North-East)

V.N. Nechaev

(GBOU NSIEU)

Summary. The article describes the results of an experimental and theoretical estimation of the pressure characteristics of the network of the plant for the production of grain molasses with a centrifugal pump 1SM 65-50-160/2-m. Measuring equipment and conditions for obtaining hydraulic characteristics are presented. For accelerated heating of water to 30°C, a cavitator in the form of a cone with petals is proposed. The operating point of the pump has been defined.

Key words: network characteristics, cavitator, Venturi tube, hydraulic resistance.



Биомасса
топливо и энергия
Конгресс & экспо

17-18 апреля 2024
Отель «Холидей Инн Лесная»
Москва

Темы конгресса:

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

+7 (495) 585-5167
info@biotoplivo.ru
www.biotoplivo.com

УДК 621.316

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-3-36-41

Новый подход к математическому моделированию сельских электрических сетей 0,4 кВ с использованием метода фазных координат

А.В. Виноградов,

д-р техн. наук, проф.,

гл. науч. сотр.,

winaleksandr@gmail.com

(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,

ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ»);

И.О. Голиков,

канд. техн. наук, доц.,

вед. инженер-программист,

montazar@rambler.ru

(ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ»)

Аннотация. Представлены результаты математического моделирования сельских электрических сетей с применением метода фазных координат. Показаны недостатки традиционного подхода к моделированию данным методом. Предложены новый подход в использовании метода для расчёта отклонений напряжения в различных точках электрической сети и пример расчёта предложенным методом. Кроме того, выполнено сравнение результатов, полученных различными способами.

Ключевые слова: электроснабжение, моделирование электрической сети, метод фазных координат, расчёт отклонений напряжения.

Постановка проблемы

На решение задач повышения качества электроэнергии в сельских электрических сетях направлено значительное количество исследований. Так, задачи комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии рассмотрены в работе [1]. Необходимость контроля качества электроэнергии, в том числе приборами учёта и специальными устройствами подчёркивается в источнике [2]. В работе [3] даны предложения по стимулированию энергоснабжающих организаций и потребителей к повышению качества электроэнергии. Анализ использования вольтодобавочных трансформаторов для поддержания уровня напряжения приведён в работе [4], а применение пунктов секционирования и ступенчатого регулирования напряжения как их альтернативы – в работе [5]. Рассматриваются и вопросы применения систем накопления электроэнергии для регулирования напряжения в сельских электрических сетях [6].

Применение любых предложений по повышению качества электроэнергии в сельских электрических сетях

требует применения как фактического измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ), так и моделирования электрических сетей для получения расчётных значений ПКЭ.

В работах [7, 8] разработан метод адаптивного автоматического регулирования напряжения и использован метод фазных координат для моделирования сельских электрических сетей с целью определения отклонений напряжения в разных точках сети. С помощью метода фазных координат можно решать задачи моделирования и анализа электрических сетей [9] с учётом возможных несимметричных режимов [10].

Традиционный подход к моделированию методом фазных координат предполагает проведение расчёта от конца к началу сети в несколько итераций. Для этого задают токи и напряжения в конце линии и проводят расчёт, пока вычисленное напряжение в начале линии не будет близким к целевому значению. На практике часто стоит обратная задача – по известным значениям напряжений и токов в начале сети определить их значение в ее конце.

Цель исследования – разработка математической модели электрической сети 0,4 кВ, позволяющей выполнить расчет параметров режимов работы электрической сети от трансформатора до конечного потребителя методом фазных координат.

Материалы и методы исследования

Согласно методу фазных координат, любой элемент трехфазной сети: участок линии электропередачи, нагрузка, короткое замыкание, трансформатор представляют матрицей. В такой матрице отражены основные параметры элементов сети: сопротивления и проводимости проводников, сопротивления нагрузок, сопротивления обмоток трансформаторов. Матрицу представляют прямоугольником с выходными и входными токами и напряжениями и называют 2К-полюсником относительно К – числа фаз или проводов. Напряжения и токи на входах и выходах 2К-полюсников зависят от схемы и параметров элемента сети, замещаемого (моделируемого) 2К-полюсником. Если моделируем участок однофазной сети, имеющей 2 провода на входе и два – на выходе, то получаем 4-полюсник. Если моделируем участок сети с 4 проводами, то получаем 8-полюсник (рис. 1). Напряжение в каждой точке сети определяется относительно

базисного узла. По этим напряжениям находятся фазные и линейные напряжения и токи в любой точке сети [11].

Схема сети делится на участки. Каждый из участков по отдельности проще моделировать 2К-полюсником в форме Н. Напряжения и токи лучше представлять в виде столбца. Численные значения всех элементов матриц и векторов являются комплексными величинами [11].

2К-полюсники в форме Н позволяют определять напряжение и ток на входе по значению напряжения и тока на выходе. Для каждого 2К-полюсника в форме Н справедливы соотношения [11]

$$[U_{Hi}] = [A_i] \cdot [U_{Ki}] + [B_i] \cdot [I_{Ki}]; \quad (1)$$

$$[I_{Hi}] = [C_i] \cdot [U_{Ki}] + [D_i] \cdot [I_{Ki}], \quad (2)$$

где $[U_{Hi}]$, $[U_{Ki}]$, $[I_{Hi}]$, $[I_{Ki}]$ – напряжения и токи в начале и в конце i -го участка, представляющие собой векторы-столбцы:

$$U_{Hi} = \begin{bmatrix} U_{Hi1} \\ U_{Hi2} \\ U_{Hi3} \\ U_{Hi4} \end{bmatrix}; \quad U_{Ki} = \begin{bmatrix} U_{Ki1} \\ U_{Ki2} \\ U_{Ki3} \\ U_{Ki4} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$I_{Hi} = \begin{bmatrix} I_{Hi1} \\ I_{Hi2} \\ I_{Hi3} \\ I_{Hi4} \end{bmatrix}; \quad I_{Ki} = \begin{bmatrix} I_{Ki1} \\ I_{Ki2} \\ I_{Ki3} \\ I_{Ki4} \end{bmatrix}.$$

где $[A_i]$, $[B_i]$, $[C_i]$, $[D_i]$ – параметры 2К-полюсника i -го участка в форме Н, представляющие собой квадратные матрицы.

Для 4-проводной линии 8-полюсник имеет вид (рис. 1):

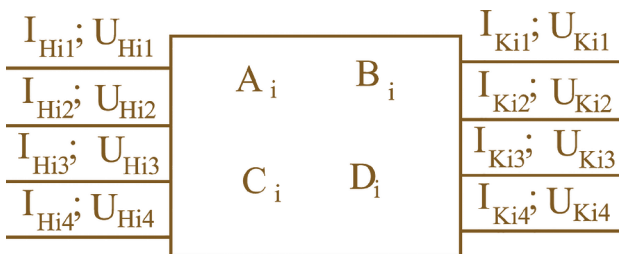


Рис. 1. 2К-полюсник участка 4-проводной линии



Рис. 2. Упрощенный 2К-полюсник участка линии

Все величины в схеме представляют комплексные числа. По рисунку 1: если известны 4 вектора тока и 4 вектора напряжения на выходе 8-полюсника, то можно определить 4 вектора напряжения и 4 вектора тока на его входе.

Когда оперируют с известным количеством проводов, схему 2К-полюсника упрощают, как это показано на рис. 2, имея ввиду, что I_{Hi} , U_{Hi} ; I_{Ki} ; U_{Ki} – векторы-столбцы с 4-строками.

Результаты исследований и обсуждение

Проиллюстрируем предлагаемый подход к моделированию на примере электрической сети (рис. 3). Электрическая сеть содержит трансформатор (Т1) 10/0,4кВ и линию электропередачи (ЛЭП) 0,4 кВ с четырьмя потребителями ($S_1 = 8$ кВт, $S_2 = 5$ кВт, $S_3 = 6$ кВт, $S_4 = 10$ кВт), подключенными к участкам ЛЭП с соответствующими длинами ($L_1 = 0,3$ км, $L_2 = 0,6$ км, $L_3 = 0,4$ км, $L_4 = 0,5$ км). Линия выполнена самонесущим проводом СИП2 3х35+1х50.

На рис. 4 показана схема замещения сети с представлением каждого её элемента в виде упрощенного 2К-полюсника для применения метода фазных координат.

Порядок расчета предлагаемым (прямым) способом следующий.

1. Расчет начинается с моделирования трансформатора [11, 12]. Для этого вычисляются полные сопротивления Z_{t1} и Z_{t2} через его сопротивления токам прямой и обратной последовательности

$$Z_{t1} = R_{t1} + i \cdot X_{t1}; \quad Z_{t2} = R_{t2} + i \cdot X_{t2}, \quad (4)$$

где Z_{t1} , Z_{t2} – полные сопротивления прямой и обратной последовательности, Ом;

R_{t1} , R_{t2} – активные сопротивления токам прямой и обратной последовательности, Ом;

X_{t1} , X_{t2} – реактивные сопротивления токам прямой и обратной последовательности, Ом.

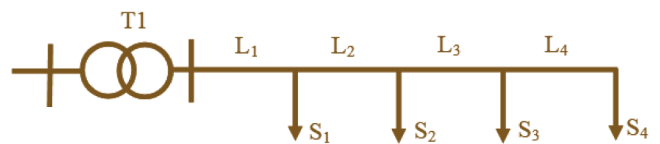


Рис. 3. Схема рассчитываемой электрической сети 0,4 кВ



Рис. 4. Схема замещения сети, представленной на рис. 3

Далее вычисляем полное сопротивление токам нулевой последовательности:

$$Z_{t0} = R_{t0} + i \cdot X_{t0}, \quad (5)$$

где Z_{t0} , – полное сопротивление токам нулевой последовательности, Ом;

R_{t0} , – активное сопротивление токам нулевой последовательности, Ом;

X_{t0} , – реактивное сопротивление токам нулевой последовательности, Ом.

В расчете однофазных режимов трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» ток ограничивается полным сопротивлением трансформатора, деленным на три, входящим в формулу расчета тока однофазного короткого замыкания.

Сопротивления трансформатора:

$$\begin{aligned} R_t &= R_{t1} + R_{t2} + R_{t0}; \\ X_t &= X_{t1} + X_{t2} + X_{t0}; \\ Z_t &= R_t + i \cdot X_t, \end{aligned} \quad (6)$$

где R_t – активное сопротивление трансформатора, Ом;

X_t – реактивное сопротивление трансформатора, Ом;

Z_t – полное сопротивление трансформатора, Ом.

Пользуясь формулой (7), вводится в нулевой провод добавочное сопротивление Z_{dt} , Ом:

$$Z_{dt} = \frac{Z_t}{3} - Z_{t1}. \quad (7)$$

Задаются единичная E и нулевая O матрицы:

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Определяются параметры 2К-полюсника трансформатора:

$$A1 = E; \quad B1 = \begin{bmatrix} Z_t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_{dt} \end{bmatrix}; \quad C1 = O; \quad D1 = E. \quad (8)$$

Далее задаются напряжением и током на высокой стороне трансформатора и находят значение напряжения на каждой фазе:

$$\begin{aligned} U_{\phi 1} &= \frac{U_{\text{эл}}}{\sqrt{3}}; \quad U_{\phi 2} = U_{\phi 1} \cdot a^2; \\ U_{\phi 3} &= U_{\phi 1} \cdot a; \quad U_n = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где a – оператор поворота вектора;

$U_{\phi 1}$, $U_{\phi 2}$, $U_{\phi 3}$ – напряжение на соответствующих фазах, В;

U_n – напряжение на нейтрали, В.

Матрица напряжений составляется из напряжений на фазах и нейтрали:

$$U_1 = \begin{bmatrix} U_{\phi 1} \\ U_{\phi 2} \\ U_{\phi 3} \\ U_n \end{bmatrix}. \quad (10)$$

По аналогии находят ток на высокой стороне трансформатора и значение тока на каждой фазе:

$$\begin{aligned} I_{\phi 1} &= \frac{\sum P}{\sqrt{3} \cdot I_{\phi 1}}; \quad I_{\phi 2} = U_{\phi 1} \cdot a^2; \\ I_{\phi 3} &= U_{\phi 1} \cdot a; \quad I_n = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где $I_{\phi 1}$, $I_{\phi 2}$, $I_{\phi 3}$ – ток на соответствующих фазах, В;

I_n – ток в нейтрали, В.

Матрица токов задаётся из значений токов по фазам и в нейтрали:

$$I_1 = \begin{bmatrix} I_{\phi 1} \\ I_{\phi 2} \\ I_{\phi 3} \\ I_n \end{bmatrix}. \quad (12)$$

2. Зная коэффициент трансформации трансформатора, находят напряжение U_2 , В, и ток I_2 , А, после трансформатора:

$$U_2 = A1 \cdot \frac{U_1}{k} - B1 \cdot I_1 \cdot k; \quad I_2 = I_1 \cdot k, \quad (13)$$

где k – коэффициент трансформации трансформатора.

3. На этом этапе моделируются участки отходящей от трансформатора ЛЭП, по которой питаются потребители. В процессе моделирования, исходя из марки провода, вычисляется полное сопротивление, указывается длина линии и через полученные параметры участка электрической сети производится расчет напряжения и тока.

Определяют активные и реактивные сопротивления участков линии, например, для участка L1:

$$R_{\phi 1} = R_{0\phi 1} \cdot L_1; \quad R_{n1} = R_{0n1} \cdot L_1; \quad X_{n1} = X_{0n1} \cdot L_1, \quad (14)$$

где $R_{\phi 1}$ – активное сопротивление 1 км фазного провода на участке 1, Ом/км;

R_{n1} – активное сопротивление 1 км нулевого провода на участке 1, Ом/км;

X_{n1} – индуктивное сопротивление 1 км нулевого провода на участке 1, Ом/км.

Определяют полные сопротивления участков для каждой фазы, например, для фазы 1 участка L1:

$$Z_{\phi 1} = \sqrt{R_{\phi 1}^2 + X_{n1}^2}; \quad Z_{n1} = \sqrt{R_{n1}^2 + X_{n1}^2}.$$

Для каждого участка ЛЭП составляется матрица полных сопротивлений, например, для участка L1, Z_1 :

$$Z_1 = \begin{bmatrix} Z_{\phi 1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{\phi 2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_{\phi 2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_{n1} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Задаются параметры участка линии L1:

$$A2 = E; \quad B2 = Z_1; \quad C2 = 0; \quad D2 = E. \quad (16)$$

В контрольной точке за участком L1 находят значения напряжения и тока:

$$U_3 = A2 \cdot U_2 - B2 \cdot I_2; \quad I_3 = I_2. \quad (17)$$

4. Производятся моделирование и расчет нагрузки. Например, для нагрузки S1 задаемся активной мощностью P_1 , Вт, и пофазно находим проводимости. Так, для фазы 1:

$$Y_{\phi 1S1} = \frac{P_1}{220^2 \cdot 3}. \quad (18)$$

Общая проводимость нагрузки S1 будет иметь вид:

$$Y_{S1} = \begin{bmatrix} Y_{\phi 1S1} & 0 & 0 & -Y_{\phi 1S1} \\ 0 & Y_{\phi 2S1} & 0 & -Y_{\phi 2S1} \\ 0 & 0 & Y_{\phi 3S1} & -Y_{\phi 3S1} \\ -Y_{\phi 1S1} & -Y_{\phi 2S1} & -Y_{\phi 3S1} & Y_{\phi 1S1} + Y_{\phi 2S1} + Y_{\phi 3S1} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Параметры нагрузки S1 будут иметь вид:

$$A3 = E; \quad B3 = 0; \quad C3 = Y_{S1}; \quad D3 = E. \quad (20)$$

Определяем напряжение и ток на участке линии L1 за нагрузкой S1:

$$U_4 = A3 \cdot U_3 - B3 \cdot I_3; \quad I_4 = -C3 \cdot U_3 + D3 \cdot I_3. \quad (21)$$

Аналогично проводится расчет и для остальных участков электрической сети, результаты сводятся в таблицу. Главной отличительной особенностью предлагаемого метода расчета от традиционного является то, что используются формулы для определения токов и напряжения через токи и напряжения вышестоящего элемента. В таблице представлены расчетные значения тока и напряжения на каждом 2К-полюснике электрической сети при прямом и традиционном порядке расчета.

Порядок расчета с использованием традиционного способа применения метода фазных координат следующий.

1. Задаемся значением напряжения в конце рассматриваемой электрической линии и вычисляем напряжение на каждой фазе по формулам:

$$\begin{aligned} U_{\text{кф}1L4} &= 198; & U_{\text{кф}2L4} &= U_{\text{кф}1L4} \cdot a^2; \\ U_{\text{кф}3L4} &= U_{\text{кф}1L4} \cdot a; & U_{\text{кн}L4} &= 0,001, \end{aligned} \quad (22)$$

где $U_{\text{кф}1L4}$, $U_{\text{кф}2L4}$, $U_{\text{кф}3L4}$ – напряжение на соответствующих фазах в конце рассматриваемой линии, В;
 $U_{\text{кн}L4}$ – напряжение на нейтрали, В.

Полученные значения напряжений преобразуем в матрицу

$$U_k = \begin{bmatrix} U_{\text{кф}1L4} \\ U_{\text{кф}2L4} \\ U_{\text{кф}3L4} \\ U_{\text{кн}L4} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Зададимся нулевыми значениями тока на каждой фазе и нейтрали:

$$I_k = \begin{bmatrix} I_{\text{кф}1L4} \\ I_{\text{кф}2L4} \\ I_{\text{кф}3L4} \\ I_{\text{кн}L4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (24)$$

2. Моделируется нагрузка потребителя на конце линии, для чего определяются пофазно проводимости нагрузок по формуле (18). Задаются параметры нагрузки по аналогии с (20). Рассчитываются напряжение и ток потребителя на основе полученных матриц тока и напряжения в конце линии U_k и I_k :

$$U_9 = A9 \cdot U_k + B9 \cdot I_k; \quad I_9 = C9 \cdot U_k + D9 \cdot I_k. \quad (25)$$

3. Проводится моделирование участка ЛЭП, по которому запитан потребитель. Задается длина участка и в соответствии с маркой провода вычисляется полное сопротивление. Параметры участка линии определяются по (16) и рассчитывается напряжение U_8 и ток I_8 на линии рассматриваемого участка сети:

$$U_8 = A8 \cdot U_9 + B8 \cdot I_9; \quad I_8 = I_9. \quad (26)$$

4. По аналогии рассчитываются последовательно токи и напряжения на других участках ЛЭП вплоть до начала сети.

5. Моделируется трансформатор, используя коэффициент трансформации трансформатора k , вычисляются напряжение и ток на трансформаторе:

$$U_1 = A1 \cdot U_2 + B1 \cdot I_2; \quad I_1 = \frac{I_2}{k}. \quad (27)$$

Для приведённого на рис. 3 примера электрической сети выполнены расчёты предлагаемым и традиционным подходом к применению метода фазных координат. Полученные результаты сведены в таблицу.

Результаты, полученные прямым методом, совпадают с результатами, полученными с использованием традиционного метода. Кроме того, проведен сравнительный анализ результатов расчетов электрической сети по общепринятым методикам, использующим расчёт потерь напряжения [13], и с применением предлагаемого подхода (с использованием метода фазных координат).

Сводная таблица результатов расчёта с использованием предлагаемого и традиционного подхода к применению метода фазных координат

Традиционный метод расчёта									
$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$	$U_5, В$	$U_6, В$	$U_7, В$	$U_8, В$	$U_9, В$	$U_k, В$
10668	412,114	393,155	393,155	366,565	366,565	353,24	353,24	342,946	342,946
$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$I_4, А$	$I_5, А$	$I_6, А$	$I_7, А$	$I_8, А$	$I_9, А$	$I_k, А$
2,9	72,5	72,5	50,838	50,838	38,216	38,216	23,619	23,619	0
Предлагаемый (прямой) метод									
$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$	$U_5, В$	$U_6, В$	$U_7, В$	$U_8, В$	$U_9, В$	$U_k, В$
10667	412,114	393,155	393,155	366,565	366,565	353,24	353,24	342,946	342,946
$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$I_4, А$	$I_5, А$	$I_6, А$	$I_7, А$	$I_8, А$	$I_9, А$	$I_k, А$
2,9	72,5	72,5	50,838	50,838	38,216	38,216	23,619	23,619	0,00002

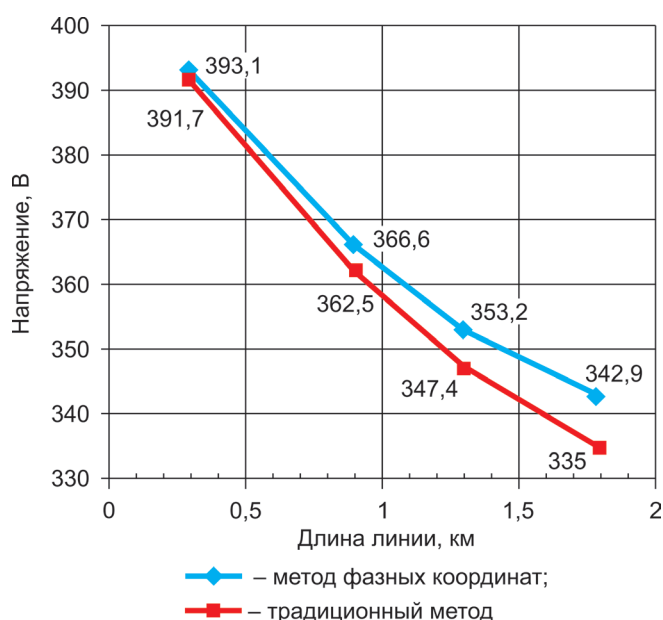


Рис. 5. Результаты расчета методом фазных координат и по потерям напряжения

Расчёт выполнен для примера сети, показанного на рис. 3. Результаты сравнительного анализа представлены на рис. 5.

Максимальная разница между результатами расчета двумя способами составляет не более 2,08%. Математическое моделирование электрических сетей с использованием метода фазных координат позволяет более точно и эффективно анализировать отклонение напряжения и потери по сравнению с существующими методами за счёт учёта изменения значений напряжения и тока в контрольных точках электрической сети.

Выводы

1. Предлагаемый подход к математическому моделированию сельских электрических сетей 0,4 кВ с использованием метода фазных координат позволит упростить процессы нахождения ступеней при автоматическом или с применением ПБВ регулировании напряжения, расчёта отклонений напряжения на каждой из фаз сети. Математическая модель может использоваться для анализа изменений параметров режимов работы сети и прогнозирования её параметров при возможных аварийных ситуациях.

2. Выполненное сравнение предлагаемого и традиционного подходов к моделированию сетей 0,4 кВ с использованием метода фазных координат показало, что результаты расчётов на примере одной и той же сети, практически не отличаются. Сравнение результатов расчёта предлагаемым способом (с использованием метода фазных координат) и общепринятым методом (без использования метода фазных координат) показало, что разница составила не более 2,08%.

3. В ходе дальнейших исследований планируется адаптация предлагаемого подхода для моделирования разветвлённых электрических сетей 0,4 кВ и разработка специализированного программного продукта для автоматизации процессов расчёта.

Список использованных источников

- Ковалев Г.Ф., Чернов Д.В. Методика комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях // Известия РАН. Энергетика. 2009. № 5. С. 104-114.
- Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н. Представление результатов опроса приборов учета электроэнергии в распределительных сетях сельских потребителей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. №3(48). С. 9-13. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-9-13. EDN CBRWNB.
- Vinogradov A, Borodin M, Bolshev V, Makhyanova N, Hruntovich N. Improving the Power Quality of Rural Consumers by Means of Electricity Cost Adjustment // Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions, 312-341.
- Кузнецов В.А., Рощубкин П.В., Сингатулин Р.С. Основные показатели качества электроэнергии. Применение вольтодобавочных трансформаторов // Вестник Белгородского ГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 204-207.
- Виноградов А.В., Виноградова А.В., Голиков И.О., Лансберг А.А. Методика выбора мест установки пунктов секционирования и ступенчатого регулирования напряжения // Техника и оборудование для села. 2023. № 5. С. 32-37.
- Виноградов А.В., Лансберг А.А., Голиков И.О. Анализ работы системы накопления электрической энергии с пофазным

регулированием напряжения // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. N3(48). С. 26-35.

7. **Vinogradov A., Vinogradova A., Golikov I. & Bolshev V.** Adaptive Automatic Voltage Regulation in Rural 0.38 kV Electrical Networks // International Journal of Emerging Electric Power Systems. 2019. № 3 (20).

8. **Голиков И.О., Виноградов А.В.** Адаптивное автоматическое регулирование напряжения в сельских электрических сетях 0,38 кВ. Орел: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2017. 166 с.

9. **Попов Н.М., Олин Д.М.** Расчеты пятипроводных сетей 0,38 кВ в фазных координатах // Энергообеспечение и энергосбережение в сел. хоз-ве : тр. Междунар. научно-техн. конф. 2006. Т. 1. С. 290-295.

10. **Попов Н.М., Олин Д.М.** Анализ несимметричных режимов работы пятипроводных сетей 0,38 кВ // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 2007. № 11. С. 18-20.

11. **Виноградов А.В., Виноградова А.В.** Повышение надежности электроснабжения сельских потребителей посредством секционирования и резервирования линий электропередачи 0,38 кВ : моногр. Орел : ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2016. 224 с.

12. **Солдатов В.А., Баранов А.А.** Аналитическая модель трансформаторов «звезда-треугольник» и «звезда-звезда с нулем» в фазных координатах // До-стижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 76-78.

13. **Ефременко В.М., Савинкина О.А., Наумкин Р.Б.** Анализ потерь напряжения в распределительных электрических сетях // Вестник КузГТУ. 2010. № 3. С. 69-72.

New Approach to the Mathematical Modeling of 0.4 kV Rural Electric Networks Using the Phase Coordinate Method

A.V. Vinogradov

(FGBNU FNATS VIM,
Oryol State Agrarian University)

I.O. Golikov

(Oryol State Agrarian University)

Summary. The results of the mathematical modeling of rural electrical networks using the phase coordinate method are presented. The disadvantages of the traditional modeling using this method are shown. The authors proposed new approach to using this method for calculating voltage deviations at various points of the electrical network and the calculation example using the proposed approach. Furthermore the comparison of the results obtained by different approaches was made.

Key words: power supply, electrical network modeling, phase coordinate method, calculation of voltage deviations.

Реферат

Цель исследования – разработка математической модели электрической сети 0,4 кВ, позволяющей выполнить расчет параметров режимов работы электрической сети от трансформатора до конечного потребителя методом фазных координат. Представлены результаты математического моделирования сельских электрических сетей с применением метода фазных координат. Показаны недостатки традиционного подхода к моделированию данным методом. Предложены новый подход в использовании метода для расчёта отклонений напряжения в различных точках электрической сети и пример расчёта данным методом. Предлагаемый подход к математическому моделированию сельских электрических сетей 0,4 кВ с использованием метода фазных координат позволит упростить процессы нахождения ступеней при автоматическом или с применением ПБВ регулировании напряжения, расчёта отклонений напряжения на каждой из фаз сети. Математическая модель может использоваться для анализа изменений параметров режимов работы сети и прогнозирования её параметров при возможных аварийных ситуациях. Выполненное сравнение предлагаемого и традиционного подходов к моделированию сетей 0,4 кВ с использованием метода фазных координат показало, что результаты расчётов на примере одной и той же сети практически не отличаются. Сравнение результатов расчёта предлагаемым способом (с использованием метода фазных координат) и общепринятым методом (без использования метода фазных координат) показало, что разница составила не более 2,08%. В ходе дальнейших исследований планируется адаптация предлагаемого подхода для моделирования разветвлённых электрических сетей 0,4 кВ и разработка специализированного программного продукта для автоматизации процессов расчёта.

Abstract

The purpose of the study is to develop a mathematical model of a 0.4 kV electrical network to calculate the parameters of the operating modes of the electrical network from the transformer to the end consumer using the phase coordinate method. The results of mathematical modeling of rural electrical networks using the phase coordinate method are presented. The disadvantages of the traditional modeling using this method are shown. The authors proposed new approach to using this method for calculating voltage deviations at various points of the electrical network and the calculation example using the proposed approach. The proposed approach to mathematical modeling of rural electrical networks of 0.4 kV using the phase coordinate method will simplify the processes of finding steps in automatic or using no-load tap changer voltage regulation and calculating voltage deviations on each of the phases of the network. The mathematical model can be used to analyze changes in the parameters of the network operating modes and predict its parameters in possible emergency situations. The comparison of the proposed and traditional approaches to modeling 0.4 kV networks using the phase coordinate method showed that the results of the calculations using the same network are practically the same. The comparison of the calculation results using the proposed method (using the phase coordinate method) and the generally accepted method (without using the phase coordinate method) showed that the difference was no more than 2.08%. In the course of further research it is planned to adapt the proposed approach for modeling branched electrical networks of 0.4 kV and develop a specialized software product for automating calculation processes.

Оценка современных зерноуборочных комбайнов отечественного производства с одnobарабанной схемой МСУ

С.А. Свиридова,
зав. лабораторией,
S1161803@yandex.ru

Д.А. Петухов,
канд. техн. наук,
зав. лабораторией,
dmitripet@mail.ru

Ю.А. Юзенко,
науч. сотр.,
yulek.com@mail.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТИМ]);

С.А. Васильев,
д-р техн. наук,
доц., проф. кафедры,
vsa_21@mail.ru
(ГБОУ ВО НГИЭУ)

Аннотация. Проанализировано современное состояние подотрасли производства зерна. Приведены краткие технические характеристики современных образцов зерноуборочных комбайнов отечественного производства с классической одnobарабанной схемой МСУ, а также функциональные показатели их работы. Выполнен анализ качества проведения технологического процесса уборки, даны рекомендации по эффективности применения комбайнов.

Ключевые слова: растениеводство, посевная площадь, зерноуборочный комбайн, уборка, показатель, производительность, качество, эффективность.

Постановка проблемы

Эффективная работа сельскохозяйственных предприятий агропромышленного комплекса Российской Федерации необходима для бесперебойного снабжения населения продуктами питания высокого качества отечественного производства и обеспечения продовольственной безопасности страны. Переход к высокопродуктивному и экологически чи-

стому агрохозяйству, обозначенный Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 г. [1], возможно осуществить только путем внедрения в технологии производства сельскохозяйственной продукции высокопроизводительной техники.

В настоящее время в Российской Федерации на растениеводство приходится основная часть [2] всей продукции сельского хозяйства, при этом наиболее крупной подотраслью растениеводства является производство зерна [3]. Производство зерна – основа развития аграрной сферы экономики России [4]. Наибольшая доля в возделывании зерновых и зернобобовых культур приходится на сельскохозяйственные организации. Одной из наиболее важных технологических операций при возделывании зерновых является уборка. От соблюдения оптимальных агротехнических сроков проведения уборочных работ, применения эффективной и надежной уборочной техники зависят конечные результаты производства зерна – валовой сбор и качество полученной продукции. Правильность подбора уборочной техники влияет и на себестоимость убираемой культуры [5].

Актуальным вопросом для сельхозтоваропроизводителей является подбор наиболее эффективных современных зерноуборочных комбайнов отечественного производства, соответствующих конкретным природно-климатическим и производственным условиям их функционирования [6].

Цель исследований – анализ состояния зерновой подотрасли сельского хозяйства Российской Федерации с оценкой эффективности применения современных зерноубо-

рочных комбайнов отечественного производства.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на основе статистических данных Госкомстата Российской Федерации, а также результатов протоколов испытаний зерноуборочных комбайнов системой МИС Минсельхоза России. Использовались методы статистической обработки данных и сравнительного анализа.

По данным Госкомстата, в 2018–2022 гг. наблюдался ежегодный рост удельного веса продукции растениеводства в общем объеме продукции сельского хозяйства в среднем на 1,6 п.п. В 2022 г. доля продукции растениеводства составила 57,8% (табл. 1).

За период с 2018 по 2022 г. отмечен рост доли зерновых и зернобобовых культур в продукции сельского хозяйства с 18,5% (в 2018 г.) до 24% (в 2022 г.). За анализируемый период при небольшом росте посевной площади зерновых и зернобобовых культур (на 2,5%) наблюдается значительный рост их валового сбора – на 39,1%. Это говорит о том, что в хозяйствах применяются интенсивные технологии возделывания зерновых и зернобобовых культур, основанные на оптимальном использовании удобрений, внедрении достижений селекции и сортообновления [3], обеспеченные современной высокопроизводительной сельскохозяйственной техникой.

Основными производителями зерновых и зернобобовых традиционно являются сельскохозяйственные организации, на долю которых приходится более 63% посевных площадей этих культур (табл. 2).

Таблица 1. Производство продукции растениеводства в 2018-2022 гг.

Показатели	Значение показателя по годам					Изменение показателя
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Удельный вес в общем объеме продукции сельского хозяйства, %:						
продукции растениеводства	51,5	52,7	55,8	57,7	57,8	6,3 п.п.
зерновых и зернобобовых культур	18,5	20,8	23,5	22,5	24	5,5 п.п.
Посевная площадь зерновых и зернобобовых культур, тыс. га	46 339	46 660	47 900	47 007	47 504	+2,5%
Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в весе после доработки, млн т	113,3	121,1	133,5	121,4	157,6	+39,1%

Таблица 2. Посевные площади зерновых и зернобобовых культур в 2018-2022 гг.

Посевные площади зерновых и зернобобовых культур		Сельско-хозяйственные организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства	Итого
	тыс. га	30250	428	15662	46340
	к итогу, %	65,3	0,9	33,8	100
2019 г.	тыс. га	30309	421	15930	46660
	к итогу, %	65	0,9	34,1	100
2020 г.	тыс. га	30783	438	16679	47900
	к итогу, %	64,3	0,9	34,8	100
2021 г.	тыс. га	30061	538	16409	47008
	к итогу, %	64	1,1	34,9	100
2022 г.	тыс. га	30347	588	16569	47504
	к итогу, %	63,9	1,2	34,9	100

Таблица 3. Состояние парка зерноуборочных комбайнов в сельскохозяйственных организациях

Показатели	Значение показателя по годам					Изменение показателя, %
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Наличие зерноуборочных комбайнов на конец года, тыс. шт.	56,9	55	53,9	52,6	52,3	-8,1
Приходится посевов зерновых и зернобобовых культур на один комбайн, га	424	427	451	449	460	+8,5
Приходится зерноуборочных комбайнов на 1000 га посевов зерновых и зернобобовых культур, шт.	2	2	2	2	2	0
Приобретено комбайнов к наличию на конец года, %	5,6	4,9	6,2	7,1	5,6	0
Списано комбайнов к наличию на начало года, %	4,8	4,4	4,7	4,4	3,2	-1,6 п.п.

Наряду с ростом в 2022 г. на 0,3% по сравнению с 2018 г. посевных площадей под зерновыми и зернобобовыми культурами в сельскохозяйственных организациях наблюдается снижение обеспеченности этой кате-

гории предприятий зерноуборочными комбайнами на 8,1%, нагрузка на один комбайн выросла на 8,5%. В 2022 г. на один зерноуборочный комбайн приходилось 460 га посевов зерновых и зернобобовых культур (табл. 3).

В период с 2018 по 2022 г. в среднем на 1000 га посевов приходилось 2 зерноуборочных комбайна. Высокие показатели по нагрузке на один комбайн свидетельствуют о том, что не выдерживаются оптимальные сроки уборочных работ, что приводит к дополнительным потерям зерна. Положительной тенденцией за указанный период является превышение приобретения комбайнов над их списанием, однако темпы обновления пока недостаточны. Необходим ежегодный показатель обновления не менее 10%. По данным за 2022 г., в хозяйствах всех категорий 45% зерноуборочных комбайнов выработали свой технический ресурс и находятся за пределами срока эксплуатации, дефицит составляет 37 тыс. шт.

При обновлении комбайнового парка хозяйств аграрии ориентируются, прежде всего, на имеющиеся у них трудовые, материальные и финансовые ресурсы. Поэтому из всех моделей зерноуборочных комбайнов, представленных на рынке сельскохозяйственной техники, их интересуют наиболее эффективные модели для конкретных агроклиматических, почвенных и ресурсных условий хозяйствования.

В настоящее время, в условиях ухода из России многих мировых лидеров по производству сельскохозяйственной техники наиболее востребованной и доступной для сельхозтоваропроизводителей является техника отечественного производства. Наиболее крупные предприятия, производящие зерноуборочные комбайны в России – ООО «КЗ «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону) и ЗАО СП «Брянсксельмаш» (г. Брянск).

Таблица 4. Общие сведения об испытанных зерноуборочных комбайнах

Марка комбайна	Место проведения испытаний
ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш»	
Nova 340	Поволжская МИС, Северо-Западная МИС
Vector 410	Центрально-Черноземная МИС, Алтайская МИС
Vector 450 Track	Алтайская МИС, Кубанская МИС
Acros-550	Алтайская МИС, Кубанская МИС
Acros-585	Алтайская МИС
Acros-595 Plus	Алтайская МИС
ЗАО СП «Брянсксельмаш»	
КЗС-10К	Центрально-Черноземная МИС
КЗС-812	Северо-Западная МИС



Рис. 1. Nova 340



Рис. 2. Vector 410



Рис. 3. Vector 450 Track



Рис. 4. Acros 550



Рис. 5. Acros-585



Рис. 6. Acros-595 Plus



Рис. 7. КЗС-10К



Рис. 8. КЗС-812

Наиболее полную и объективную оценку эффективности применения различной сельскохозяйственной техники дают государственные испытания, проводимые МИС системы Минсельхоза России. При проведении исследований были проанализированы 8 моделей зерноуборочных комбайнов отечественного производства (табл. 4), прошедших испытания на МИС и получивших положительные рекомендации по их результатам.

В исследуемых моделях зерноуборочных комбайнов (рис. 1-8, табл. 5) используется классическая однобарабанная схема молотильно-сепарирующего устройства (МСУ).

Отечественные зерноуборочные комбайны представлены широким модельным рядом (мощность двигателей от 180 до 330 л.с.) и применяются как для прямой, так и для раздельной уборки зерновых колосовых и других культур. С использованием специальных приспособлений могут убирать кукурузу на зерно, подсолнечник, зернобобовые, крупные культуры, семенники трав и рапс [7].

Зерноуборочные комбайны ЗАО СП «Брянсксельмаш» комплектуются жатками шириной захвата 5-7 м, а комбайны ООО «КЗ «Ростсельмаш» могут быть оборудованы более широкой линейкой жаток – шириной захвата 4-9 м.

При проведении испытаний зерноуборочные комбайны агрегатировались с жатками рабочей шириной захвата 5,6-6,8 м. В зависимости от сложившихся условий уборки и пропускной способности комбайнов рабочая скорость движения варьировалась от 3,8 до 7,7 км/ч. Высота среза пшеницы находилась на уровне 13-17,2 см.

Результаты исследований и обсуждение

Функциональные показатели, полученные по результатам проведенных испытаний зерноуборочных комбайнов на прямом комбайнировании пшеницы, приведены в табл. 6.

Таблица 5. Техническая характеристика зерноуборочных комбайнов

Показатели	Nova 340	Vector 410	Vector 450 Track	Acros-550	Acros-585	Acros-595 Plus	K3C-10K	K3C-812
Ширина: захвата жатки, м	4, 5, 6, 7	5, 6, 7, 9					6, 7	5, 6, 7
молотилки, мм	1200			1500			1200	
Диаметр молотильного барабана, мм	600	800						
Площадь, м²: подбарабанья	0,93	1,10		1,38			1,37	1,096
сепарации	4,34	5		6,15	6,15	6,30	6,15	4,92
общая очистки	3,59			4,95		5,20	5,00	3,86
Число клавиш соломотряса	4			5			5	4
Скорость выгрузки бункера, л/с	50			90			70	50
Вместимость, л: бункера	4 900	6 000		9 000			7 000	5 500
топливного бака	300	540		540			500	
Марка, мощность двигателя, кВт/л.с.	ЯМЗ-53425, 132/180	ЯМЗ-236НД-3, 154/210	ЯМЗ-236БК, 188/255	ЯМЗ-236БЕ2-36, 206/280	ЯМЗ-53645-10, 221/300	ЯМЗ-536, 243/330	ЯМЗ-236БЕ2-28, 184/250	ЯМЗ-236НЕ2, 169/230
Масса комбайна, кг	10 600	11 400	16 600	13 400	13 400	14 330	11 900	11 800

Таблица 6. Функциональные показатели работы зерноуборочных комбайнов

Показатели	Nova 340		Vector 410	Vector 450 Track	Acros-550
	Поволжская МИС	Северо-Западная МИС			
1	2	3	4	5	6
Марка жатки	Power Stream 600				Power Stream 700
Режим работы:					
скорость движения, км/ч	4,3	4,6	4,5	7,3	4,7
рабочая ширина захвата, м	5,8	5,7	5,7	5,7	6,8
высота среза, см	15	Н.д.	13,5	Н.д.	17,2
Производительность в час времени, га / т:					
основного	2,48/8,26	2,63/12,07	2,56/13,40	4,06/13,18	3,17/16,04
сменного	1,69/5,63	1,83/8,40	1,82/9,51	2,54/8,25	2,22/11,24
Удельный расход топлива, кг:					
на 1 га	6,96	8,77	10,96	6,83	17,90
на 1 т	2,12	1,91	2,10	2,10	3,53
Показатели качества выполнения технологического процесса					
Урожайность зерна, т/га	3,33	4,59	5,23	3,25	5,06
Суммарные потери зерна за комбайном, %	1,12	1,68	1,23	0,63	1,28
В том числе:					
за молотилкой	0,80	1,05	1,08	Н.д.	0,88
за жаткой	0,32	0,63	0,15	Н.д.	0,40
Дробление зерна, %	1,94	0,03	1,47	1,12	0,80
Содержание сорной примеси, %	0,51	0,03	0,59	0,32	0,10
Эксплуатационно-технологические коэффициенты					
Надежности технологического процесса	0,99	1	Н.д.	0,99	1
Использования сменного времени	0,68	0,70	0,71	0,63	0,70
Готовности	0,99	0,98	1	0,99	1

Продолжение табл. 6

Показатели	Acros-585	Acros-595 Plus	КЗС-10К		КЗС-812	
			Северо-Западная МИС	Центрально-Черноземная МИС	Северо-Западная МИС	Центрально-Черноземная МИС
1	7	8	9	10	11	12
Марка жатки	Power Stream 700		ЖЗК 6-6	ЖЗК 7-5	ЖЗК 6-5	
Режим работы:						
скорость движения, км/ч	6,5	3,8	7,7	4,1	6,9	6,8
рабочая ширина захвата, м	6,8	6,8	5,9	6,8	5,7	5,8
высота среза, см	15,5	15,2	Н.д.	12,9	Н.д.	14
Производительность в час времени, га / т:						
основного	4,45/25,41	2,6/20,02	4,47/19,61	2,75/15,9	3,61/14,13	3,94/12,05
сменного	3,08/17,58	1,90/14,64	2,81/12,35	2,02/11,65	2,45/9,59	3,02/8,43
Удельный расход топлива, кг:						
на 1 га	10,8	11	7,24	10,22	8,37	8,1
на 1 т	1,4	1,43	1,65	1,77	2,14	2,65
<i>Показатели качества выполнения технологического процесса</i>						
Урожайность зерна, т/га	6,78	7,70	4,39	5,77	3,91	2,65
Суммарные потери зерна за комбайном, %	1,26	0,65	1,59	1,19	1,06	1,48
В том числе:						
за молотилкой	1,11	0,52	1,33	1,03	0,53	1,12
за жаткой	0,15	0,13	0,21	0,16	0,5	0,35
Дробление зерна, %	1,1	1,1	0,45	1,92	0,33	1,32
Содержание сорной примеси, %	0,8	0,7	0,69	0,52	0,22	1,60
<i>Эксплуатационно-технологические коэффициенты</i>						
Надежности технологического процесса	1	1	1	Н.д.	1	Н.д.
Использования сменного времени	0,69	0,73	0,63	0,73	0,68	0,7
Готовности	Н.д.	Н.д.	0,99	0,99	0,99	Н.д.

Несмотря на различные почвенно-климатические условия уборки, урожайность зерна и зоны проведения испытаний, установлено, что с увеличением мощности двигателей увеличивается и производительность зерноуборочных комбайнов. Что касается удельного расхода топлива за время сменной работы, то здесь отмечен значительный разброс. Максимальный расход – у комбайна Acros-550 (3,53 кг/т), минимальный – у Acros-585 и Acros-595 Plus (1,4-1,43 кг/т). По остальным комбайнам он колеблется от 1,65 до 2,65 кг/т.

Отечественные агротехнические требования устанавливают следующие допустимые нормативы, согласно СТО АИСТ 8.22-2010, по качеству уборки зерновых культур: суммарные потери зерна, дробление зерна и содержание сорной примеси – не более 2%. Минимальные результаты по сум-

марным потерям отмечены у комбайнов Vector 450 Track и Acros-595 Plus (по 0,63%), у остальных комбайнов они находятся в пределах 1,05-1,68%, что соответствует нормативным требованиям.

Самый низкий уровень дробления отмечен у комбайнов Nova 340 (0,03%) и КЗС-812 (0,33%), у остальных комбайнов дробление также соответствует требованиям и варьируется от 0,45 до 1,94%. Наилучшие показатели по содержанию сорной примеси получены по комбайнам Nova 340 (0,03%) и Acros-550 (0,1%), по остальным комбайнам показатель не превышает агротехнические требования и колеблется в пределах 0,22-1,6%.

Полученные результаты учитывались при дальнейшей экономической оценке эффективности зерноуборочных комбайнов, которая проведена в соответствии с межгосударствен-

ным стандартом ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» на площадь 1000 га, агросрок 14 дней, продолжительность работы в день – 14 ч, цена на технику указана без НДС. Урожайность озимой пшеницы при проведении испытаний комбайнов была различной, поэтому для сопоставимости часть показателей экономической оценки приведена на 1 т продукции.

Для выполнения сравнительного анализа показателей экономической оценки работы зерноуборочных комбайнов на прямом комбайнировании пшеницы они были разбиты на два класса по ширине захвата жатки при испытаниях – 6 и 7 м. Зерноуборочные комбайны, испытанные с жатками 6 м, разбиты на два подкласса по урожайности пшеницы – до 4 и свыше 4 т/га, комбайны с жатками 7 м – до 6 и свыше 6 т/га.

Из трех моделей испытанных комбайнов: Nova 340, Vector 450 Track и КЗС-12 наименьшая потребность в технике и обслуживающем персонале в расчете на 1000 га наблюдается при применении комбайнов Vector 450 Track и КЗС-812 – 2 комбайна и 2 механизатора (табл. 7).

При применении КЗС-812 + ЖЗК-6-5 величина капиталовложений в необходимое количество техники наименьшая и составляет 19,23 млн руб. При использовании двух других уборочных агрегатов необходимых капитальных вложений требуется больше: для Nova 340 + Power Stream 600 – на 9,9 млн руб., или 51,5%, для Vector 450 Track + Power Stream 600 – на 13,01 млн руб., или 67,7%.

Наименьший расход топлива на 1 т продукции получен при работе Vector 450 Track (2,1 кг/т). При работе двух других комбайнов расход топлива выше: для Nova 340 – на 1%, для КЗС-812 – на 1,9-26,2%.

При работе комбайна КЗС-812 получены минимальные эксплуатационные затраты в размере 821-1109 руб/т, Vector 450 Track – 1165 руб/т, максимальные – у Nova 340 (1265 руб/т). По совокупным затратам картина аналогичная: минимальные – при работе КЗС-812 (992-1408 руб/т) и Vector 450 Track (1331 руб/т), максимальные – у Nova 340 (1557 руб/т).

Таким образом, при урожайности пшеницы до 4 т/га наиболее эффективными в применении являются зерноуборочные комбайны КЗС-812 и Vector 450 Track с жатками 6 м. Из трех моделей зерноуборочных комбайнов, испытанных на пшенице с урожайностью выше 4 т/га, наиболее эффективным по всем показателям экономической оценки является КЗС-10К (табл. 8).

Из двух моделей зерноуборочных комбайнов с жатками шириной захвата 7 м, испытанных на прямом комбайнировании пшеницы с урожайностью до 6 т/га, наиболее эффективным по всем показателям экономической оценки является КЗС-10К (табл. 9).

Таблица 7. Экономическая оценка работы зерноуборочных комбайнов с жатками шириной захвата 6 м (урожайность пшеницы до 4 т/га)

Показатели	Nova 340	Vector 450 Track	КЗС-812	
	Поволжская МИС		Северо- Западная МИС	Центрально- Черноземная МИС
В расчете на 1000 га				
Потребность:				
в комбайнах, шт.	3	2	2	2
механизаторах, человек	3	2	2	2
капитальных вложениях, тыс. руб.	29,13	32,24	19,23	19,23
В расчете на 1 т продукции				
Затраты труда, чел.-ч	0,178	0,120	0,105	0,125
Расход топлива, кг	2,12	2,10	2,14	2,65
Затраты денежных средств, руб.:				
эксплуатационные	1 265	1 165	821	1 109
совокупные	1 557	1 331	992	1 408

Таблица 8. Экономическая оценка работы зерноуборочных комбайнов с жатками шириной захвата 6 м (урожайность пшеницы свыше 4 т/га)

Показатели	Nova 340	Vector 410	КЗС-10К
	Северо-Западная МИС		
В расчете на 1000 га			
Потребность:			
в комбайнах, шт.	3	3	2
механизаторах, человек	3	3	2
капитальных вложениях, тыс. руб.	29,13	34,2	22,33
В расчете на 1 т продукции			
Затраты труда, чел.-ч	0,12	0,105	0,082
Расход топлива, кг	1,91	2,10	1,65
Затраты денежных средств, руб.:			
эксплуатационные	898	914	643
совокупные	1 135	1 190	897

Таблица 9. Экономическая оценка работы зерноуборочных комбайнов с жатками шириной захвата 7 м (урожайность пшеницы до 6 т/га)

Показатели	Acros-550	КЗС-10К
<i>В расчете на 1000 га</i>		
Потребность:		
в комбайнах, шт.	3	3
механизаторах, человек	3	3
капитальных вложений, тыс. руб.	41,49	34,48
<i>В расчете на 1 т продукции</i>		
Затраты труда, чел.-ч	0,089	0,087
Расход топлива, кг	3,53	1,77
Затраты денежных средств, руб.:		
эксплуатационные	997	813
совокупные	1233	1114

Таблица 10. Экономическая оценка работы зерноуборочных комбайнов с жатками шириной захвата 7 м (урожайность пшеницы выше 6 т/га)

Показатели	Acros-585	Acros-595 Plus
<i>В расчете на 1000 га</i>		
Потребность:		
в комбайнах, шт.	2	3
механизаторах, человек	2	3
капитальных вложений, тыс. руб.	29,70	48,24
<i>В расчете на 1 т продукции</i>		
Затраты труда, чел.-ч	0,047	0,069
Расход топлива, кг	1,40	1,43
Затраты денежных средств, руб.:		
эксплуатационные	532	768
совокупные	785	936

Из двух моделей зерноуборочных комбайнов с жатками шириной захвата 7 м, испытанных на прямом комбайнировании пшеницы с урожайностью выше 6 т/га, наиболее эффективным по всем показателям экономической оценки является Acros-585 (табл. 10).

Выводы

1. Проведенная оценка эффективности применения новых моделей зерноуборочных комбайнов: Nova 340, Vector 410, Vector 450 Track, Acros-550, Acros-585, Acros-595 Plus, КЗС-8, КЗС-10К показала, что все комбайны обладают высоким техническим уровнем и вписываемостью в современные технологии уборки пшеницы.

2. Результаты экономической оценки позволили дать следующие рекомендации для предприятий АПК Российской Федерации по применению современных моделей комбайнов отечественного производства на прямом комбайнировании пшеницы:

- при урожайности пшеницы до 4 т/га рекомендуется приобретать зерноуборочный комбайн типа КЗС-812, позволяющий снизить потребность в капитальных вложениях на 34% по сравнению с более дорогостоящим комбайном типа Nova-304; при условиях повышенной влажности почвы и для районов Дальнего Востока – зерноуборочный комбайн Vector 450 Track на гусеничном ходу;

- при урожайности пшеницы 4-6 т/га – зерноуборочный комбайн КЗС-10К, позволяющий снизить потребность в капитальных вложениях на 11,9-34,7%, совокупные затраты денежных средств – на 9,7-24,6% по сравнению с зерноуборочными комбайнами типа Nova-304, Vector 410 и Acros-550;

- при урожайности пшеницы выше 6 т/га – наиболее эффективный высокопроизводительный комбайн Acros-585.

Список

использованных источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Собрание законо-

дательства Российской Федерации. 2016. № 49. Ст. 6887.

2. **Леднева О.В.** Региональная дифференциация технологичности сельского хозяйства на примере внесения удобрений и наличия сельскохозяйственной техники // Менеджмент в АПК. 2022. № 2. С. 14-20. DOI: 10.35244/2782-3776-2022-2-2-14-20.

3. **Писарева Л.В., Аржанцев С.А., Бондаренко Т.Г.** Эффективность производства зерна в России // Экономика, труд, управление в сел. хоз-ве. 2021. № 10 (79). С. 142-151. DOI: 10.33938/2110-142.

4. **Козлов М.П.** Основные направления эффективного функционирования зернового производства в современных условиях // Экономика, труд, управление в сел. хоз-ве. 2019. № 9 (54). С. 63-70. DOI: 10.33938/199-63.

5. **Михальцов Е.М., Кем А.А., Доманский Р.В., Шмидт А.Н.** О соответствии производительности отечественных зерноуборочных комбайнов и урожайности зерновых и зернобобовых культур в России // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 23-28. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-23-28.

6. **Петухов Д.А., Свиридова С.А., Кравцова И.А.** Исследование потребительских свойств зерноуборочных комбайнов с различными типами молотильно-сепарирующих устройств // Техника и оборудование для села. 2019. № 7(265). С. 43-48. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-7-43-48.

7. **Гольяпин В.Я., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Коломейченко А.В., Левшин А.Г.** Сельскохозяйственная техника. Зерноуборочные комбайны: кат. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 164 с.

Evaluation of Modern Domestically Produced Harvester-threshers With a Single-drum Threshing and Separating Unit Design

S.A. Sviridova, D.A. Petukhov, Yu.A. Yuzenko

(Novokubansk branch of FGBNU "Rosinformagrotech" [KubNIITIM])

S.A. Vasiliev

(Nizhny Novgorod State Engineering and Economics University)

Summary. The current state of the grain production sub-sector is analyzed. Brief technical characteristics and the functional operational features of modern models of domestically produced harvester-threshers with a classic single-drum threshing and separating unit design are given. The quality of the harvesting process has been assessed and the recommendations on the efficiency of using combine harvesters were given.

Key words: crop production, the area under crops, harvester thresher, harvesting, indicator, productivity, quality, efficiency.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем вас принять участие в работе
XVI Международной научно-практической конференции
«Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК»
(ИнформАгро-2024), которая состоится 6 июня 2024 г.

К участию в конференции приглашаются российские и зарубежные ученые, сотрудники научных учреждений, преподаватели и аспиранты высших учебных заведений, представители производственных организаций

В работе конференции предусмотрены секции:

1. Инновационные технологии селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур;
2. Природоподобные технологии и технические средства для агропромышленного производства;
3. Новые проектные и наукоемкие инженерные решения при проектировании и строительстве объектов предприятий АПК;
4. Информационные технологии в сфере сельского хозяйства;
5. Социально-экономические вопросы инновационного развития сельских территорий;
6. Формирование кадрового потенциала национального агропромышленного комплекса: опыт и перспективы.

Материалы конференции будут включены
в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

С более подробной информацией можно ознакомиться на сайте:
rosinformagrotech.ru

Телефон для справок: 8 (495) 594-99-73

E-mail: **inform-iko@mail.ru**