

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

Техническая политика в АПК

Лобачевский Я.П., Шемякин А.В., Лимаренко Н.В., Успенский И.А.,
Юхин И.А., Митрохин С.В. SWOT-анализ цифровых платформ повышения
эффективности обращения с отходами агропромышленного комплекса..... 2

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

Трактор Ростсельмаш 2400: новый вид и широкий функционал..... 12
Смелик В.А., Захаров А.М., Перекопский А.Н. Построение цифрового двойника
зерновой сушилки методами статистической идентификации 14

Технологии, машины и оборудование для АПК

Рыжков Д.В., Неменуца Л.А., Щеголихина Т.А., Любовецкая А.А.
Технологическое обеспечение повышения плодородия почвы в органическом
земледелии..... 19
Негреба О.Н., Белик М.А., Юрина Т.А. Результаты применения биокомплекса
АгроМаксимум Антистресс + Защита на сое в условиях Краснодарского края..... 24
Новиков Э.В., Соловьев С.В., Романенко В.Ю., Королева Е.Н. Обоснование
эффективности переработки льнотресты различного качества в модернизированной
машине МТОФ-1М 27
Белов А.А. Влияние микроволновой обработки на питательные факторы соевых
бобов 32
Алатырев А.С., Кручинкина И.С., Алатырев С.С. Обоснование жесткости
блока уравнивающих пружин копирующего устройства многовариантного
капустоуборочного комбайна 36

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

Лансберг А.А., Виноградов А.В. Разработка физической модели сельской
электрической сети 0,4 кВ 39

Аграрная экономика

Юрина Т.А., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Трубицын Н.В., Дулясова М.В.
Проблемы отказа от глубокого рыхления почвы и экономическая эффективность
технических средств для разуплотнения подпахотного горизонта..... 44

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 21.08.24 Заказ 129

УДК 636.08

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-2-10

SWOT-анализ цифровых платформ повышения эффективности обращения с отходами агропромышленного комплекса

Я.П. Лобачевский,

акад. РАН, д-р техн. наук, проф.,
академик-секретарь Отделения с.-х. наук РАН; зам. директора,
lobachevsky@yandex.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

А.В. Шемякин,

д-р техн. наук, проф., проф. кафедры,
shem.alex62@yandex.ru

Н.В. Лимаренко,

д-р техн. наук, доц., проф. кафедры
(ФГБОУ ВО «Донской ГТУ»),
limarenkodstu@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Костычева»);

И.А. Успенский,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
ivan.uspensckij@yandex.ru

И.А. Юхин,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
ivan.uspensckij@yandex.ru

С.В. Митрохин,

аспирант,
serg.m1trohin@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Костычева»)

Постановка проблемы

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 23 ноября 2023 г. № 3309-р, к 2030 г. необходимо осуществить трансформацию АПК до модели AGRICULTURE 4.0. Это приведёт к переходу на новый технологический уклад в управлении ресурсами и процессами агропромышленного комплекса [1-4]. Предполагается несколько этапов данной трансформации, индикатором которой будет выступать число интегрированных цифровых решений в АПК. К 2026 г. данный показатель должен достигнуть 50%, в 2027 г. – 75, а в 2028 г. – 95%¹.

Основываясь на экспертной оценке, а также результатах исследований [4-7], установлено, что одним из эффектов перехода на новый технологический уклад станет изменение в составляющих формирования стоимости продукции АПК. Объяснить данное явление можно растущей потребительской способностью населения, увеличением деградированных посевных площадей, а также ежегодно увеличивающейся зависимостью эффективности АПК от технологий. В результате проявляется смещение надбавочной стоимости продукции АПК в наукоёмкие секторы экономики, наиболее динамично развивающиеся и осваивающие новые сегменты рынка, которыми являются информационные технологии. Внедрение информационных технологий в АПК проявляется созданием интеллектуализированных цифровых решений, направленных на повышение производительности труда при параллельном снижении удельных затрат.

Известно, что порядка 30% продукции АПК не подвергается утилизации с целью получения продуктов с высокой надбавочной стоимостью, что приводит к ежегодным убыткам, превышающим 1 млрд руб. Перспективным решением данной проблемы является создание и внедрение цифровых платформ, учитывающих специфику отходов региона, их образования и выбор наиболее приоритетного направления их использования. Особое внимание следует уделить адаптированности данных решений под цифровизацию операций, связанных с обеззараживанием и утилизацией бесподстилочного навоза.

Данная задача становится значимой в свете растущих требований экологической безопасности и необходимости сокращения негативного воздействия на окружающую среду. Цифровизация процессов позволяет не только оптимизировать их с экономической точки зрения, но и повысить контроль соблюдения экологических стандартов.

Аннотация. Описана суть SWOT-анализа, выбраны 32 метрики оценки цифровых платформ повышения эффективности обращения с отходами АПК. Приведена последовательность совместного применения SWOT-анализа с функцией желательности Харрингтона. В качестве объектов сравнения выбрано 8 цифровых платформ, среди которых 2 – Российского происхождения. Доказана перспективность совместного использования SWOT-анализа и функции желательности Харрингтона при комплексной оценке и выявлении метрик, определяющих приоритетные направления развития. Определены ключевые проблемы и возможности цифровой трансформации АПК. Выделены составляющие архитектуры цифровых платформ, позволяющие повысить эффективность их внедрения.

Ключевые слова: цифровая трансформация АПК, цифровые платформы, SWOT-анализ, нечёткие математические модели, функция желательности Харрингтона.

Исследование выполнено в рамках Госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на тему: «Разработка цифровой платформы повышения энергетической эффективности при обеззараживании бесподстилочного навоза»

¹ Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.

Согласно работам [8-10], объёмы образования бесподстилочного навоза превышают 60 млн т ежегодно, при том что объём эффективного его использования не превышает 25-30%. Применение цифровых технологий в данном секторе потенциально позволит увеличить долю эффективного использования до 50-70%, что эквивалентно экономической выгоде в размере 2-3 млрд руб. в год. Кроме того, практический опыт внедрения цифровых продуктов позволил обосновать [11-15] заключение, что цифровизация способствует сокращению временных затрат на обработку и анализ данных и, как следствие, принятию оперативных и обоснованных решений.

Цифровые технологии, такие как Internet of Things (IoT), Big Data и искусственный интеллект (AI), позволяют не только отслеживать и контролировать процесс обработки навоза в реальном времени, но и прогнозировать наиболее эффективные способы его использования. Внедрение цифровых технологий обеспечивает прозрачность и отчётность всех процессов, что крайне важно для соблюдения нормативных требований. Для государственных органов это предоставляет возможность более эффективного регулирования отрасли, включая налогообложение и субсидирование.

Цифровизация процессов обеззараживания и утилизации бесподстилочного навоза является экономически оправданным шагом, а также необходимым условием достижения экологической устойчивости и соблюдения международных стандартов. Исходя из этого, анализ, разработка и внедрение существующих цифровых решений являются актуальным и значимым направлением науки и техники.

Цель исследования – провести анализ существующих цифровых решений, повышающих эффективность обращения с отходами животноводства.

Материалы и методы исследования

Согласно исследованиям [16-18], наиболее предпочтительным инструментом, позволяющим проанализировать перспективность внедрения и использования цифровых платформ повышения эффективности обращения с отходами агропромышленного комплекса, является *SWOT*-анализ (Strengths – достоинства, Weaknesses – недостатки, Opportunities – возможности, Threats – угрозы), который представляет собой стратегический планировочный инструмент, используемый для оценки сильных и слабых сторон, возможностей и угроз, связанных с тем или иным

техническим решением в условиях созданного контекста. Результатом *SWOT*-анализа является визуализация внутренних и внешних факторов, способных оказывать влияние на результаты внедрения решения. На рис. 1 представлен пример карты *SWOT*-анализа.

На основании проведённого анализа практического опыта, интервьюирования сельхозтоваропроизводителей были выявлены следующие зарубежные и отечественные цифровые платформы, способные повысить эффективность обращения с отходами АПК: DelPro², DairyPlan³, AfiMilkTM⁴, Milkline Dataflow⁵, Lely T4C (Horizon)⁶, Unitrack⁷, линейка продуктов на базе цифровой платформы АИС «Отходы»⁸, автоматизированная информационная система управления отходами группы компаний «Эттон»⁹.

Наиболее представительные метрики *SWOT*-анализа для выбранных цифровых платформ представлены в табл. 1. Также приведена предлагаемая нумерация метрик (*1), необходимая для проведения *SWOT*-анализа и составления итоговой таблицы.

После выбора метрик и проведения анализа составляется обобщающая таблица, а по результату подсчёта признаков каждой категории строится карта *SWOT*-анализа. Критериями интерпретации перспективности сравниваемых решений при проведении *SWOT*-анализа является максимизация *S* (сильные стороны) и *O* (Возможности) признаков и минимизация *W* (слабые стороны) и *T* (угрозы) признаков.

Путём семантического описания преимуществ, недостатков, угроз и возможностей цифровых решений осуществляется их ранжирование. Ввиду того, что в большинстве случаев выделенные составляющие затруднительно привести к единообразной оценочной шкале, рациональным является использование математических инструментов нечёткого моделирования [19-22].

Одним из перспективных инструментов данной категории является функция желательности Харрингтона, что подтверждается достаточно широкой областью применения данного инструмента [20, 23]. Подробно алгоритм использования метода функции желательности Харрингтона описан в работах [20, 23]. Также следует отметить, что данный метод эффективно интегрируется в *SWOT*-анализ цифровых платформ повышения эффективности с отходами агропромышленного комплекса, так как позволяет количественно оценить каждый из аспектов *SWOT* и сбалансировать их для принятия обоснованных управленческих решений.

Обобщённо алгоритм использования функции желательности в данном контексте можно описать следующим обра-

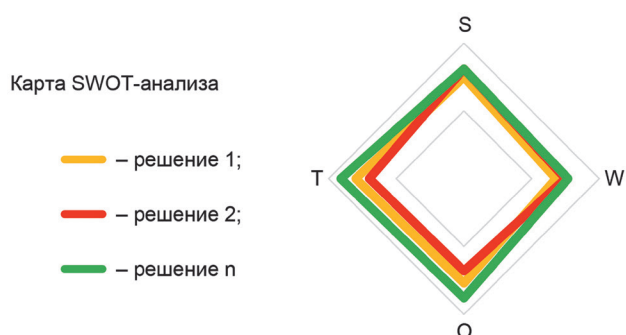


Рис. 1. Пример карты *SWOT*-анализа

² <https://aviprime.by/katalog/oborudovanie/upravlenie-stadom-oborudovanie/delaval-delpro-farm-manager-upravlenie-fermoj/>

³ <https://www.gea.com/ru/products/milking-farming-barn/gea-herd-management/herd20managementdairyplanc21/>

⁴ <https://www.afimilk.com/>

⁵ <https://www.milkline.com/ru/71-sistema-upravleniya-stadom-dataflow-ii>

⁶ <https://www.lely.com/ru/solutions/farm-management/horizon>

⁷ <https://www.sacmilking.ru/collection/programmy-upravleniya-stadom-i-otslezhivanie-aktivnosti/product/programma-upravleniya-stadom-unitrack>

⁸ <https://it.reo.ru/solutions/obrashchenie-s-tko/248/>

⁹ <https://tko.etton.ru/>

Таблица 1. Метрики SWOT-анализа для оценки цифровых платформ

№	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
1	Комплексность решения в части управления ресурсами фермы / животноводческого комплекса	Сложность массового внедрения, связанная с необходимостью повышения квалификации персонала и ростом вычислительных мощностей его гаджетов	Интеграция с уже используемым специфическим оборудованием хозяйств	Зависимость точности мониторинга и анализа данных от технологических сбоев
(*1)		(*9)	(*17)	(*25)
2	Обширный функционал в части контроля состояния животных	Зависимость достоверности данных от качества используемых сенсоров и оборудования	Расширение функционала и автоматизированных сценариев с развитием IoT и AI-технологий	Необходимость защиты персональных данных хозяйств
(*2)		(*10)	(*18)	(*26)
3	Наличие аналитических модулей	Значительные капиталовложения для внедрения	Повышение точности предиктивных прогнозов за счёт дообучения имеющихся моделей	Конкуренция на рынке программного обеспечения для животноводства
(*3)		(*11)	(*19)	(*27)
4	Кроссплатформенность интерфейса	Ограниченный функционал относительно аналогичных цифровых решений	Возможность оптимизации энергетических затрат операционных воздействий на основе предиктивной аналитики	Высокая стоимость обновлений и дополнительных модулей
(*4)		(*12)	(*20)	(*28)
5	Наличие кастомизированной базы данных	Отсутствие возможности кастомизации платформы	Модульность цифровых платформ, позволяющая добавлять новые функции без изменения архитектуры стека	Зависимость от технического обслуживания и поддержки производителя
(*5)		(*13)	(*21)	(*29)
6	Комплексный подход к управлению отходами, включающий инфраструктуру, транспортировку, а также контроль доходов	Необходимость доступа хозяйства к высокоскоростному интернету	Адаптивность цифровых платформ под различные масштабы животноводства	Технические неполадки или ограничения в функционале могут снизить доверие пользователей
(*6)		(*14)	(*22)	(*30)
7	Цифровизация документооборота и гибкая кастомизация форм	Отсутствие возможности интеграции платформы в мессенджеры (VK-мессенджер, Telegram и т.п.)	Возможности масштабирования рынка сбыта, основанные на совершенствовании законодательства и нормативных документов в области экологической безопасности	Издержки, связанные с изменением в законодательстве и требующие дополнительных модификаций программных продуктов
(*7)		(*15)	(*23)	(*31)
8	Интеграция с навигационно-спутниковым оборудованием	Низкий уровень поддержки пользователей	Потенциал создания цифровой экосистемы, основанный на принципах Unit-цифровизации	Издержки, связанные с необходимостью обновлений и поддержки для соответствия изменяющимся технологическим требованиям
(*8)		(*16)	(*24)	(*32)

зом. Выбор ключевых показателей оценки каждого аспекта SWOT (сильные стороны, слабые стороны, возможности и угрозы) осуществляется с помощью цифровых платформ. В качестве сильных сторон выделены признаки, определяющие функционал и уровень адаптивности решения под специфику объекта [23]. В качестве слабых – признаки, характеризующие капиталовложения, необходимые для переоснащения хозяйства. Возможности – признаки, определяющие интеллектуализацию и автоматизацию оптимизации удельных энергетических затрат. Угрозы – признаки, характеризующие технические и юридические ограничения внедрения цифровых решений.

Далее каждый параметр оценивается экспертами по шкале, например, от 0 до 10, где 0 – абсолютно нежелательное значение, а 10 – идеальное. Осуществляется установка граничных условий желательности и создание соответству-

ющей шкалы. На рис. 2 представлена шкала желательности, соответствующая метрикам данного исследования.

Оценки желательности интегрируются для получения общего показателя желательности для каждого аспекта SWOT. Для преобразования частного параметра y в кодированный y' необходимо использовать формулу

$$y' = b_0 + b_1 + b_2 y^2, \tag{1}$$

$$\text{где } y' = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d}},$$

далее в соответствии с принятой шкалой осуществляется выбор уровня желательности частного параметра, например, $d_1 = 0,8$; $d_2 = 0,63$; $d_3 = 0,37$ и соответствующие им значения оценок y_n (например, $y_1 = 1,2$; $y_2 = 1,0$; $y_3 = 0,8$), соответствующие каждой метрике. Затем производится подстановка значений d_i и y_i в формулу (1), в результате получается система уравнений, позволяющая определить оценки коэффициентов b_0 , b_1 , b_2 , необходимые для построения нечёткой модели функции:

Низкая	Ниже среднего	Средняя	Выше среднего	Высокая
0,00...0,20	0,21...0,40	0,41...0,60	0,61...0,82	0,83...1,00

Рис. 2. Шкала желательности

$$\begin{cases} b_0 + 1,2b_1 + (1,2)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,83}}, \\ b_0 + 1,0b_1 + (1,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,61}}, \\ b_0 + 0,8b_1 + (0,8)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,41}}. \end{cases} \quad (2)$$

Полученную систему уравнений наиболее рационально решить матричным методом, тогда найденные определители составят оценки коэффициентов b_0 , b_1 , b_2 квадратичной функции (1). В результате получим нечёткую модель, позволяющую определить кодированное значение частного параметра y . Общий вид обобщённой функции желательности будет следующим:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot \dots \cdot d_n}. \quad (3)$$

Проанализировав общие показатели желательности каждого из аспектов *SWOT* с целью определения наиболее важных направлений для развития и улучшения платформы, можно принять наиболее рациональное управленческое решение в части создания архитектуры реализуемой цифровой платформы.

Результаты исследований и обсуждение

Основываясь на выбранных метриках, в табл. 2 представлены результаты *SWOT*-анализа цифровых платформ, интеллектуализирующих процесс утилизации отходов АПК в целом и бесподстилочного навоза, в частности.

На основании проведённого *SWOT*-анализа цифровых платформ, интеллектуализирующих процесс утилизации отходов АПК, можно сделать вывод, что унифицированные решения в данной области в настоящее время отсутствуют. Значительными факторами, сдерживающими внедрение цифровых решений в область утилизации отходов, являются необходимость дооснащения хозяйств персональными компьютерами и высокоскоростными каналами передачи данных, зависимость достоверности данных от качества используемых сенсоров и оборудования, низкий уровень поддержки пользователей, а также отсутствие возможности интеграции платформы в мессенджеры (VK, Telegram и т.п.). На рис. 3 представлена карта *SWOT*-анализа цифровых платформ.

Как показали результаты *SWOT*-анализа цифровых платформ, наиболее перспективными решениями с точки зрения *S*, *O* и *T*-признаков являются АИС управления отходами ГК «Эттон» и АИС «Отходы» российского происхождения.

Таблица 2. Результаты *SWOT*-анализа цифровых платформ

№	Цифровая платформа	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
1	DelPro	(*2), (*3)	(*9), (*14-16)	(*17), (*18), (*23)	(*25-32)
2	DairyPlan	(*1-3), (*8)	(*9-11), (*14-16)	(*17-19), (*21), (*23)	(*25-32)
3	AfiMilkTM	(*1-3), (*8)	(*9), (*14-16)	(*17), (*18), (*23)	(*25-32)
4	Milkline Dataflow	(*1-3), (*8)	(*9), (*10), (*14-16)	(*20-23)	(*25-32)
5	Lely T4C (Horizon)	(*1-3)	(*9), (*10), (*14-16)	(*17-19), (*21), (*23)	(*25-32)
6	Unitrack	(*1-3), (*6), (*8)	(*9), (*10), (*14-16)	(*17-19), (*23)	(*25-32)
7	АИС «Отходы»	(*1), (*3-8)	(*10), (*14-16)	(*17-24)	(*25-27), (*32)
8	АИС управления отходами ГК «Эттон»	(*1), (*3-8)	(*14-16)	(*17-20), (*22-24)	(*25-27), (*31), (*32)

Однако данные продукты обладают достаточно низкой адаптивностью решений в текущих условиях отрасли.

В табл. 3-6 представлено распределение цифровых платформ по *S*, *W*, *O* и *T*-признакам в соответствии со шкалой желательности Харрингтона. Данное распределение носит качественный характер и основывается на совмещении метрик *SWOT*-анализа. Для количественной оценки выбранных признаков необходимо принять соответствие натуральных и кодированных переменных желательности сравниваемых цифровых платформ.

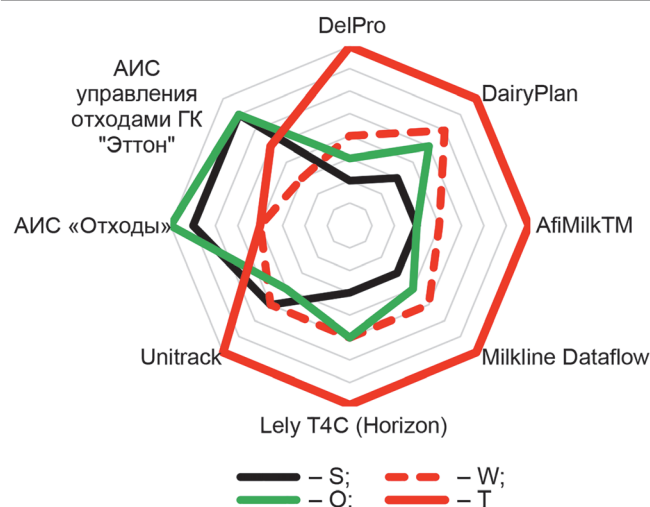


Рис. 3. Карта *SWOT*-анализа цифровых платформ

Таблица 3. *S*-признаки сравниваемых цифровых платформ

№	Желательность d		Цифровая платформа						
			DelPro	DairyPlan	AfiMilkTM	Milkline Dataflow	Lely T4C (Horizon)	Unitrack	АИС «Отходы» АИС управления отходами ГК «Эттон»
1	Низкая	0,00...0,20				+			
2	Ниже среднего	0,21...0,40	+	+	+				
3	Средняя	0,41...0,60				+	+		
4	Выше среднего	0,61...0,82						+	
5	Высокая	0,83...1,00							+

Таблица 4. W-признаки сравниваемых цифровых платформ

№	Желательность d		Цифровая платформа						
			DelPro	DairyPlan	AfiMilkTM	Milkline Dataflow	Lely T4C (Horizon)	Unitrack	АИС «Отходы»
1	Низкая	0,00...0,20							
2	Ниже среднего	0,21...0,40							
3	Средняя	0,41...0,60		+					
4	Выше среднего	0,61...0,82	+		+	+	+	+	
5	Высокая	0,83...1,00							+

Таблица 5. O-признаки сравниваемых цифровых платформ

№	Желательность d		Цифровая платформа						
			DelPro	DairyPlan	AfiMilkTM	Milkline Dataflow	Lely T4C (Horizon)	Unitrack	АИС «Отходы»
1	Низкая	0,00 ...0,20			+				
2	Ниже среднего	0,21...0,40	+						
3	Средняя	0,41...0,60				+		+	
4	Выше среднего	0,61...0,82		+			+		
5	Высокая	0,83...1,00							+

Таблица 6. T-признаки сравниваемых цифровых платформ

№	Желательность d		Цифровая платформа						
			DelPro	DairyPlan	AfiMilkTM	Milkline Dataflow	Lely T4C (Horizon)	Unitrack	АИС «Отходы»
1	Низкая	0,00 ...0,20		+				+	
2	Ниже среднего	0,21...0,40	+						
3	Средняя	0,41...0,60			+	+	+		
4	Выше среднего	0,61...0,82							+
5	Высокая	0,83...1,00							+

Таблица 7. Соответствие натуральных и кодированных переменных желательности сравниваемых цифровых платформ

№	Пара-метр y_i	Желательность d_i	Наименования цифровых платформ
1	y_s	$d_1 = 0,83$ $x_{s1} = 6$	АИС управления отходами ГК «Эттон», АИС «Отходы»
		$d_2 = 0,61$ $x_{s2} = 1$	Unitrack
		$d_3 \leq 0,41$ $x_{s3} = 2$	DairyPlan, AfiMilkTM, Milkline Dataflow, Lely T4C (Horizon), DelPro
2	y_w	$d_1 = 0,83$ $x_{w1} = 2$	АИС управления отходами ГК «Эттон»
		$d_2 = 0,61$ $x_{w2} = 3$	DelPro, AfiMilkTM, Milkline Dataflow, Lely T4C (Horizon), Unitrack, АИС «Отходы»
		$d_3 \leq 0,41$ $x_{w3} = 1$	DairyPlan
3	y_o	$d_1 = 0,83$ $x_{o1} = 8$	АИС управления отходами ГК «Эттон», АИС «Отходы»
		$d_2 = 0,61$ $x_{o2} = 5$	Lely T4C (Horizon), DairyPlan
		$d_3 \leq 0,41$ $x_{o3} = 2$	DelPro, AfiMilkTM, Milkline Dataflow, Unitrack
4	y_t	$d_1 = 0,83$ $x_{t1} = 0$	– " –
		$d_2 = 0,61$ $x_{t2} = 2$	АИС управления отходами ГК «Эттон», АИС «Отходы»
		$d_3 \leq 0,41$ $x_{t3} = 9$	Lely T4C (Horizon), DairyPlan, DelPro, DairyPlan, AfiMilkTM, Milkline, Dataflow, Lely T4C (Horizon), Unitrack

Методика определения натуральных переменных желательности состоит в следующем. Для признаков с высоким уровнем желательности подсчитывается число метрик, соответствующих выбранному продукту согласно табл. 2, данная оценка записывается в графу x_{it} . Для признаков с уровнем желательности выше среднего подсчитывается число метрик, соответствующих выбранному продукту согласно табл. 2, однако, если их количество превышает 8, их значение делится пополам. Натуральная оценка желательности S- и O-признаков при среднем уровне и ниже определяется делением количества метрик, приведённых в табл. 2, соответствующих сравниваемым объектам, пополам, для W- и T-признаков – умножением на два. Принципы определения данных оценок являются специфическими и требуют уточнения для каждой конкретной ситуации.

Общие закономерности методов экспертной оценки и методов нечётких множеств описаны в работах [20, 22]. Практика положительной апробации данной методологии в контексте исследования описана в работах [20, 23]. В табл. 7 представлены результаты принятия соответствия натуральных и кодированных переменных желательности сравниваемых цифровых платформ.

Подставляя d_i и x_i в уравнение (2), получим систему уравнений для определения коэффициентов b_0, b_1, b_2 для каждого из параметров сравнения S- признаков. Соответственно, для y_s система примет вид:

$$\begin{cases} b_0 + 14,0b_1 + (14,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,83}}, \\ b_0 + 5,0b_1 + (5,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,61}}, \\ b_0 + 3,5b_1 + (3,5)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,41}}. \end{cases} \quad (4)$$

Аналогичным образом запишем системы уравнений и для других признаков. Для W -признаков y_w система имеет вид

$$\begin{cases} b_0 + 4,0b_1 + (4,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,83}}, \\ b_0 + 3,0b_1 + (3,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,61}}, \\ b_0 + 11,5b_1 + (11,5)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,41}}. \end{cases} \quad (5)$$

Для O -признаков y_o :

$$\begin{cases} b_0 + 15,0b_1 + (15,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,83}}, \\ b_0 + 4,0b_1 + (4,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,61}}, \\ b_0 + 7,0b_1 + (7,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,41}}. \end{cases} \quad (6)$$

Для T -признаков y_t :

$$\begin{cases} b_0 + 0,0b_1 + (0,0)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,83}}, \\ b_0 + 4,5b_1 + (4,5)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,61}}, \\ b_0 + 96b_1 + (96)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,41}}. \end{cases} \quad (7)$$

Основываясь на методике, подробно описанной в работах [20, 23], в результате решения систем (4)-(7) методом Крамера были получены оценки коэффициентов. Решением системы уравнений (4) для S -признаков y_s является

$$\begin{cases} b_0 = -10,83 \\ b_1 = 0,85 \\ b_2 = -0,04 \end{cases} \quad y'_s = -10,83 + 0,85x - 0,04x^2. \quad (11)$$

Решение системы уравнений (5) для W -признаков y_w :

$$\begin{cases} b_0 = -30,70 \\ b_1 = 1,49 \\ b_2 = -0,10 \end{cases} \quad y'_w = -30,70 + 1,49x - 0,10x^2. \quad (12)$$

Решение системы уравнений (6) для O -признаков y_o :

$$\begin{cases} b_0 = 9,51 \\ b_1 = -0,69 \\ b_2 = 0,40 \end{cases} \quad y'_o = 9,51 - 0,69x + 0,40x^2. \quad (13)$$

Решение системы уравнений (7) для T -признаков y_t :

$$\begin{cases} b_0 = 3,46 \\ b_1 = -0,16 \\ b_2 = 0,002 \end{cases} \quad y'_t = 3,46 - 0,16x + 0,002x^2. \quad (14)$$

После получения математических моделей (11)-(14), позволяющих расчётным образом определять желательность и полноту выбранных метрик для рассматриваемых признаков, используя выражения (1)-(3), была рассчитана обобщённая функция желательности. Результаты её расчёта для S -признаков представлены в табл. 8, W -признаков – табл. 9, O -признаков – табл. 10 и T -признаков – табл. 11.

Таблица 8. Результаты расчёта обобщённой функции желательности D_s для S -признаков

№	Цифровая платформа	Частный параметр	Кодированные значения частного параметра	Частные функции желательности	Обобщённая функция желательности D_s для S -признаков
1	DelPro	0,61	-10,33	0,00	0,00
2	DairyPlan	0,60	-10,33	0,00	
3	AfiMilkTM	0,70	-10,25	0,00	
4	Milkline Dataflow	0,81	-10,16	0,00	
5	Lely T4C (Horizon)	0,81	-10,16	0,00	
6	Unitrack	0,81	-10,16	0,00	
7	АИС «Отходы»	0,81	-10,16	0,00	
8	АИС управления отходами ГК «Эттон»	1,00	-10,02	0,00	

Таблица 9. Результаты расчёта обобщённой функции желательности D_w для W -признаков

№	Цифровая платформа	Частный параметр	Кодированные значения частного параметра	Частные функции желательности	Обобщённая функция желательности D_w для W -признаков
1	DelPro	0,40	-30,12	0,00	0,00
2	DairyPlan	0,61	-29,83	0,00	
3	AfiMilkTM	0,20	-30,41	0,00	
4	Milkline Dataflow	0,60	-29,85	0,00	
5	Lely T4C (Horizon)	0,81	-29,57	0,00	
6	Unitrack	0,81	-29,57	0,00	
7	АИС «Отходы»	1,00	-29,32	0,00	
8	АИС управления отходами ГК «Эттон»	1,00	-29,32	0,00	

Таблица 10. Результаты расчёта обобщённой функции желательности D_o для O -признаков

№	Цифровая платформа	Частный параметр	Кодированные значения частного параметра	Частные функции желательности	Обобщённая функция желательности D_o для O -признаков
1	DelPro	0,31	9,30	1,00	0,990
2	DairyPlan	0,75	9,02	1,00	
3	AfiMilkTM	0,20	9,38	1,00	
4	Milkline Dataflow	0,60	9,11	1,00	
5	Lely T4C (Horizon)	0,81	8,98	1,00	
6	Unitrack	0,58	9,12	1,00	
7	АИС «Отходы»	1,00	8,86	1,00	
8	АИС управления отходами ГК «Эттон»	1,00	8,86	1,00	

Таблица 11. Результаты расчёта обобщённой функции желательности D_T для T -признаков

№	Цифровая платформа	Частный параметр	Кодированные значения частного параметра	Частные функции желательности	Обобщённая функция желательности D_T для T -признаков
1	DelPro	0,20	3,43	0,97	0,954
2	DairyPlan	0,30	3,42	0,97	
3	AfiMilkTM	0,85	3,32	0,96	
4	Milkline Dataflow	1,60	3,20	0,96	
5	Lely T4C (Horizon)	0,60	3,37	0,97	
6	Unitrack	0,20	3,43	0,97	
7	АИС «Отходы»	0,80	3,33	0,96	
8	АИС управления отходами ГК «Эттон»	0,80	3,33	0,96	

Как показал анализ результатов, представленных в табл. 8-11, обобщённая функция желательности D_s для S -признаков и D_w для W -признаков равна 0,00, при этом D_o для O -признаков равна 0,99, а для D_T – T -признаков – 0,95. Интерпретацию данных результатов можно провести согласно принятой шкале желательности (см. рис. 2). Наиболее предпочтительным для технических систем, эволюционирующих согласно закономерностям паттернов Альтшуллера (интеграция / структурирование, повышение динамичности и управляемости, эволюция применения ресурсов, эволюция процессов в системе и т.п.), является средний уровень желательности нечёткого множества [24, 25]. *SWOT*-анализ цифровых платформ проводился с целью определения достоверности выбранных метрик при оценке степени трансформации АПК. Результаты расчётов обобщённой функции желательности D_s , D_w , D_o и D_T подтверждают переход АПК на новый технологический уклад. Соответственно для эффективной цифровой трансформации АПК необходимо уделять особое внимание архитектурам и интегрируемости создаваемых платформ.

Выводы

На основании проведённого исследования получены следующие результаты:

1. Оценка перспективности использования и внедрения цифровых платформ при трансформации АПК методами

совместного использования *SWOT*-анализа и нечётких множеств в виде функции желательности Харрингтона позволяет получить комплексную оценку конкурентоспособности решения, выявить метрики, определяющие приоритетные направления развития. Эффектом применения данного инструментария является повышение достоверности принимаемых решений, основанное на предиктивности данных.

2. Опираясь на расчётные значения обобщённой желательности D_s , D_w для S - и W -признаков, можно сделать вывод, что выбранных метрик, характеризующих сильные и слабые стороны цифровой трансформации, недостаточно для того, чтобы охарактеризовать специфику внедрения цифровых платформ в АПК в полной мере, так как динамика развития данной области в настоящее время наиболее высока. Наиболее сдерживающими факторами цифровой трансформации АПК в настоящее время являются необходимость повышения квалификации персонала, рост вычислительных мощностей гаджетов, а также отсутствие возможности интеграции внедряемых платформ в мессенджеры (*VK-мессенджер*, *Telegram* и т.п.).

3. Расчётные значения обобщённой желательности $D_o = 0,99$, $D_T = 0,95$ для O - и T -признаков показывают полноту выбранных метрик, определяющих потенциальные возможности и угрозы, связанные с внедрением цифровых платформ в АПК. Наиболее значимыми факторами, определяющими возможности, являются оптимизация энергетических затрат операционных воздействий на основе предиктивной аналитики, расширение функционала и автоматизированных сценариев с развитием IoT и AI-технологий. Эффектом проявления послужит повышение энергетической эффективности и экологической безопасности операций АПК в целом и животноводства, в частности. При этом наиболее значимыми угрозами внедрения цифровых платформ в АПК на текущем этапе являются: зависимость точности мониторинга и анализа данных от технологических соев, необходимость защиты персональных данных хозяйств, зависимость эффективности эксплуатации цифровых платформ от технического обслуживания и поддержки производителя.

4. Развитием полученных результатов является разработка концепции архитектуры цифровой платформы, учитывающей специфику обращения с отходами АПК, а также направленной на устранение выявленных при *SWOT*-анализе слабых сторон и угроз.

Список использованных источников

1. **Степьмашонок Е.В.** Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е.В. Степьмашонок, В.Л. Степьмашонок // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 2. С. 336-365.
2. **Ерлыгина Е.Г.** Цифровая трансформация сельского хозяйства / Е.Г. Ерлыгина, А.Д. Васильева // *Бюлл. науки и практики*. 2020. Т. 6. № 12. С. 281-285.
3. **Салтанова Т.А.** Цифровая трансформация агропромышленного комплекса российской экономики / Т.А. Салтанова, И.А. Митина // *Вест. РГЭУ (РИНХ)*. 2022. № 1 (77). С. 45-51.
4. **Эпштейн Д.Б.** Цифровая трансформация АПК и ее проблемы // *Российский экон. журнал*. 2023. № 3. С. 63-80.
5. **Шевкуненко М.Ю.** Цифровая трансформация агропромышленного комплекса РФ в условиях санкций / М.Ю. Шевкуненко, И.А. Дахунов // *Вест. Академии знаний*. 2023. № 2 (55). С. 269-273.

6. Белова Е.С. Оценка цифровой зрелости сельскохозяйственных организаций региона как инструмент цифровой трансформации АПК / Е.С. Белова, П.Н. Волокитин // International Agricultural Journal. 2023. Т. 65. № 6. С. 2234-2248.
7. Зацаринный А.А. Интеграция приложений искусственного интеллекта в единую цифровую платформу АПК / А.А. Зацаринный, В.И. Меденников, А.Н. Райков // Информационное общество. 2023. № 1. С. 127-138.
8. Федоренко В.Ф. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции / В.Ф. Федоренко, А.Ю. Брюханов, А.М. Захаров, Е.А. Мурзаев // Техника и оборудование для села. 2024. № 1(319). С. 2-7. DOI 10.33267/2072-9642-2024-1-2-7.
9. Головкин А.Н. Технологические аспекты очистки навозных стоков / А.Н. Головкин, А.М. Бондаренко // Дальневосточный аграрный вест. 2024. Т. 18. № 1. С. 65-73. DOI 10.22450/1999-6837-2024-18-1-65-73.
10. Брюханов А.Ю. Анализ животноводческих объектов с использованием геоинформационных систем / А.Ю. Брюханов, Э.В. Васильев, Э.А. Папушин // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 4 (117). С. 72-84. DOI 10.24412/2713-2641-2023-4117-72-84.
11. Петухова М.С., Агафонова О.В. Теоретико-методологический фундамент цифровой трансформации сельского хозяйства России: базовые понятия и этапы // Аграрный вест. Урала. 2023. № 4 (233). С. 79-89.
12. Черданцев В.П. Подходы к цифровизации в агропромышленном комплексе (АПК) и перспективы их применения / В.П. Черданцев, К.П. Бугаев, И.В. Криницын // Вопросы рыболовства. 2023. Т. 24. № 4. С. 167-171.
13. Оборин М.С. Цифровые технологии как фактор обеспечения конкурентоспособности предприятий агропромышленного комплекса // Вестник НГИЭИ. 2023. № 9 (148). С. 73-83.
14. Shogentsukova Z.K. The mechanism of digital transformation of agriculture / Z.K. Shogentsukova, A.K. Shogentsukov // MEST Journal. 2023. Т. 11. № 2. С. 74-85.
15. Бельшикина М.Е. Цифровые технологии в сельском хозяйстве: выявление проблем и перспектив методом SWOT-анализа / М.Е. Бельшикина [и др.] // Аграрная Россия. 2023. № 9. С. 36-40.
16. Потемина С.Д. SWOT-анализ: инструмент для принятия управленческих решений в условиях цифровизации / С.Д. Потемина, П.А. Афанасьева, И.В. Измалкова // Актуальные вопросы публичного управления, экономики, права в условиях цифровизации : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Курск, 12 мая 2023 г.) / Курская академия государственной и муниципальной службы. Т. 2. Курск: Б. и., 2023. С. 217-220.
17. Шепелин Г.И. SWOT-анализ развития цифровой трансформации хозяйствующих субъектов водного транспорта // Управленческий учет. 2023. № 11. С. 260-271.
18. Ибрагимов Р. SWOT-анализ в производстве сельскохозяйственной продукции // Экономика и социум. 2023. № 4-1 (107). С. 595-600.
19. Фаринюк Ю.Т. Разработка интеллектуальной информационно-консультационной службы агропромышленного комплекса / Ю.Т. Фаринюк [и др.] // Агроинженерия. 2024. Т. 26. № 1. С. 47-52.
20. Борычев С.Н. Использование нечёткого моделирования при оценке интенсивности технологий утилизации органических отходов / С.Н. Борычев, Н.В. Лимаренко, Е.А. Ракул [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 298-315. DOI 10.32786/2071-9485-2021-01-29.
21. Лобачевский Я.П. Контрфактуальный анализ эффективности обеззараживания органических отходов животноводства / Я.П. Лобачевский [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. № 4. С. 466-489.
22. Осташ О.С. Стохастически-критериальная модель ранжирования отходов по полезным (потребительским) свойствам на примере буровых шламов // Экология и пром-ть России. 2020. Т. 24. № 11. С. 61-65.
23. Лимаренко Н.В. Способы и модели интенсификации обеззараживания отходов агропромышленного комплекса : моногр. / Н.В. Лимаренко, И.А. Успенский, И.А. Юхин. Рязань: РГАТУ им. П.А. Костычева, 2023. 174 с.
24. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Кибернетика, 1979. 105 с.
25. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. Смоленск: Ойкумена, 2008. 225 с.

SWOT Analysis of Digital Platforms for Improving the Efficiency of Waste Management in the Agro-industrial Complex

Ya.P. Lobachevsky

(FGBNU FNATS VIM)

A.V. Shemyakin, N.V. Limarenko

(Don State Technical University), (Ryazan State Agrarian Technical University named after P. A. Kostychev)

I.A. Uspensky, I.A. Yukhin, S.V. Mitrokhin

(Ryazan State Agrarian Technical University named after P. A. Kostychev)

Summary. The essence of the SWOT analysis is described, 32 metrics were selected to assess digital platforms used for improving the efficiency of waste management in the agro-industrial complex. The sequence of joint application of the SWOT analysis with the Harrington's desirability function is given. 8 digital platforms including 2 Russian ones were selected as the objects of comparison. It has been proved that joint use of the SWOT analysis and the Harrington's desirability function in a comprehensive assessment and identification of metrics that determine priority areas of development has good prospects. The key problems and opportunities of digital transformation of the agro-industrial complex are identified. The components of the architecture of digital platforms which allow to increase the efficiency of their implementation are highlighted.

Key words: digital transformation of the agro-industrial complex, digital platforms, SWOT analysis, fuzzy mathematical models, Harrington's desirability function.

Реферат

Цель исследования – провести анализ существующих цифровых решений, повышающих эффективность обращения с отходами животноводства. К 2030 г. планируются трансформация АПК до модели AGRICULTURE 4.0, результатом которой должен стать переход на новый технологический уклад в управлении ресурсами и процессами. Внедрение цифровых технологий позволит повысить производительность труда, снизить удельные затраты и увеличить эффективность использования ресурсов, включая утилизацию бесподстилочного навоза. Описана суть SWOT-анализа, выбраны 32 метрики оценки цифровых платформ повышения эффективности обращения с отходами АПК. Приведена последовательность совместного применения SWOT-анализа с функцией желательности Харрингтона. В качестве объектов сравнения выбрано 8 цифровых платформ. На основании проведенного SWOT-анализа этих платформ, интеллектуализирующих процесс обращения с отходами, сделан вывод, что унифицированное решение в данной области в настоящее время отсутствует. Доказана перспективность совместного использования SWOT-анализа и функции желательности Харрингтона при комплексной оценке и выявлении метрик, определяющих приоритетные направления развития. Определены ключевые проблемы и возможности цифровой трансформации АПК. Выделены составляющие архитектуры цифровых платформ, позволяющие повысить эффективность их внедрения. Опираясь на расчётные значения обобщённой желательности D_s , D_w для S- и W-признаков, можно сделать вывод, что выбранных метрик, характеризующих сильные и слабые стороны цифровой трансформации, недостаточно для того, чтобы охарактеризовать специфику внедрения цифровых платформ в АПК в полной мере. Наиболее сдерживающими факторами цифровой трансформации АПК в настоящее время являются: необходимость повышения квалификации персонала, рост вычислительных мощностей гаджетов, а также отсутствие возможности интеграции внедряемых платформ в мессенджеры. Расчётные значения обобщённой желательности $D_o = 0,99$, $D_r = 0,95$ для O- и T-признаков показывают полноту выбранных метрик, определяющих потенциальные возможности и угрозы, связанные с внедрением цифровых платформ в АПК.

Abstract

The purpose of the study is to analyze existing digital solutions that improve the efficiency of livestock waste management. It is planned to transform by 2030 the agro-industrial complex to the AGRICULTURE 4.0 model, which should result in the transition to a new technological order in resource and process management. The introduction of digital technologies will increase labor productivity, reduce specific costs and increase the efficiency of resource use, including the disposal of litterless manure. The essence of the SWOT analysis is described, 32 metrics were selected to assess digital platforms used for improving the efficiency of waste management in the agro-industrial complex. The sequence of joint application of the SWOT analysis with the Harrington's desirability function is given. 8 digital platforms were selected as the objects of comparison. Based on the SWOT analysis of these platforms that intellectualize the waste management process it is concluded that there is currently no unified solution in this area. It has been proved that joint use of the SWOT analysis and the Harrington's desirability function in the comprehensive assessment and identification of metrics that determine priority areas of development has good prospects. The key problems and opportunities of digital transformation of the agro-industrial complex are defined. The components of the digital platform architecture which allow increasing the efficiency of their implementation are identified. Based on the calculated values of the generalized desirability D_s , D_w for S- and W-features it can be concluded that the selected metrics characterizing the strengths and weaknesses of digital transformation are not enough to fully characterize the specifics of the implementation of digital platforms in the agro-industrial complex. The most constraining factors of the digital transformation of the agro-industrial complex at present are: the need to improve the skills of personnel, the growth of computing power of gadgets, as well as the lack of the ability to integrate the implemented platforms into instant messengers. The calculated values of the generalized desirability $D_o = 0.99$, $D_t = 0.95$ for O- and T-features show the completeness of the selected metrics that determine the potential opportunities and threats associated with the implementation of digital platforms in the agro-industrial complex.

Форум и выставка по глубокой переработке зерна и промышленной биотехнологии



Форум и экспо по глубокой переработке зерна и биоэкономике

+7 (495) 585-5167 | info@rusbio.org | www.graintek.org

Форум и выставка - уникальное специализированное событие отрасли в России и СНГ
19-20 ноября 2024 года в отеле Лесная Сафмар, Москва

В фокусе Форума – практические аспекты глубокой переработки зерна и сахарной свеклы как для производства продуктов питания и кормов, так и биотехнологических продуктов с высокой добавленной стоимостью. Будет обсуждаться производство нативных и модифицированных крахмалов, сиропов, органических кислот, аминокислот (лизин, треонин, триптофан, валин), сахарозаменителей (сорбит, ксилит, маннит) и других химических веществ.

21 ноября 2024 года пройдет семинар «ГрэйнЭксперт», посвященный практическим вопросам запуска и эксплуатации завода глубокой переработки зерна. Семинар проводится для технических специалистов, которые отвечают за производственный процесс и высокое качество конечной продукции.

Возможности для рекламы

Форум и выставка «Грэйнтек» привлечет в качестве участников владельцев и топ-менеджеров компаний, что обеспечит вам, как партнеру, уникальные возможности для встречи с новыми клиентами. Большой выставочный зал будет удобным местом для размещения стенда вашей компании. Выбор одного из партнерских пакетов позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка глубокой переработки зерна и промышленной биотехнологии.

Партнеры Форума прошлых лет



Agros 2025 expo

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ АПК

Птицеводство | Свиноводство | Корма | Ветеринария
Молочное и мясное животноводство | Племенное дело
Полевое кормопроизводство | Кормозаготовка
Комбикормовая промышленность | Хранение зерна

22-24 ЯНВАРЯ | МОСКВА | КРОКУС ЭКСПО

ВЕДУЩИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ И ПОСТАВЩИКИ:

- ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ
- СОВРЕМЕННАЯ ГЕНЕТИКА
- КОРМА, КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ, ПРЕМИКСЫ
- ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

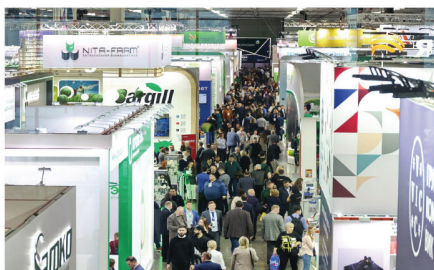
НАСЫЩЕННАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА – СВЫШЕ 350 СПИКЕРОВ:

- БОЛЕЕ 60 КОНФЕРЕНЦИЙ, СЕМИНАРОВ, КРУГЛЫХ СТОЛОВ
- ВСЕГДА АКТУАЛЬНЫЙ, ПОЛЕЗНЫЙ КОНТЕНТ БЕЗ РЕКЛАМЫ
- ВСЕРОССИЙСКИЕ СЪЕЗДЫ И СОВЕЩАНИЯ
- ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ФОРУМ ФЕРМЕРОВ – ЗИМНЯЯ ТОЧКА
ПРИТЯЖЕНИЯ ФЕРМЕРСКОГО СООБЩЕСТВА

НОВОЕ
В 2025г.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
МЯСОПЕРЕРАБОТКИ

МУКОМОЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ



«Выставка Агрос - №1 в животноводстве в России и, самое главное, она сделана для специалистов, представителей отрасли, аналитиков и экспертов»

Алексей Гордеев, заместитель Председателя Государственной Думы Федерального Собрания РФ

СОВМЕСТНО С

PotatoHorti
2025 agritechexpo

800+ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ
21 000+ ПОСЕТИТЕЛЕЙ
80+ МЕРОПРИЯТИЙ ПРОГРАММЫ
600+ ЭКСПЕРТОВ



Больше информации об участии в наших выставках:

Тел./WhatsApp: +7 (495) 128 29 59

E-Mail: agros@agros-expo.com

Организатор: ООО «Агрос Экспо Групп»



Трактор Ростсельмаш 2400: новый вид и широкий функционал

В текущем году сельхозпроизводители увидели усовершенствованную версию трактора Ростсельмаш 2400. Помимо фейслифтинга, машина получила ряд новшеств, которые объективно повышают ее эксплуатационные качества. Также производитель предложил расширенный перечень опций, часть позиций которого уже была доступна, а другую потребители с нетерпением ждали.



Тракторы Ростсельмаш серии 2000 максимально функциональны, выносливы, ремонтпригодны. Изначально они создавались с расчетом на особенную простоту обслуживания, что требовало «открытой» трассировки рабочих магистралей машины. И все же любая техника, работающая в таких сложных условиях, которые складываются в российских регионах, нуждается в дополнительной защите. Постоянно поддерживая обратную связь с эксплуатантами тракторов, производитель тщательно фиксирует их пожелания и замечания. Конструктивные предложения реализуются.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В первую очередь, в новой версии трактора Ростсельмаш 2400 обращает на себя внимание изменение капотирования. Ранее машина выглядела, безусловно, брутальнее, однако пользователи отмечали, что при работе на влажной почве колеса порой забрасывали комки грунта на двигатель через вырезы в зоне моторного отсека, служившие для отвода избыточного тепла. Для устранения этого недостатка с помощью компьютерного моделирования был разработан новый вариант капотирования.

В результате подкапотное пространство модифицировали, моторный отсек закрыли стальными щитами, а отвод тепла теперь осуществляется через щелевидные отверстия. Изменение конструкции капотов потребовало пересмотреть и написание, и место расположения логотипа и обозначения модели. Еще одно заметное новшество – маска: вместо единой ниши каждая фронтальная фара получила свою ячейку.

Второй решенный вопрос – защита коммуникаций, расположенных снизу, от возможного повреждения высокой жесткой растительностью при поднятии залежей или стерней пропашных культур при лущении. Здесь теперь монтируются легкоъемные стальные перфорированные пластины, снять и установить обратно которые под силу одному человеку. Защитили также топливопровод, соединяющий баки для горючего. Кожухом закрыли и место входа-выхода коммуникаций воздухозаборника и выхлопной трубы. Но это по большей части вопрос эстетики.

Другие изменения менее заметны, но существенны. Так, остов кабины стал жестче, шумоизоляция усилена, а дверь получила каркас. Эффектно модернизированы кронштейны зеркал заднего вида. Помимо того, что элементы выглядят более эстетично, их конфигурация способствует упрощению обслуживания машины. В этой связи необходимо отметить, что ко всем узлам и агрегатам, требующим внимания, обеспечен удобный и безопасный доступ с помощью нескольких ступеней, поручней, ограждений. Еще одно проявление заботы об операторе – умывальник (16 л), расположенный по правому борту трактора.

Внутри кабины изменена цветовая гамма: теперь производитель использует схему «темный низ, светлый верх», что добавляет интерьеру легкости.

ОПЦИИ

На трактор Ростсельмаш 2400 можно установить систему автоуправления РСМ Агротроник Пилот 1.0 электроруль. Доказанная эффективность: рост сменной производительности до 30% и сезонной – порядка 25%; экономия топлива 10% и более; устранение перерасхода семенного материала, удобрений, СЗР пропорционально сокращению дважды обработанной площади. Точность движения от прохода к проходу при использовании RTK-станции – 2,5 см. Самостоятельный разворот по оптимальной траектории, сигнал оператору о необходимости выглубить рабочие органы орудия.

Односкоростной (1000 мин^{-1}) вал отбора мощности (ВОМ).

Комплект подключения пневматических тормозов для прицепов с одно- и двухконтурной системой. На новых машинах Ростсельмаш 2400 они входят в базовую комплектацию, но опция доступна и для тракторов 2375/2400, приобретенных ранее и оснащенных пневмокомпрессорами с ресиверами.

Для подключения посевных комплексов с двумя и более высокопроизводительными вентиляторами производитель предлагает комплект муфт БРС. Для работы с некоторыми высокопроизводительными широкозахватными посевными комплексами западного производства доступна система Power Beyond. А для возможности подключения широкозахватных орудий с высокими требованиями по электрической

мощности/силе тока — преобразователь напряжения для подключения до 150 А. Также есть возможность укомплектовать машины системой синхронизации данных по протоколу ISO 11783 «ISOBUS» для подключения прицепного оборудования с «собственным» монитором.

Облегчить работу помогает датчик истинной скорости. Он позволяет определить реальную поступательную скорость машины, коэффициент пробуксовки колес и реализовать режим автоматического выглубления/заглубления навесных орудий.

ТРАКТОР РОСТСЕЛЬМАШ 2400

Полноприводный шарнирно-сочлененный сельскохозяйственный трактор Ростсельмаш 2400 предназначен для выполнения любых энергоемких полевых операций во всех земледельческих регионах мира. Оснащен двигателем мощностью 430 л.с. (максимальный крутящий момент $1\,895 \text{ Н·м}$ при частоте вращения коленвала 1400 мин^{-1}), механической трансмиссией 12х4, системой круиз-контроля. Укомплектован топливными баками общей вместимостью 927 л и эксплуатационной 871 л, пневмокомпрессором с ресиверами общим объемом 80 л.

Основные особенности: надежная гибкая рама (угол поворота на спаренной резине 38° , угол качания полурам по вертикали до 15° (30 суммарно); усиленные мосты, рассчитанные на работу с одинарными или спаренными колесами в комплекте с усиленными бортовыми редукторами, блокируемыми дифференциалами; постоянная развесовка, которая обеспечена, в том числе, расположением топливных баков в геометрическом центре машины.

Трактор предлагается с тяговым брусом и трехточечным навесным устройством CAT IVN/III с рамкой быстрой сцепки. Гидравлическая система — производительностью 260 л/мин, 5 электроуправляемых гидравлических секций, свободных для подключения орудий.

Герметизированная кабина укомплектована кондиционером и отопителем с продуманной системой воздухопроводов. Управление простое и интуитивно понятное. Цветной сенсорный монитор 8,4" со встроенным МРЗ-проигрывателем и радиоприемником соединяет в себе функции инструмента управления, контроля и приборной панели. Платформа агроменеджмента РСМ Агротроник установлена в базовой комплектации.



УДК 631.365: 51-74

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-14-18

Построение цифрового двойника зерновой сушилки методами статистической идентификации

В.А. Смелик,

д-р техн. наук, проф.,

вед. науч. сотр.,

smelik_va@mail.ru

А.М. Захаров,

канд. техн. наук,

вед. науч. сотр.,

zamsznii@yandex.ru

А.Н. Перекопский,

канд. техн. наук, доц.,

вед. науч. сотр.,

aperekopskii@mail.ru

(ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Представлены результаты построения цифрового двойника зерновой сушилки по результатам статистической идентификации на основании экспериментальной информации и имитационного моделирования процессов функционирования карусельной сушилки. Точность итогов имитационного моделирования определялась на основе сходимости корреляционных функций экспериментального и смоделированного процессов. Статистические характеристики смоделированного процесса сушки зерновых культур очень близки к оценкам процесса сушки, полученным в ходе экспериментальных исследований, их нормированные корреляционные функции идентичны и могут служить основой при разработке цифрового двойника сушилки.

Ключевые слова: идентификация, имитационное моделирование процесса, корреляционные функции, сушилка зерна.

Постановка проблемы

Для обеспечения продовольственной безопасности страны необходимо развивать и совершенствовать инновационные цифровые технологии и технику для производства стратегически значимой продукции [1, 2]. Зерно относится к такому виду продукции.

С развитием цифровых технологий, искусственного интеллекта и нейронных сетей особую роль приобретают компьютерные моделирующие системы, позволяющие на основе математических моделей, представляющих собой цифровые двойники исследуемых объектов, имитационным моделированием оптимизировать технологические процессы и обоснованно выбирать параметры и режимы работы технических средств [3, 4].

Имитационное моделирование как моделирующая система используется более 50 лет. К настоящему времени

проектирование машин и производственных процессов трудно представить без цифрового проектирования во многих отраслях науки и производства. В европейских странах при подаче документации на проектирование и совершенствование машиностроительного производства (в том числе сельскохозяйственного машиностроения) необходимо, кроме прочего, представлять и цифровую имитационную модель, и ее варианты использования [5].

Имитационное моделирование как составная часть построения цифрового двойника наряду с другими вариантами математического моделирования отличается достаточно подробным описанием требований технологического процесса или сельскохозяйственной машины с построением динамических моделей и организацией взаимодействия «оператор – компьютер».

В связи с особенностями технологических машин в сельскохозяйственном производстве, заключающимися главным образом в случайном (в вероятностно-статистическом смысле) характере условий их функционирования, для построения их цифровых двойников удобно использовать схематическую модель, выполненную по принципу «вход-выход» [6, 7]. Входными параметрами такой модели являются внешние возмущающие воздействия, характеризующие условия функционирования моделируемого объекта, а на выходе модели будут показатели, характеризующие результаты работы. Построение цифрового двойника технологического объекта в таком случае возможно методом идентификации по результатам экспериментальных исследований [7].

Имитационное моделирование проектируемого процесса подразумевает работу с компьютером: создание и модернизация имитационной модели; использование имитационной модели и представление результата. Основная сложность – формализация и математическое описание технологических процессов и работы сельскохозяйственной машины. Но незначительная потеря достоверности при формализации процессов и адекватности результатов имитационного моделирования восполняется большим упрощением модели по сравнению с физической или аналитической моделью. Также можно учесть наличие дискретных величин, нелинейных характеристик и случайных воздействий, что характерно для процессов выполнения технологических операций в сельскохозяйственном производстве [8, 9].

Компьютер является основным средством воплощения имитационного цифрового моделирования, например,

для выбора рациональных режимов работы в соответствии с изменяющимися условиями функционирования сельскохозяйственных агрегатов.

Повышение эффективности функционирования сельскохозяйственных машин рассмотрено в работе [7], где на основании имитационного моделирования производится подбор рациональной (оптимальной) настройки работы в различных условиях их эксплуатации. В основополагающей работе имитационного проектирования сельскохозяйственных машин [6] представлена система вероятностных оценок (показателей) технологической надежности технических средств производства продукции растениеводства и обоснована система допусков на показатели эффективности функционирования технических средств, обеспечивающих их технологическую надежность.

В условиях регионов повышенного увлажнения, к которым относятся Северо-Западный район и значительная часть Центрального района России, для послеуборочной сушки зерновых культур наибольшее распространение получили сушилки камерного типа, такие как карусельные, ромбические, напольные, аэрожелобные и др. [10]. Их использование позволяет обрабатывать поступающий от зерноуборочных комбайнов ворох практически любого состояния по засоренности и влажности, а регулируемые «мягкие режимы» сушки обеспечивают получение зерна семенных кондиций из вороха практически любой исходной влажности. Путем управления процессом сушки увеличивают время нахождения материала в сушильной камере, чтобы недозревшие зерна успели отдать влагу, стали щуплыми и легковесными и их свободно можно отделить при сортировании.

Эффективность функционирования зерновой сушилки может быть достигнута на основе определения рациональных (оптимальных) настроек и режимов ее работы. Экспериментальными исследованиями практически невозможно воссоздать все варианты условий функционирования (различные виды топлива, культур, сортов, влажности, температуры), а это сезонность, использование натурных объектов, затраты времени и средств [11]. Сходимость результатов математического моделирования рациональных режимов работы универсальной сушильной камеры по корреляционным функциям дискретных последовательностей показателей влажности и исходных данных экспериментальных исследований достаточно близка [12].

В качестве первого этапа построения цифрового двойника карусельной сушилки предлагается использовать имитационное моделирование процесса сушки зерна. Данный метод позволяет воссоздать реальные условия работы сушилки и получить данные о выходных показателях, имитационные модели могут быть получены как при экспериментальных исследованиях, так и на основе аналитических расчетов [6, 7].

Цель исследований – разработка имитационной модели технологического процесса зерновой сушилки и оценка сходимости результатов исследований.

Материалы и методы исследования

Как объект построения цифрового двойника на начальном этапе исследуемые зерносушилки удобно [7] представить состоящими из двух частных моделей: топочного устройства (теплогенератора) A_1 и сушильной камеры A_2 (рис. 1), на входах которых действуют внешние возмущения, а выходы представлены в виде результатов функционирования технологического процесса сушки зерна.

Основными возмущающими воздействиями, во многом определяющими эффективность протекания процесса сушки зерна, будут исходное состояние окружающего воздуха, оцениваемое вектором B_0 , и начальное состояние поступающего на сушку зернового вороха W_H . Причём, вектор B_0 является внешним входным воздействием как для частной модели теплогенератора A_1 , так и для частной модели сушильной камеры A_2 .

Составляющие вектора B_0 : $q_0(t)$ – расход (подача) воздуха, $t_0(t)$ – его температура, $\varphi_0(t)$ – относительная влажность и $i_0(t)$ – энтальпия, что можно записать как $B_0 = \{q_0(t), t_0(t), \varphi_0(t), i_0(t)\}$. Входной вектор для сушильной камеры A_2 оценивается начальной (исходной) влажностью зерна $w_{30}(t)$ и его температурой $t_{30}(t)$ $W_H = \{w_{30}(t), t_{30}(t)\}$.

Вид сжигаемого топлива q_H^P и его количество $q_T(t)$, поступающее в камеру сгорания теплогенератора, являются составляющими другого входного вектора $Q_T = \{q_T(t), q_H^P\}$ частной модели A_1 . Заданные установочные значения подачи топлива q_H^H и воздуха q_B^H составляют настроечный вектор $H_T = \{q_H^H, q_B^H\}$.

Состояние теплоносителя, формируемого на выходе теплогенератора A_1 , описывается вектором $T_{AC} = \{q_{AC}(t), t_{AC}(t), d_{AC}(t), i_{AC}(t)\}$.

Настройка сушильной камеры A_2 на требуемые режимы работы оценивается вектором настройки времени сушки H_C и настроечным вектором H_0 параметров карусельной платформы.

Выходными параметрами сушильной камеры являются конечное состояние зерна после сушки $W_K = \{w_{3K}(t), t_{3K}(t)\}$, где $w_{3K}(t)$ – конечная влажность зерна, $t_{3K}(t)$ – его температура после сушки. Вектор $T_{TC} = \{q_{TC}(t), t_{TC}(t), d_{TC}(t), i_{TC}(t)\}$ оценивает состояние теплоносителя после сушки, где $q_{TC}(t)$ – расход теплоносителя, $t_{TC}(t)$ – его конечная температура, $d_{TC}(t)$ – влагосодержание, $i_{TC}(t)$ – энтальпия.

Экспериментальные данные получены в результате сушки семян зерновых культур в одной из сельскохозяйственных организаций Ленинградской области на карусельной сушилке СКМ-15. Для контроля температуры агента сушки и управления влажностью зерна в сушилке

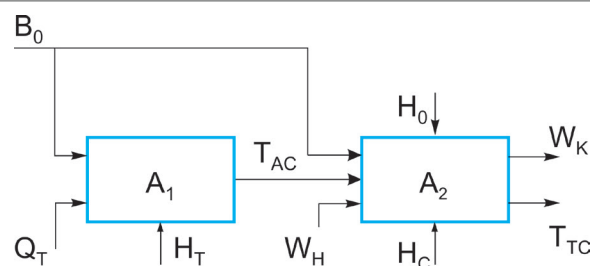


Рис. 1. Расчетная схема зерновой сушилки

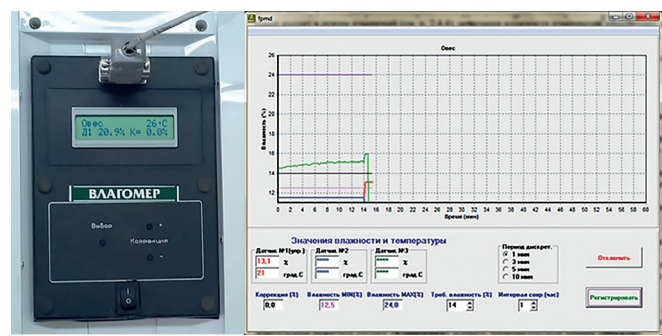


Рис. 2. Блок управления влагомера и графический интерфейс компьютера

использовался поточный влагомер Фауна-ПМДР4 с датчиками погружного и просыпного типа. Датчики просыпного типа установлены в приемном бункере комплекса послеуборочной обработки зерна, бункере активного вентилирования (БВ-40) влажного зерна и бункере активного вентилирования (БВ-40) высушенного зерна, погружной датчик управления процессом – перед выгрузным шнеком карусельной сушилки.

Принципиально влагомер состоит из датчиков, блока индикации и управления, соединённых кабелями через расширитель входа, и преобразователя интерфейса RS485 в USB для связи с компьютером (рис. 2).

При снижении влажности нижнего слоя зерна в сушилке до установленного значения (в данном случае 13%) подается сигнал с блока управления на исполнительный механизм отгрузки зерна [13]. Графический интерфейс компьютера отображает установленные показатели процесса сушки, влажность зерна и температуру с датчиков. Данные с датчиков при необходимости можно сохранять.

Экспериментальные исследования зерновых сушилок проводились в хозяйственных условиях при обработке зернового вороха различной исходной влажности. Разработанная программа экспериментальных исследований предусматривала получение статистически достоверной информации о показателях технологического процесса сушки зерна в соответствии с построенной моделью функционирования (см. рис. 1). Используемые при исследовании приборы, устройства и средства регистрации информации позволяли получать синхронную информацию о каждом показателе для последующей статистической идентификации процессов и моделей.

Результаты исследований и обсуждение

По результатам обработки экспериментальной информации получены статистические характеристики показателей на входе и выходе исследуемой сушилки в виде средних значений m , средних квадратических отклонений s и коэффициентов вариации V , а также рассчитаны корреляционные функции $R(\tau)$ и спектральные плотности $S(\omega)$.

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

По полученным статистическим характеристикам построены цифровые модели в виде операторов

A_1 и A_2 , связывающих выходные показатели W_k и T_{TC} с входными B_0 , Q_T и W_n

$$W_k = A_2 [B_0; T_{AC}; W_n],$$

$$T_{TC} = A_2 [B_0; T_{AC}],$$

$$T_{AC} = A_1 [B_0; Q_T].$$

Цифровые регрессионные модели для операторов A_1 и A_2 были получены в виде уравнений:

$$\begin{aligned} m_{A1} &= a_{A1} + b_{A1} f_{A1}, \\ m_{A2} &= a_{A2} + b_{A2} f_{A2}. \end{aligned} \quad (1)$$

При идентификации определяли вероятные значения коэффициентов a_{A1} , a_{A2} и b_{A1} , b_{A2} .

Уравнения (1) могут быть положены в основу цифрового имитационного моделирования, при котором по известным экспериментальным характеристикам воспроизводятся условия функционирования объекта исследований. Выходные показатели формируются путём преобразования входных возмущений в соответствующие выходы с использованием полученных математических моделей.

Построение дискретных аналогов исследуемых процессов осуществлялось по рассчитанным по результатам экспериментов корреляционным функциям, если в качестве примера рассматривать основной процесс сушилки по удалению из зерна лишней влаги $w_n(t)$, для которого рассчитаны экспериментальные статистические характеристики (см. табл. 1) и получена корреляционная функция $R_w(\tau)$. Для цифрового имитационного моделирования [7, 12] приняты смоделированные дискретные цифровые последовательности $\xi[w] = \varphi(\Delta t \cdot n)$, которые соответствуют исходному случайному процессу $w_n(t)$. За основу принято линейное преобразование стационарной последовательности $f[n]$ независимых нормально распределённых случайных чисел, так называемый «белый шум», с параметрами $m_w = 0$ и $D_w = 1$ в последовательность $\xi_w[n]$, коррелированную по закону [12, 13]

$$R_w(n) = M_w \{ \xi_{[k]} \cdot \xi_{[k+n]} \} = R_w(n \Delta t). \quad (2)$$

Цифровой моделью преобразования «белого шума» $f[n]$ в необходимую дискретную последовательность $\xi_w[n]$ будет следующее рекуррентное уравнение [6]:

$$\xi_w[n] = \sum_{k=0}^l a_k f(n-k) - \sum_{k=1}^m b_k \xi(n-k). \quad (3)$$

Дополнительную сложность для моделирования создаёт статистическая нестационарность процесса сушки

Таблица 1. Экспериментальные статистические характеристики показателей функционирования зерновой карусельной сушилки

Характеристики	Условия функционирования			Управляющие воздействия			Результат	
	$t_0(t)$, °C	φ_0 , %	$w_n(t)$, %	$t_{TH}(t)$, °C	$q_T(t)$, кг/г	$h_3(t)$, см	$w_K(t)$, %	$t_{3K}(t)$, °C
m	14,56	76,45	34,43	52,66	57,17	16,4	13,00	44,15
σ	0,56	3,68	1,25	1,08	1,82	2,77	0,079	7,13
V , %	3,83	4,81	3,64	2,07	3,18	16,88	0,61	16,15



Рис. 3. Реализация процесса сушки зерна, приведённого к стационарному виду

зерна и семян. При моделировании процесс сушки приводили к стационарному виду относительно конечной влажности зерна $w_{3K}(t)$:

$$bt_i = (w_i - wt_i) + w_{3K}(t). \quad (4)$$

Обратное преобразование стационарного смоделированного процесса удаления влаги из зерна в нестационарный вид осуществлялось с использованием соотношения

$$w_{3K}(t) = P_{ik} + (wn - wi \cdot k) - w_{3K}(t). \quad (5)$$

Такой алгоритм моделирования работы зерновых сушилок позволяет воспроизводить процессы неограниченной длины и моделировать различные условия и режимы работы для нахождения заданных оптимумов по качеству, энергозатратам и экологичности.

Процедура моделирования процесса сушки семян в исследуемой карусельной сушилке осуществлялась с помощью системы MATHCAD 7.0 [14].

В данном случае, как пример, представлена дискретная выборка из 41 значения влажности зерна на конечном этапе сушки с математическим ожиданием $m_w = 13\%$. После приведения процесса сушки к стационарному виду реализация его выглядит следующим образом (рис. 3).

Некоторые результаты моделирования процесса сушки зерна приведены в табл. 2. Нормированные корреляционные функции экспериментальной и смоделированной реализаций процесса удаления влаги в процессе сушки представлены на рис. 4.

Таблица 2. Числовые характеристики экспериментальной и смоделированной реализаций процесса сушки зерна

Характеристики	$m_w, \%$	σ_w	$V_w, \%$
Экспериментальные данные	13,003	0,079	0,61
Смоделированные данные	13,015	0,185	1,42

Оценки статистических характеристик процесса, полученного в ходе моделирования, с достаточной степенью достоверности отвечают оценкам процесса, полученного на основе экспериментальных исследований, что доказывает и графическая сходимость нормированных корреляционных функций.

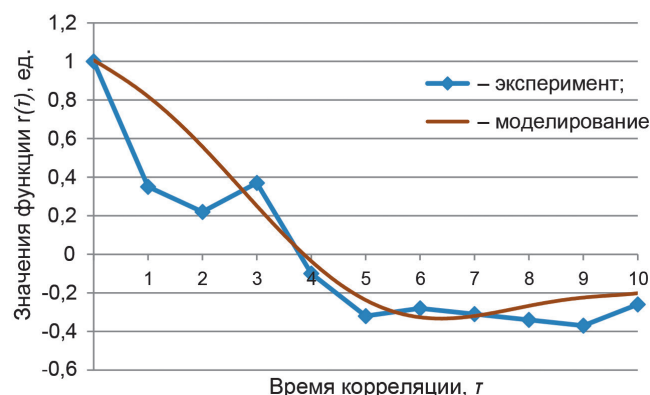


Рис. 4. Нормированная корреляционная функция

Выводы

1. В связи с особенностями технологических машин в сельскохозяйственном производстве для построения их цифровых двойников удобно использовать схематическую модель, выполненную по принципу «вход-выход». Входными параметрами такой модели будут внешние возмущающие воздействия, характеризующие условия функционирования моделируемого объекта, а на выходе модели будут показатели, характеризующие результаты работы. Построение цифрового двойника технологического объекта в таком случае возможно методом идентификации по результатам экспериментальных исследований.

2. Построение дискретных аналогов исследуемых процессов возможно с использованием экспериментальных корреляционных функций, аппроксимируемых соответствующими функциями для получения параметров моделирующих рекуррентных уравнений. Рассмотренный алгоритм моделирования работы зерновых сушилок позволяет воспроизводить процессы неограниченно большой длины и моделировать различные условия и режимы работы для нахождения заданных оптимумов по качеству, энергозатратам и экологичности.

3. Оценки статистических характеристик процессов, получаемых в ходе моделирования, с достаточной степенью достоверности соответствуют оценкам экспериментальных процессов, что подтверждает и графическая сходимость нормированных корреляционных функций.

Список использованных источников

1. Цифровизация сельского хозяйства – один из приоритетов инновационного развития ЕАЭС [Электронный ресурс]. URL: <https://globalcentre.hse.ru/news/275840726.html> (дата обращения: 17.03.2024).
2. **Кондратьева О.В.** Лучшие практики использования информационных технологий в АПК: аналит. обзор / Н.П. Мишуров, А.Д. Федоров, О.В. Слинько, В.А. Войтюк, В.Ф. Федоренко. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023.
3. **Лачуга Ю.Ф.** Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Ю.Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. 2022. № 4. С. 2-8.

4. **Дорохов А.С.** Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения / Д.Ю. Павкин, С.С. Юрочка // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 4. С. 14-25.

5. **Каштаева С.В.** Математическое моделирование. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020. 112 с.

6. **Лурье А.Б.** Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос, 1981. 387 с.

7. **Смелик В.А.** Технологическая надёжность сельскохозяйственных агрегатов и средства ее обеспечения. Ярославль, 1999. 230 с.

8. **Лобачевский Я.П.** Эффекты от применения цифровых двойников в сельском хозяйстве / Д.А. Миронов, М.М. Кислицкий, А.В. Миронова // *Тр. КубГАУ*. 2023. № 103. С. 71-78.

9. **Керимов М.А., Валге А.М.** Оптимизация и принятие решений в агроинженерии. М.: Колос-С, 2021. 502 с.

10. **Смелик В.А.** Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения / В.А. Смелик, М.А. Новиков, А.Н. Перекопский, Л.И. Ерощенко. СПб.: СПбГАУ, 2023. 162 с.

11. **Smelik V.A.** Study of the efficiency of drying grass seeds for forage crops on a rotary dryer / A.N. Perekopskiy, A.V. Dobrinov, S.V. Chugunov // *E3S Web of Conferences* 262, 01037 (2021), 01037.

12. **Ширяев А.С.** Повышение эффективности сушки урожая зерновых, кормовых культур и их грубоизмельченной массы в установках с неподвижным слоем сушиемого материала за счет совершенствования сушильной камеры: дис. ... канд. техн. наук, Ярославль, 2002, 183 с.

13. **Франс Дж., Торнли Дж. Х.М.** Математические модели в сельском хозяйстве / Пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерещко. М.: Агропромиздат, 1987. 400 с.

14. **Дьяконов В.П., Абраменкова И.В.** MathCAD 7.0 в математике, физике и в Internet. М.: Нолидж, 1998. 352 с.

Construction of a Digital Twin of a Grain Dryer Using Statistical Identification Methods

V.A. Smelik, A.M. Zakharov, A.N. Perekopsky
(IAEP-branch of FGBNU FNATS VIM)

Summary. The authors present the results of constructing the digital twin of a grain dryer by statistical identification methods using experimental information and simulation of the functioning processes of a roundabout dryer. The accuracy of the results of the simulation was determined based on the convergence of the correlation functions of the experimental and simulated processes. The statistical characteristics of the simulated process of drying grain crops are very close to the estimates of the drying process obtained in the course of experimental studies, their normalized correlation functions are identical and can serve as a basis for developing a digital twin of the dryer.

Key words: identification, process simulation, correlation functions, grain dryer.



ПротеинТек

Форум и экспо

Специализированный форум и выставка по кормовым протеинам и глубокой переработке высокобелковых культур

Москва, отель Лесная Сафмар
25 сентября 2024

+7 (495) 585-5167 | info@proteintek.org | www.proteintek.org



ПроПротеин

Форум и экспо

Специализированный форум и выставка по новым пищевым протеинам

Растительное мясо, насекомые и культивируемое "мясо из пробирки"

Москва, отель Лесная Сафмар
26 сентября 2024

+7 (495) 585-5167 | info@proprotein.org | www.proprotein.org

ТЕМЫ ФОРУМА:

- Технологии и рынки растительных и животных протеинов.
- Глубокая переработка растительного сырья.
- Технологии производства и применения протеинов в питании и кормлении животных.
- Растительные заменители мяса.
- Перспективные протеины, в том числе из насекомых.
- Биотехнологическое производство кормового белка из метана и другого сырья.
- Технологии производства искусственного мяса.

ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЕКЛАМЫ:

- ✓ Форум и выставка "ПротеинТек" и "ПроПротеин" привлекут в качестве участников владельцев и топ-менеджеров компаний, что обеспечит Вам, как спонсору, уникальные возможности для встречи с новыми клиентами;
- ✓ Большой выставочный зал будет удобным местом для размещения стенда Вашей компании;
- ✓ Выбор одного из спонсорских пакетов позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка



УДК 631.145

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-19-23

Технологическое обеспечение повышения плодородия почвы в органическом земледелии

Д.В. Рыжков,
канд. техн. наук,
зам. директора,
fntp@rosinformagrotech.ru

Л.А. Неменушная,
ст. науч. сотр.,
nemenuschaya@rosinformagrotech.ru

Т.А. Щеголихина,
науч. сотр.,
schegolihina@rosinformagrotech.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»);

А.А. Любовецкая,
директор по внешним связям,
Anna@soz.bio
(Союз органического земледелия)

Аннотация. Приведены методы повышения плодородия почвы в органическом земледелии. Показаны примеры перспективных технологий и препаратов, разработанных учебными, производственными и научными организациями. Установлено, что для повышения эффективности органического земледелия, сохранения экологии необходимо использование севооборотов с сидеральными культурами, щадящей обработки почвы, биопрепаратов для восстановления и приумножения ее плодородия.

Ключевые слова: плодородие почвы, органическое земледелие, биопрепараты, технологии, эффективность, экология.

Постановка проблемы

Сторонников органического земледелия с каждым годом становится все больше. Ежегодно растет рынок органической продукции [1]. По итогам 2022 г. Центром отраслевой экспертизы АО «Россельхозбанк» потенциальный объем рынка органической продукции в России был оценен в 14 млрд руб. Возрастающий спрос населения на органическую продукцию показывает необходимость увеличения численности сертифицированных производителей на 200-500 организаций в год. Прогнозируется, что к 2030 г. объем

производства органических продуктов в России достигнет 20-25 млрд евро, а объем органического рынка – 5-10 млрд евро [2].

В настоящее время общие проблемы интенсивного земледелия (уплотнение пахотного слоя, снижение запасов гумуса и минерализация гумусового слоя, сокращение обеспеченности почв подвижными формами основных элементов питания), глобальные климатические изменения негативно влияют на потенциальное и эффективное плодородие почв, что обуславливает необходимость биологизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, внедрение технологий органического сельского хозяйства.

Научно обоснованный подход к восстановлению, поддержанию и повышению плодородия почвы особенно важен в органической системе земледелия. Связано это с ограничениями на применение синтезированных удобрений, в первом случае существует строгий запрет, во втором – необходимость согласования с сертифицирующими органами. Из разрешенных к применению в органическом земледелии составов для удобрения можно отметить древесные отходы, барду, компосты из побочных продуктов и отходов растительного происхождения из органических хозяйств, вермикулит, водную и щелочную вытяжки гуминовых кислот.

Для повышения эффективности подобных продуктов процессы восстановления и поддержания плодородия почвы должны базироваться на системе методов – севообороты, стимулирование роста и развития корневой массы сельскохозяйственных растений, поверхностная обработка почвы, активизация азотфиксирующих, целлюлозоразлагающих и других ризосферных микроорганизмов, применение разрешенных природных минералов –

фосфоритных, кальциевых, магниевых, калийных руд [3-5].

Цель исследований – выявление перспективных технологических решений и подготовка предложений для сохранения и повышения плодородия почвы в органическом земледелии.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись разработанные учебными, производственными и научными организациями технологии и биопрепараты, разрешенные для применения в органическом земледелии.

Для исследования использовались различные информационные материалы, опубликованные в свободном доступе и на открытых интернет-ресурсах, представленные в базах данных профильных российских научных организаций и промышленных компаний, полученные на отраслевых конференциях и выставках.

Исследование проводилось с помощью аналитических методов (сбор, систематизация, анализ, интерпретация данных, интеллектуальный анализ имеющейся информации).

Результаты исследований и обсуждение

Обогащение почвы основными элементами питания – биологическим азотом, а также частично фосфором и калием, повышение биологической активности пахотного слоя, его разуплотнение происходят при реализации севооборотов с включением не менее 25% многолетних бобовых трав, их смесей со злаковыми; применением сидератов и чистых паров [3-5]. Значительный эффект также может дать использование смешанных посевов и промежуточных культур, выращиваемых на корм.

Учеными ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова» установлено, что для стабилизации запасов органического вещества в почве или снижения темпов его потери альтернативой внесению навоза является применение занятых паров, например, донниковых (рис. 1), которые могут быть задействованы на 50% площади, отведенной под пары, после уборки в фазе «бутонизация-начало цветения», в почву с ними поступает 105 кг/га азота, 26 – фосфора и 92 кг/га калия [5].

Как эффективные сидеральные культуры для органического земледелия также заслуживают внимания вики и горох, которые обеспечивают накопление 107,3 и 90,7 кг/га азота соответственно, возможно также использование культур семейства крестоцветные (рапсовый, редька масличная) [3-5].

Севообороты помогают справиться с распространенной проблемой, в том числе и для органического земледелия, – эрозией почвы. Их характерная особенность – полосное расположение посевов и пара. Ширина полос на сильно эродированных супесчаных и песчаных почвах не должна превышать 50 м, на ветроударных склонах – не более 25-33 м [7]. На склонах полосы следует располагать по горизонталям, независимо от розы ветров. При полосном размещении паров и посевов почву от выдувания защищает стерня предшествующего урожая (паровые полосы текущего года рекомендуется обрабатывать фрезными).

На сохранение и доступность питательных веществ в почве оказывает влияние способ ее обработки. Как показал анализ информационных источников, для органического земледелия



Рис. 1. Занятые пары с донником желтым

наиболее приемлема поверхностная обработка почвы [3, 4]. К приемам поверхностной обработки почвы относят: лущение (рис. 2), культивацию, окучивание, боронование, прикатывание, шлейфование, малование и др. Поверхностная обработка почвы направлена на подготовку ее к посеву, проведение ухода за растущими растениями и парами.

ФГБОУ ВО «Красноярским ГАУ» установлено, что использование почвозащитной (поверхностной) технологии обработки почвы обеспечивает смещение сроков минерализации почвенного азота на более поздние [8]. Предложен способ сохранения и восстановления плодородия почвы, в основе которого лежит создание обрабатываемых и необрабатываемых полос, проведение на обрабатываемых полосах рыхления с одновременным посевом семян сельскохозяйственных культур и размещение на необрабатываемых полосах пожнивных остатков.

Поверхностная обработка способствует активизации биогенеза гумусовых веществ (рис. 3), что подтверждается полевым опытом, проведенным исследователями в работе [10] для изучения нескольких способов обра-

ботки почвы: поверхностной на глубину 6-8 см; фрезной на глубину 20-22 см; вспашки на глубину 20-22 см. Самая высокая активность каталазы (2 мл O_2 /мин на 1 г почвы) отмечена при обработке на наименьшую глубину – 6-8 см. Выявлена прямая положительная связь между численностью полезных микроорганизмов и активностью каталазы ($r = 0,73-0,87$). Обозначено, что ежегодные безотвальная обработка обеспечивают величину коэффициентов гумусонакопления, равную 0,65-0,69, а вспашка – 0,57.

В продвижении экологического земледелия большое значение имеет применение биопрепаратов различной направленности, в основном для повышения доступности элементов питания для развивающегося растения, оздоровления и повышения плодородия почвы. В основе биопрепаратов – биологически активные вещества живой природы или микроорганизмы. Например, активные соединения растений, которые востребованы при разработке и производстве биопрепаратов, включают в себя фенолы, хиноны, алкалоиды, стероиды, терпены, спирты и сапонины, α - и β -филландрен, лимонен, камфору, линалоол, β -кариофиллен.



Рис. 2. Лущение стерни



Рис. 3. Гумификация почвы

Микробные препараты наиболее часто состоят из бактерий (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Xanthomonas*, *Rahnella* и *Serratia*) или грибов (*Trichoderma*, *Verticillium* и *Beauveria*). Их действие реализуется через гиперпаразитизм, конкуренцию, лизис, хищничество. Ризобактерии (*Agrobacterium*, *Ensifer*, *Microbacterium*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Chryseobacterium* и *Rhodococcus*) защищают растения от биотических и абиотических стрессов, усиливают рост растений и способствуют образованию корневых волосков. Они колонизируют среду вокруг корней растений, фиксируют азот, усиливают растворение фосфатов и приводят к общему увеличению урожайности растений, действие их базируется на механизмах симбиоза [11].

На основании данных открытых источников, компаний-производителей составлен Перечень биопрепаратов и биоудобрений для органического сельского хозяйства, биологической и интегрированной защиты растений. Анализ характеристик препаратов, представленных в Перечне, позволил выявить их основные качественные показатели. Для группы биопрепаратов, повышающих доступность элементов питания – способность клеток и спор бактерий или продуктов их метаболизма (фитогормоны ауксинового, гибберелинового и цитокининового рядов, аминокислоты, витамины) трансформировать труднодоступные соединения фосфора и калия в доступные для растений формы.

Биопрепараты для азотификации параллельно с основным предназначением обеспечивают усиление энергии прорастания семян и улучшение приживаемости рассады, стимуляцию роста поверхностной и корневой систем, повышение стрессоустойчивости. Известно около 200 видов микроорганизмов с геномом, содержащим специфическую информацию для синтеза нитрогеназы. В растворении фосфорных соединений особенно эффективны бактерии рода *Pseudomonas*, а калия – представители рода *Arthrobacter* [5]. Оптимальными способами применения подобных препаратов являются обработка семян или внесение их непосредственно в корневую зону, капельное орошение.

Для оценки качественных профилактических и защитных биопрепаратов

имеется документ ПНСТ 540-2021 «Общие технические условия «Агенты биологической борьбы для органического сельского хозяйства», разработанный АНО «Российская система качества» совместно с Рабочей группой технического комитета по стандартизации ТК 040 «Продукция органического производства», утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 апреля 2021 г. № 30-пнст.

В документе представлены основные требования и характеристики допустимых к применению в органическом сельском хозяйстве биологических агентов. Прежде всего, это получение материалов для их размножения преимущественно из аборигенной флоры и фауны, выращивание на питательной среде природного происхождения или разрешенных в органическом сельском хозяйстве веществах, недопустимость методов генной инженерии и модификации при их производстве, соблюдение генетической безопасности, обязательная государственная сертификация, недопустимость ионизирующего, химического и другого загрязнения.

Полученные для производства биологического препарата микроорганизмы должны быть депонированы в уполномоченной в соответствующей области организации и идентифицированы методом секвенирования до вида, являться безопасными для человека, пчел, животных, водных и почвенных организмов и окружающей среды. Действуют подобные препараты в основном способами вытеснения патогенных микроорганизмов; выделения специфических антибиотиков и укрепления иммунитета культур (все одновременно или раздельно). Многие из подобных препаратов отличаются отсутствием эффекта привыкания и возможностью предварительной инокуляции, которая обеспечивает оптимизацию внесения в конкретном хозяйстве (см. таблицу).

В Красноярском ГАУ для повышения урожайности и плодородия почвы в органическом земледелии предлагают к применению полученные штаммы азотфиксирующих микроорганизмов. В лабораторном опыте со штаммами



Рис. 4. Внешний вид диатомита минерала

ассоциативных азотфиксаторов OSV 1 (*Rahnella aquatilis*) и OSV 2 (*Azomonas macrocytogenes*) были подтверждены их положительное влияние на силу роста растений картофеля сортов Арамис и Пламя (фиксирувалась высота кустов), сдерживающий эффект против фитофтороза, сопоставимый с действием препаратов Экстрасол и Эместо Квантум. Инокуляция штаммом OSV 2 способствовала повышению массы клубней у обоих генотипов в среднем до 0,332 г при массе в контроле 0,297 г [11].

В Казанском ГАУ изучается возможность создания препаратов одновременно содержащих биоагенты и кремний. При сравнении различных видов кремнийсодержащих природных удобрений (цеолиты, диатомиты) в качестве возможных ингредиентов биопрепаратов исследователями было установлено, что наибольшая фунгицидная активность обеспечивалась при использовании диатомита (рис. 4) [10].

Подобный продукт для повышения плодородия органических полей – био-органоминеральный комплекс (БОМК), разработан в Чеченском Государственном университете совместно с ООО «Малое инновационное предприятие «ЭКО-качество». Органический компонент представлен ферментированными и обеззараженными отходами сертифицированного животноводства (около 70% объема), минеральная часть – мелкодисперсной фракцией природных минералов (цеолиты, фосфоритные и силикатные руды). Основной микробиологический компонент являются штаммы *Pseudomonas* sp.

Биопрепараты для повышения плодородия почвы и урожайности

Название, производитель	Краткая характеристика, положительный эффект
Бренды «Зеленый остров», «ГУМИMark», «AGRO» ГК «Сахалинские Гуматы» https://www.humate-sakhalin.ru	Гумус, источниками гуминовых соединений являются торф, сапропель и леонардит, который компания перерабатывает. Препараты предотвращают деградацию земель, восстанавливают их плодородие, увеличивают урожай до 15%, ускоряют сроки созревания, повышают иммунитет
Торфо-сапропелевый концентрат ООО «Эко Трейд Групп» http://eco-trade.ru	Опробовался в различных почвенно-климатических условиях России, Казахстана и Чехии. Обеспечивает восстановление плодородия почвы, повышение урожайности, %: яровая пшеница – 32,8; озимая пшеница – 32,5; ячмень – 52,3; овес – 27; картофель – 21; капуста – 22; свекла – 36; горох – 48; кормовые травы – 49; мак – 23; нут – 100; морковь – 23
Удобрения Азотовит®, Фосфатовит® ООО «Промышленные инновации» https://azotovit.ru/#product	Успешно применяются в хозяйствах России, Казахстана, Турции, ЕС. Основа – живые клетки бактерий <i>Beijerinckia fluminensis</i> , споры и живые клетки бактерий <i>Paenibacillus mucilaginosus</i> . Снижают логистические издержки, повышают всхожесть и сохранность растений, урожайность и качество продукции. Стимулируют развитие корневой системы, равномерное поступление питательных веществ по фазам роста растений. В АО ПЗ «Ильино» (Владимирская область) прибавка урожайности моркови составила 20%, в СХПК «Ударник» (Республика Чувашия) прибавка урожайности картофеля – 40%
Микробиологическое удобрение Азофит ООО ПО «Сиббиофарм» https://www.sibbio.ru/catalog/mikrobiologicheskie-udobreniya/	На основе азотфиксирующих бактерий <i>Azotobacter vinelandii</i> , биологически активных продуктов их жизнедеятельности и микроэлементов. Индуцирует защитную реакцию растений к неблагоприятным факторам внешней среды и патогенам. Обеспечивает экономию удобрений до 30% (за счет внесения азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих бактерий)
Препарат Байкал ЭМ 1 ООО «Приморский ЭМ центр» https://xn--11a7a.xn--p1ai/catalog/	Обеспечивает ускоренную ферментацию пожнивных остатков до 70%, устранение патогенов, повышение плодородия (до 2% за сезон содержания гумуса по Тюрину), улучшение структуры почвы, снижение количества сорняков весной (на 50%), уровня заболеваний и повышение иммунитета растений, повышение всхожести (на 50%)
Биодеструктор Биопрепарат «Никфан» Компания ООО «БИОИН-НОВО» https://bioin-novo.ru/publications	Содержит комплекс из 5 разных штаммов грибов <i>Trichoderma asperellum</i> , отличается повышенной ферментативной активностью, способствующей ускоренному разложению пожнивных остатков в поле, одновременно дезинфицирует почву. На основе экто- и эндофитных грибов. Обеспечивает активацию корнеобразования и фотосинтеза, усиление засухо- и морозостойчивости, повышение иммунитета растений, всхожести семян и приживаемости черенков, урожайности от 15 до 115%, сокращение сроков созревания до 1,5-2 недель, увеличение товарных качеств продукции
Микробиологические удобрения «Ризовирт», «Фитотрикс», «Татфармат» и «Фербак-Сил»; биодеструктор Уникальный «Гумус +» ОО «НПИ «Биопрепараты» https://biopreparaty.ru/	Обеспечивают повышение урожайности, %: зернобобовые культуры – 19-50, зерновые – 17-34, технические – 13-29, овощные – 18-46. Эффективность возрастает при использовании на средне- и малоплодородных почвах. Экономическая эффективность комплексного действия биопрепаратов – 2,5-4 тыс. руб., 10-30 руб. на 1 руб. затрат
Микробиологические удобрения «Геостим», «Геостим ФИТ», «БСка-3». Удобрения на основе гуминовых кислот «Гумат+7» (жидкий концентрат), «Гумэл-Люкс» и др. Схема питания растений на основе биопрепаратов ООО «Биотехагро» https://xn--80abhgo0bdpo5a.xn--p1ai/produktsiya-rastenievodstvo	Обеспечивают повышение урожайности, %: зерновые – до 10; технические культуры и картофель – до 20; овощи и фрукты – до 20; сады и виноградники – до 20. Затраты на 1 га в 3-5 раз ниже, чем при использовании химических средств защиты. В схеме ростостимуляторы дополняют питание микроэлементами, которые дополняют питание макроэлементами
Препарат Микофренд® Биокомплексы – БТУ «Оздоровитель почвы» «Биозащита от болезней» (биодеструкторы); «Универсальное живое удобрение» ООО «Органик Лайн» https://organik-line.ru [17]	На основе микоризообразующих грибов рода <i>Glomus</i> и <i>Trichoderma</i> . Обеспечивает увеличение площади поглощающей поверхности корня в 1000 раз, дополнительного питания и влаги, повышение засухоустойчивости и всхожести семян, защиту семян и растений от возбудителей корневых гнилей и других патогенов. При обработке посевного и посадочного материала, корневых и внекорневых подкормках, обеспечивают повышение урожайности на 10-30% и качества готовой продукции. Подавляются грибные и бактериальные заболевания; обогащается почва; ускоряется разложение растительных остатков, стерни

Продукт гранулирован с диаметром не более 5 мм для локального внесения одновременно с высевом семян сельскохозяйственных культур [12].

В Самарской области проводились научные производственные испытания многокомпонентных полифункциональных высококонцентрированных, максимально усвояемых растениями биогенных удобрительных смесей на основе

наноструктурного диатомита с низкой дозой внесения (200-300 кг/га) из селитры при посеве в прикорневую зону, разработанные лабораторией «Агро-Экология» совместно с Самарским ГАУ. Установлена высокая эффективность разработок по сравнению с минеральными удобрениями и пестицидами [13].

На предприятии по выращиванию органической продукции ООО «Эко-

ферма «Дубровское» при возделывании ячменя Памяти Чепелева обработка биопрепаратами (Азофит N, Азофит P, Фосфорус, Бактофит, Гибберсиб) по листу в фазу выхода в трубку обеспечила увеличение урожайности в 1,2 раза по сравнению с участком без обработки [14].

На основании проведенных исследований по изучению эффективности

действия диазотрофной бактериализации на яровом ячмене ученые Омского ГАУ имени П.А. Столыпина установили, что влияние биопрепаратов усиливает имобилизационные процессы в ризосфере, наиболее высоким коэффициент трансформации органического вещества был у голозерного ячменя – более 100 ед. [15].

В Воронежском ГАУ имени Императора Петра I изучалось влияние микробиологических препаратов на почвенное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность озимой пшеницы. При их применении в фазе появления всходов количество аммонифицирующих микроорганизмов на изучаемых вариантах на 126-185% превышало контрольный вариант. Содержание P_2O_5 в посевах озимой пшеницы увеличилось на изучаемых вариантах в 1,6-1,9 раз, а K_2O – в 1,3-1,6 раза по сравнению с контрольным вариантом. Урожайность озимой пшеницы на вариантах применения биологических препаратов превышала контрольный вариант на 6,5-12,4 % [16].

Представленные технологические решения показали положительное воздействие на сохранение и приумножение почвенного плодородия в опытных исследованиях и на практике. Полученные данные из обработанных информационных источников свидетельствуют об эффективности их применения и соответствии принципам органического земледелия.

Выводы

1. К основным направлениям повышения плодородия почвы в органическом земледелии относятся научно обоснованные севообороты, щадящая обработка почвы, применение биопрепаратов в составе природных удобрений, таких как диатомит, применение биопрепаратов на основе ризосферных микроорганизмов.

2. Оптимальными способами применения биопрепаратов для повышения плодородия почвы является обработка семян или внесение их непосредственно в корневую зону, капельное орошение.

3. Способствовать развитию органического земледелия будет привлечение бизнес-инвестиций для внедрения пер-

спективных разработок и технологий, разработка различных программ господдержки, информационное обеспечение сельхозтоваропроизводителей о современных разработках в данной области.

Список используемых источников

1. **Савкин В.И.** Современное состояние и перспективы органического производства в агропромышленном комплексе // Актуальные вопросы экономики и агробизнеса: сб. XIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Брянск, 23-24 марта 2023 г.). Брянск: Брянский ГАУ, 2023. С. 134-138.
2. Стратегический анализ тенденций развития отечественного и мирового рынка органической продукции / Ж.А. Телегина, А.С. Бабанская, А.С. Тикунова, В.М. Минаева // Beneficium. 2023. № 1 (46). С. 42-50.
3. Перспективные технологии производства органической овощной продукции / Н.П. Мишулов, Л.А. Неменуцкая, С.А. Коршунов [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 72 с.
4. Передовые практики производства органических зерновых культур / Н.П. Мишулов, Л.Ю. Коноваленко, Л.А. Неменуцкая [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 80 с.
5. Организация органического сельскохозяйственного производства в России: информ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 124 с.
6. **Коршунов В.М.** Влияние полевых севооборотов на плодородие и продуктивность мучнисто-карбонатных черноземов Западного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Улан-Удэ, 2004. 22 с.
7. Разработка системы органического земледелия в Байкальском регионе : отчет о выполнении тематического плана-задания на выполнение научно-исследовательских работ по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2022 г. (заключительный) / М.Б. Батуева (разделы 1, 3, 4); А.П. Батуева (разделы 1, 2, 3); В.А. Соболев (раздел 3); Б.Б. Цыбиков (раздел 3); О.А. Алтаева (раздел 4); Т.В. Гребенщикова (раздел 3); Б.С. Цыдыпов (раздел 3). Улан-Удэ, 2022. 76 с.
8. **Белоусова Е.Н.** Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации основной обработки / Е.Н. Белоусова, А.А. Белоусов // Проблемы агрохимии и экологии. 2021. № 3-4. С. 3-8.
9. **Зинченко М.К.** Ферментативная активность серой лесной почвы при различных приемах основной обработки / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 4. С. 17-21.
10. Казанский ГАУ [Отчёт о научно-исследовательской работе «Разработка препаратов биологического происхождения для защиты растений и оптимизации минерального питания в органическом земледелии»,

Рег. № НИОКТР АААА-А20-120012290113-4], Казань, 2020. 64 с.

11. **Чураков А.А.** и др. Отчет о НИР «Разработка биопрепарата комплексного действия для защиты и стимулирования роста картофеля в технологиях производства органической сельскохозяйственной продукции» Рег. № НИОКР – 1230503000039-0, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ 2023 г. 131 с.

12. Патент RU2571634 Российской Федерации, С2 МПК C09K 17/32 (2006.01) C05G 5/00 (2006.01). Био-органо-минеральный комплекс (БОМК) : № 2014101613/05 : заявл. 20.01.2014 : опубл. 27.07.2015, бюл. № 21 / Коков А.Ч., Занилов А.Х.

13. Отчет о НИР «Разработка препаратов биологического происхождения для защиты растений и оптимизации минерального питания в органическом земледелии», Рег. № НИОКТР АААА-А20-120052090022-7. ФГБОУ ВО Самарский ГАУ. Кинель, 2020. 93 с.

14. **Густенева К.А.** Биопрепараты в органическом земледелии / К.А. Густенева, К.А. Тимашев // Большая студенческая конференция: сб. III Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. (г. Пенза, 15 декабря 2022 г.). Т. Ч. 1. Пенза: Наука и просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. С. 108-110.

15. **Стрелецкий А.М.** Сортоспецифичность действия биопрепаратов на яровом ячмене в южной лесостепи Западной Сибири / А.М. Стрелецкий, Н.А. Ползухина, П.В. Ползухин, О.Ф. Хамова. Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2023. 122 с.

16. **Коржов С.И., Голубцов Д.Н., Климин А.Ф., Карго Д., Траоре Ф.** Производство зерна озимой пшеницы по технологии органического земледелия // Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 43-48. <http://10.28983/asj.y202211pp43-48>.

17. **Засорина Э.В.** Эффективность применения препаратов органического земледелия в картофелеводстве / Э.В. Засорина, Е.И. Комарицкая, А.В. Машошин // Вест. Курской ГСХА. 2022. № 1. С. 49-55.

Technological Support for Increasing Soil Fertility in Organic Farming

D.V. Ryzhkov, L.A. Nemenushchaya, T.A. Shchegolikhina
(FGBNU "Rosinformagrotech")

A.A. Lyubovetskaya
(Union of Organic Farming)

Summary. Methods for increasing soil fertility in organic farming are presented. Examples of promising technologies and preparations developed by educational, industrial and scientific organizations are shown. It is established that in order to increase the efficiency of organic farming and preserve the environment it is necessary to use crop rotations with green manure crops, gentle soil cultivation, and biopreparations to restore and increase soil fertility.

Key words: soil fertility, organic farming, biopreparations, technologies, efficiency, ecology.

Результаты применения биокомплекса АгроМаксимум Антистресс + Защита на сое в условиях Краснодарского края

О.Н. Негреба,

науч. сотр.,
olganegreba@yandex.ru

М.А. Белик,

науч. сотр.,
mashabelik@yandex.ru

Т.А. Юрина,

науч. сотр.,
agrolaboratoriya@mail.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТиМ])

Аннотация. Представлены результаты влияния биологического комплекса АгроМаксимум Антистресс + Защита на продуктивность сои в производственной технологии возделывания в условиях Краснодарского края. Установлено, что применение препаратов в виде внекорневой обработки растений в фазе от одного до трех настоящих тройчатых листьев стимулирует иммунную систему, повышает устойчивость растений к возбудителям болезней, обеспечивает увеличение сбора семян на 16,9%.

Ключевые слова: соя, биокомплекс, внекорневая обработка, мониторинг растений, продуктивность.

Постановка проблемы

В настоящее время в пищевой промышленности актуальна проблема дефицита растительного белка и ведущая роль в покрытии его недостатка принадлежит бобовым культурам [1]. Соя является одной из важнейших высокобелковых продовольственных культур. Она характеризуется высокой продуктивностью, богатым содержанием в семенах белка (до 50%), масла (16 до 27%), наличием в составе витаминов, железа, кальция, калия, незаменимых аминокислот, является хорошим предшественником, улучшающим севооборот.

Возделывание сои не требует внесения азотных удобрений. На урожайность культуры большое влияние оказывают агрометеорологические и антропогенные факторы, а также вредные организмы, которые могут вызвать потери от 30 до 90% урожая. Увеличение производства зерна сои зависит от эффективности защиты ее посевов. Кроме того, из-за перенасыщения почвы пестицидами давно назрела необходимость перехода на биологические методы борьбы с вредными объектами [2].

В органическом земледелии для защиты от вредных объектов применяют биологические препараты различного происхождения [3], которые экологичнее и дешевле [4]. В последнее время в качестве стимуляторов и биоудобрений широкое распространение получили гуминовые удобрения [5]. Применение гуматов в неблагоприятных условиях возделывания сельскохозяйственных культур повышает защитный механизм растений, благодаря чему увеличивается урожайность и повышается качество зерна [6].

Подкормка посевов сои в период вегетации, особенно в фазах активного роста надземной массы, способствует активной аккумуляции сухого вещества [7]. Именно в этот период растения требуют особой защиты и наиболее восприимчивы к стрессовым факторам.

Мировая практика показывает, что высокая эффективность биопрепаратов может быть достигнута только при использовании в их составе штаммов, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям. Комплекс технологических мероприятий с применением биопрепаратов торговой марки «АгроВерм» показал

хорошие результаты на практике при возделывании сои в почвенно-климатической зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края и ориентировал сельхозтоваропроизводителей на применение данных препаратов [8].

Цель исследований – изучение влияния внекорневых обработок биопрепаратами торговой марки «АгроВерм» на формирование величины урожая сои.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на валидационном полигоне КубНИИТиМ, почвы которого относятся к типичным черноземам. С целью обеспечения оптимальных условий для полноценного роста и развития растений сои после уборки предшественника (кукуруза на зерно) были проведены следующие технологические операции:

- двукратное дискование стерни на глубину до 11 см (PCM 2375 + Санфлауэр 1435-26);
- отвальная вспашка на глубину до 26 см (PCM 2375 + ПСКУ-8);
- весеннее выравнивание зяби на глубину до 9 см (ДД-8420 + Корунд-9);
- ранневесенняя культивация на глубину до 8 см (PCM 2375 + КПКМ-10);
- предпосевная культивация в день посева на глубину 5-6 см (PCM 2375 + Корунд-9).

Посев сои проводили на глубину 4-5 см с междурядьем 70 см (МТЗ-80 + УПС-8) с последующим прикатыванием посевов (Т-150К + КЗК-9) и послеуборочным боронованием (МТЗ-80 + БШ-12).

Для экспериментальных исследований применяли раннеспелый, высокопродуктивный сорт сои Веда

масличного направления, вегетационный период – 106-111 дней, содержание белка в зерне – до 41%, жира – до 23%. Сорт среднеустойчив к полеганию и высокоустойчив к засухе, растрескиванию бобов (при перестое), а также фузариозу, пепельной гнили и пероноспорозу.

Обработки растений по листу проводили опрыскивателем ОПГ-3000 в агрегате с трактором МТЗ-80. Междурядная культивация посевов сои выполнялась агрегатом МТЗ-80 + КРН-5,6.

Производственный экспериментальный опыт предусматривал листовую обработку растений сои биокomплексом АгроМаксимум Антистресс + Защита, включающим в себя три препарата (антидепрессант АгроВерм МАСТЕР, биофунгициды АгроВерм ЭКРАН и АгроВерм Триходерма) в сравнении с контрольной хозяйственной схемой (табл. 1).

АгроВерм МАСТЕР [9] изготовлен из вермикомпоста и содержит низкомолекулярные гуминовые вещества. Его применение повышает иммунитет растений, защищает их от стресса, способствует росту урожайности. Бактериальный фунгицид АгроВерм ЭКРАН состоит из живых клеток и спор метаболитов, интенсивно угнетает развитие болезнетворных организмов в течение всего периода вегетации. АгроВерм Триходерма – биологический фунгицид, подавляет патогенные возбудители и защищает растения от значительного количества грибных заболеваний.

Экспериментальная часть работы была проведена согласно методам статистической обработки результатов исследований [10].

Результаты исследований и обсуждение

Мониторинг растений сои проводился в течение всей вегетации (рис. 1, табл. 2).

В результате листовой обработки сои биопрепаратами получен существенный прирост надземной массы растений в экспериментальном варианте к фазе «бутонизация – начало цветения».

Таблица 1. Комплекс мероприятий химических и биологических обработок

Фаза развития растений	Вариант опыта	
	контроль	экспериментальный
Семена в день посева	Нитрофорс (0,5 л/т) + Оплот, ВСК (0,5 л/т)	
1-3 настоящих тройчатых листа	Гейзер, ККР (2,6 л/га) + Концепт, МД (0,6 л/га)	Гейзер, ККР (2,6 л/га) + Концепт, МД (0,6 л/га) + АгроВерм МАСТЕР (1,0 л/га) + АгроВерм ЭКРАН (0,5 л/га) + АгроВерм Триходерма (0,5 л/га)
Бутонизация – начало цветения	Шаман, КЭ (0,6 л/га) + Ассистент, Ж (0,2 л/га) + Ультрамаг Бор (1,0 л/га)	

Таблица 2. Динамика высоты растений сои по вариантам опыта

Вариант опыта	Высота растений по фазам вегетации, см		
	полные всходы	бутонизация – начало цветения	формирование бобов
Контроль	8,5	27,9	71,4
Экспериментальный	8,7	44,1	72,8



Рис. 1. Растения сои в разные фазы роста

Таблица 3. Оценка параметров культуры

Показатели	Вариант опыта	
	контроль	экспериментальный
Количество:		
клубеньков	52,5	71
бобов	21,6	29

Сравнительные данные по числу азотфиксирующих клубеньков на корнях сои и сформировавшихся бобов на растениях приведены в табл. 3.

Из показателей табл. 3 видно, что применение биологических препаратов в технологии возделывания сои способствует более интенсивному образованию клубеньков (на 35,2 % больше контроля) и формированию большего числа бобов на одном растении (разница с контрольным вариантом составила 34,3 %).

В фазе полной спелости зерна по вариантам опыта были проведены обследования посевов, результаты которых представлены в табл. 4. По итогам предуборочного осмотра выявлено, что показатели экспериментального варианта имели преимущество над контрольными.

Оценка урожайности опытных участков выполнена самоходным зерноуборочным комбайном GS 12 (рис. 2) при средней влажности зерна 7,7%. Основные показатели уборочного периода опытных посевов представлены в табл. 5.

Таблица 4. Результаты предуборочного контроля растений сои

Показатели	Вариант опыта	
	контроль	экспериментальный
Высота растений, см	65,5	69
Густота стояния растений, шт/м ²	30,7	33
Среднее количество:		
бобов на растении	24	29,3
зерен на одном растении	58,9	73,3
разветвлений	2,8	4,4

Таблица 5. Оценка продуктивности сои

Показатели	Вариант опыта	
	контроль	экспериментальный
Урожайность, ц/га	17,15	20,05
Масса 1000 зерен, г	155,9	159,8

Использование в экспериментальном варианте биоконкомплекс АгроМаксимум Антистресс + Защита торговой марки «АгроВерм» обеспечило превышение показателей над контролем во всех фазах развития растений, повлияло на увеличение показателей роста и продуктивности: массы 1000 зерен – на 2,5%, урожайности по зерну – на 16,9%.

Выводы

1. Результаты исследований по обработке вегетирующих растений сои антидепрессантом и биофунгицидами показали, что биоконкомплекс АгроМаксимум Антистресс + Защита торговой марки «АгроВерм» повышает устойчивость растений к возбудителям болезней и стимулирует иммунную систему.

2. Рост продуктивности зерна сои связан с увеличением числа бобов и массы 1000 зерен на 3,9 г (2,5%), что обеспечило прирост урожайности на 2,9 ц/га, или на 16,9%.

Список

использованных источников

1 Сырмолот О.В., Ластушкина Е.Н., Кочева Н.С. Использование биологи-



Рис. 2. Уборочные работы в посевах сои

ческих препаратов в посевах сои // Сибирский вест. с.-х. науки. 2022. № 52 (6). С. 51-58. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-6-6.

2. Леухина О.В., Дмитриева В.Д., Панарина В.И. Оценка отзывчивости различных сортов сои на применение биопрепаратов «Биотерра Энергия роста» и «Гумистим»: матер. 11 Всеросс. конф. молодых учёных и специалистов. Краснодар: ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2021. С. 195-200. DOI: 10.25230/conf 11-2021-195-200.

3. Зыков С.А. Биопрепараты в современном земледелии // Агрофорум. 2019. № 3. С. 21-27.

4. Долматова Л.С., Садовникова Н.Н., Пешков С.А. Эффективность использования биологических и химических средств защиты растений на яровой пшенице и сое // Сельская Сибирь. 2020. № 1 (15).

5. Якименко О.С., Терехова В.А., Пукальчик М.А., Горленко М.В., Попов А.И. Сравнение двух интегральных биотических индексов при оценке эффективности воздействия гуминовых препаратов в модельном эксперименте // Почвоведение. 2019. № 7. С. 781-792.

6. Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Зиангирова Л.М. Испытание гуминовых препаратов на сое в условиях Приморского края // Вест. КрасГАУ. 2020. № 10. С. 42-50.

7. Васин В.Г., Саниев Р.Н., Васин А.В., Бурунов А.Н., Просандеев Н.А., Трифонов Д.И. Применение микроудобрительных смесей и биопрепаратов при возделывании сои // Агрохимический вест. 2019. № 2. С. 48-52. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10027.

8. Негреба О.Н., Белик М.А., Юрина Т.А., Ермаков А.А. Применение агрохимикатов с микроэлементами при возделывании сои в производственных условиях // Техника и оборудование для села. 2023. № 9 (315). С. 16-21. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-9-16-20.

9. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации Агро XXI. МСХ. 2023.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 2012 (переиздана 2024). 416 с.

The Effect of Application of Biocomplex AgroMaximum Antistress + Protection on Soybeans in the Conditions of the Krasnodar Territory

O.N. Negreba, M.A. Belik, T.A. Yurina
(Novokubansk branch of FGBNU
"Rosinformagrotech"
[KubNIITiM])

Summary. The article deals with the results of the influence of the biological complex AgroMaximum Antistress + Protection on the productivity of soybeans while using the production technology of cultivation in the conditions of the Krasnodar Territory. It was found that the use of the preparations as foliar treatment of plants in the phase of one to three true trifoliate leaves stimulates the immune system, increases plant resistance to pathogens and ensures the increase in seed yield by 16.9%.

Key words: soybean, biocomplex, foliar treatment, plant monitoring, productivity.

УДК 633.521

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-27-31

Обоснование эффективности переработки льнотресты различного качества в модернизированной машине МТОФ-1М

Э.В. Новиков,*канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
зав. лабораторией,
e.novikov@fncl.ru***С.В. Соловьев,***мл. науч. сотр.,
s.solovyov@fncl.ru***В.Ю. Романенко,***канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
v.romanenko@fncl.ru***Е.Н. Королева,***ст. науч. сотр.,
e.koroleva@fncl.ru
(ФГБНУ ФНЦ ЛК)*

Аннотация. Представлены предложения по модернизации однопроцессной мяльно-трепальной машины МТОФ-1Л в МТОФ-1М. Проанализировано влияние времени переработки и частоты вращения трепальных барабанов МТОФ-1М в линии для сельских хозяйств на характеристики трепаного, короткого и однотипного льна, определены рациональные режимы её работы. Обоснована линия первичной переработки льнотресты различных свойств для малых предприятий.

Ключевые слова: льнотреста, лён трепаный, короткое и однотипное льноволокно, выход и номер волокна, время выстоя.

Работа выполнена в 2024 г. по Государственному заданию Минобрнауки России ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» по теме FGSS-2022-0007.

Постановка проблемы

Текстильная и легкая промышленность стимулируют развитие льноводства за счет плановых инвестиций в хозяйства и научную сферу АПК [1]. Льняной текстиль и достижения в использовании натуральных волокон в композитных пряжах обуславливают долгосрочный спрос на длинное и короткое льноволокно в России и мире.

В России существует парк малогабаритных однопроцессных агрегатов и машин периодического действия для производства длинного льноволокна из льнотресты, преимущественно в крестьянских (фермерских) хозяйствах. К ним можно отнести станок СМТИ (Костромской государственный технологический университет), машину МТОФ-1Л (ГНУ ВНИИМЛ, ООО «Машзавод») [2-5] и лабораторный станок СМТ-200М. Все они работают по одинаковому принципу – подача горстей льнотресты, сформированных вручную, их обработка в мяльных вальцах и далее в трепальных барабанах при перпендикулярной

подаче. Из указанного оборудования наибольшее применение нашла машина МТОФ-1Л, которая в настоящее время работает в нескольких малых предприятиях.

МТОФ-1Л позволяет получать значительно больше длинного волокна с каждой тонны льнотресты путем высокоэффективной обработки ее слоя влажностью до 19% по сравнению с классическими отечественными мяльно-трепальными агрегатами МТА-1Л, МТА-2Л и зарубежными [6-8], а значит повышает коэффициент использования сырья. Машина обеспечивает возможность создания оптимальной плотности слоя в зависимости от качества (номера) обрабатываемой льнотресты, наилучший ее промин вследствие перпендикулярной подачи стеблей в мяльные вальцы. К преимуществам можно отнести последовательное снизу-вверх воздействие бил на слой сырья при мягком режиме воздействия трепальных барабанов, создающих малые динамические нагрузки на прядь волокна, малую электрическую мощность и имеющих невысокие цену и стоимость эксплуатации.

К недостаткам МТОФ-1Л относятся ручное формирование горстей и низкая пропускная способность по льнотресте – до 40 кг/ч.

Анализируя данные, полученные ранее при испытании МТОФ-1Л в процессе переработки высококачественной тресты, следует отметить, что выход длинного волокна находится в интервале 21,4-30,6 % (абс.) [5], что значительно превосходит по данному показателю существующие линии льнозаводов непрерывного действия. Этот критерий эффективности первичной переработки льнотресты должен быть максимальным при допустимом значении массовой доли костры и недоработки в волокне, установленных стандартами по ГОСТ Р 53484-2022 (ГОСТ 10330-76) «Лен трепаный». Основным параметром переработки, который влияет на показатели качества длинного волокна (массовую долю костры, прочность, недоработку, номер трепаного льна), является частота вращения трепальных барабанов.

В научной литературе мало освещены результаты исследования промышленного образца МТОФ-1Л. Например, в работе [5] представлены интервал частоты вращения барабанов 210-240 мин⁻¹ и время выстоя волокна в процессе трепания 12-15 с. Последний показатель существенно снижает пропускную способность машины, а значит, и производительность. Поэтому обоснование рациональной частоты вращения при снижении времени выстоя волокна в процессе трепания в модернизированной машине МТОФ-1М является актуальным.

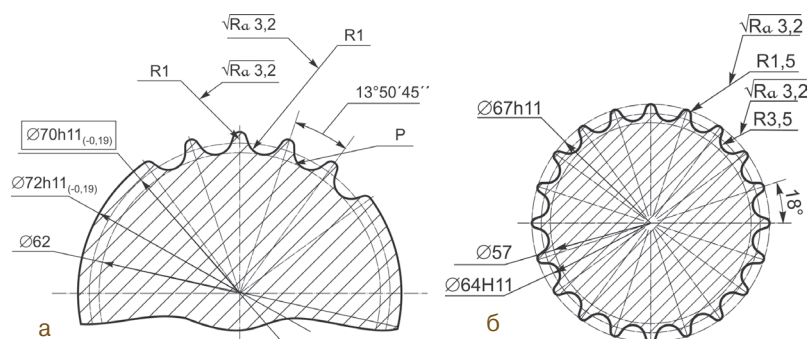


Рис. 1. Разрезы вальцов мяльных машин МТОФ-1Л (а) и МТОФ-1М (б)

Таблица 1. Характеристики мяльных вальцов МТОФ-1Л и МТОФ-1М

Показатели	МТОФ-1Л	МТОФ-1М
Число рифлей	26	20
Наружный / внутренний диаметр мяльных вальцов, мм	72 / 62	67 / 57
Высота рифлей, мм	10	
Радиус закругления кромки рифлей, мм	3,2	
Шаг рифлей по дуге	13,5°	18°

Кроме льнотресты в целых стеблях, которая пригодна для производства длинного и короткого волокна (номер 1,0 и выше), на льнозаводах имеет место низко-сортная треста в целых стеблях (номеров 0,75) и в виде путанины. Последняя не пригодна для производства длинного волокна, а используется для получения одно-типного неориентированного волокна. Количество этих двух типов тресты у хозяйств может достигать 60%.

Цель исследований – обосновать рациональные значения времени выстоя волокна, частоту вращения трепальных барабанов в модернизированной машине марки МТОФ-1М, эффективность и состав линии первичной переработки льнотресты различного качества в длинное, короткое и однотипное волокно.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо модернизировать машину МТОФ-1Л, подготовить навески льнотресты и определить показатели качества, переработав их в машине МТОФ-1М при различных режимах, переработать отходы трепания от машины МТОФ-1М в волокно короткое. Определить качество трепаного, короткого и однотипного льноволокна по действующим стандартам и обосновать рациональные значения времени выстоя волокна и частоты вращения трепальных барабанов, дать рекомендации для использования МТОФ-1М в промышленности для производства длинного, короткого и однотипного льноволокна.

В 2020 г. ФНЦ ЛК модернизировала машину МТОФ-1Л. Были изменены конструктивные характеристики мяльных вальцов (рис. 1, табл. 1), рама с приводом изготовлена единым целым, заменена одним приводом всех узлов и механизмов с размещением непосредственно на станине машины, что сократило её габаритные размеры и массу. Облегчен процесс регулирования частоты вращения трепальных барабанов, увеличен диапазон регулирования машины для льнотресты различных свойств с помощью частотно-регулируемого привода.

Общий вид МТОФ-1М представлен на рис. 2.

В качестве сырья использованы горсти тресты льна-долгунца трёх типов: нормальной вылежки и перележалой в целых стеблях, нормальной вылежки в виде путанины, показатели качества которых исследованы ниже. Горсти тресты отбирались из соответствующего рулона, 60 шт. массой по 300 г каждая. Переработка каждой горсти осуществлялась в машине МТОФ-1М (табл. 2, рис. 3).

Повторность опытов трёхкратная. У полученного трепаного льна определялся номер по действующему стандарту. Отходы трепания из-под МТОФ-1М собирались вручную и далее перерабатывались в двух трясильных машинах при стандартных настройках. Льнотреста в виде путанины перерабатывалась в волокно однотипное неориентированное в мяльно-трепальном станке СМТ-200М, который имитировал переработку тресты в машине МТОФ-1М. После СМТ-200М костроволокнистая масса дорабатывалась в однотипное волокно по двум

Рис. 2. Машина трепальная одно-процессная двухручьевая марки МТОФ-1М на заводе-изготовителе в ФГБНУ ФНЦ ЛК (г. Тверь): а – вид сбоку; б – вид сзади



а

б

вариантам: первый – в двух трясильных машинах с нижним гребенным полем (сокращенно СМТ-200М+Т+Т); второй – в трепальной машине типа дезинтегратор и двух трясильных машинах (СМТ-200М+Д+Т+Т). Усиление второго варианта трепальной машины объясняется необходимостью увеличить число механических воздействий на волокно.

Короткое и однотипное волокно подвергалось оценке качества по ГОСТ Р 54589-2011 «Волокно льняное короткое».

Результаты исследований и обсуждение

Исследуемые показатели качества льнотресты трех типов, переработанных в машине трепальной однопроцессной двухручьевой марки МТОФ-1М по ГОСТ Р 53143-2008, ГОСТ 24383-89 и ГОСТ 2975-73 «Треста льняная», представлены в соответствии с табл. 3.

Треста нормальной вылежки (см. табл. 3, тип 1) является качественным сырьем для производства трепаного льна, так как имеет высокое содержание волокна (45%),



Рис. 3. Переработка горстей тресты:
а – комлевой части;
б – вершинной части

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований модернизированной машины марки МТОФ-1М на льнотресте трех типов при переработке в длинное, короткое и однотипное волокно

Показатели	Тип тресты		
	1 (нормальной вылежки в целых стеблях)	2 (перележалая в целых стеблях)	3 (нормальной вылежки – путанина)
Влажность льнотресты, %	14 (технологическая)		
Масса горсти, кг	0,3		
Плотность загрузки тресты на транспортер, кг/м	1,0		
Скорость питающего транспортера, м/мин	7		
Время выстоя транспортера в крайне переднем положении, с	0, 3, 6		*
Частота вращения трепальных барабанов, мин ⁻¹	200, 225, 250		225

*На спуск – движение транспортера непрерывно вперед.

отделяемость его от древесины 7,4 ед. и разрывную нагрузку 24,7 кгс. Такие показатели будут способствовать высокому выходу трепаного льна, однако невысокая горстевая длина (71 см) не обеспечит получение номера длинного волокна выше 11.

Треста перележалая (см. табл. 3, тип 2) является низкокачественным сырьем и в мяльно-трепальных агрегатах непрерывного действия типа МТА-1Л, МТА-2Л и других не позволит получить трепаный лён с высоким выходом и качеством, так как имеет низкие содержание волокна и разрывную нагрузку.

Треста тип 3 нормальной степени в виде путанины (см. табл. 3) также имеет хорошее качество для производства однотипного волокна, высокие значения содержания волокна, отделяемости и разрывной нагрузки.

Таблица 3. Показатели качества перерабатываемой льнотресты льна-долгунца трёх типов

Показатели	Тип тресты		
	1 (нормальной вылежки в целых стеблях)	2 (перележалая в целых стеблях)	3 (нормальной вылежки – путанина)
Горстевая длина, см	71	67	6-24, среднее 14
Содержание волокна в тресте, %	45	25	35
Отделяемость, ед.	7,4	10	6,8
Разрывная нагрузка тресты, кгс / Н / даН	24,7 / 241,8 / 24,2	5 / 49 / 4,9	14,3 / 137,3 / 14
Цвет волокна	II	III	III

Результаты переработки тресты трёх типов в МТОФ-1М и СМТ-200М представлены в табл. 4 и 5.

При определенном сочетании частоты вращения трепальных барабанов и времени выстоя волокна можно получить максимальный выход длинного волокна (см. табл. 4). Увеличение частоты вращения и времени выстоя приводит к снижению выхода длинного волокна. Это объясняется тем, что натяжение волокна, а также силы нормального давления при трепании вызывают потери волокна пропорционально квадрату линейной скорости бил.

По результатам экспериментов установлено, что при переработке качественной тресты (тип 1, см. табл. 3), т.е. нормальной вылежки, машина МТОФ-1М обеспечивает выход трепаного льна в пределах 26-36%, на перележалой тресте (низкого качества) – 12-18% (см. табл. 4). Низкий выход длинного волокна из перележалой льнотресты обусловлен низкой разрывной нагрузкой, которая составляет не более 5 кгс (см. табл. 2).

Наибольший выход трепаного волокна имеет место при частоте вращения трепальных барабанов 200 мин⁻¹ и времени выстоя 0 с (см. табл. 4), но при этом снижается номер трепаного льна до низких номеров – 8 и 9. По мере увеличения частоты вращения барабанов и времени выстоя транспортера уменьшается выход трепаного льна.

Изменение номера трепаного льна в зависимости от частоты вращения барабанов прямо пропорционально времени выстоя транспортера из тресты нормальной вылежки, т.е. чем выше частота вращения и время выстоя, тем выше номер волокна. В данном случае это положительно, так как при переработке тресты нормальной вылежки основная часть волокна выделяется

Таблица 4. Показатели первичной переработки льнотресты в целых стеблях в машине МТОФ-1М и на станке СМТ-200М

Режимы переработки		Показатели процесса	
частота вращения трепальных барабанов, мин ⁻¹	время выстоя волокна в трепальных барабанах, с	средний выход трепаного льна, %	номер трепаного льна
Треста нормальной вылежки			
200	0	36	8
	3	33	9
	6	30	11
225	0	34	8
	3	31	9
	6	30	11
250	0	32	8
	3	29	11
	6	26	11
Треста перележалая			
200	0	18	—*
	3	17	—*
	6	16	—*
225	0	18	—*
	3	17	—*
	6	14	—*
250	0	17	—*
	3	13	—*
	6	12	—*

* Номер присвоить нельзя.
Выход и номер короткого волокна составили 7 и 2% соответственно.

в виде длинного волокна с высокой добавленной стоимостью, цена которого составляет от 360 руб/кг против 110 руб/кг – за короткое льноволокно (по состоянию на март 2024 г.).
Низкий номер короткого волокна (№ 2) объясняется его малой разрывной нагрузкой, что объясняется попаданием в отходы трепания только коротких волокон. При этом короткое волокно получено на линии с минимальным числом машин, т.е. всего в двух трясыльных машинах.

Трепаному волокну, полученному из перележалой тресты, номер присвоить невозможно из-за высокого значения массовой доли костры.

Качество однотипного волокна из тресты-путанины – № 2 и № 3 (см. табл. 5).

В соответствии с проведенными исследованиями следует заключить, что первичная переработка тресты различного качества с использованием машины МТОФ-1М эффективна, а значит, можно планировать производство длинного, короткого и однотипного льноволокна на небольших льнозаводах, в крестьянских (фермерских) хозяйствах, применяя линию, функционально-технологическая схема которой представлена на рис. 4.

Таблица 5. Показатели первичной переработки льнотресты в виде путанины с использованием станка СМТ-200М (имитировал машину МТОФ-1М (на спуск))

Показатели	СМТ-200М+Т+Т	СМТ-200М+Д+Т+Т
Выход однотипного волокна, %	33	31
Массовая доля костры, %	28	18
Удельный вес костры, %:		
несвязанной	18	17
связанной	82	83
Разрывная нагрузка скрученной ленточки, кгс / Н / даН	17,1 / 167,6 / 16,8	12,9 / 126,4 / 12,6
Номер (сорт)	2	3

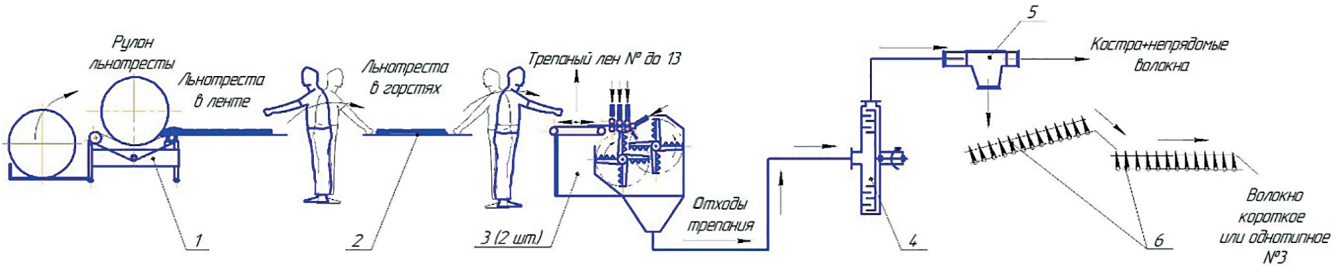


Рис. 4. Конструктивно-технологическая схема линии переработки льнотресты различного качества в длинное, короткое и однотипное волокно для малых предприятий:

- 1 – размотчик рулонов РР-2; 2 – стол для горстей льнотресты;
- 3 – машина МТОФ-1М (2 шт.); 4 – трепальная машина – дезинтегратор;
- 5 – бесциклонный пластинчатый разгрузитель РБ-1; 6 – машины трясыльные

Таблица 6. Рациональные режимы работы МТОФ-1М при переработке льнотресты льна-долгунца технологической влажности

Показатели	Тип тресты		
	1 (нормальной вылежки в целых стеблях)	2 (перележалая в целых стеблях)	3 (нормальной вылежки – путанина)
Время выстоя транспортера в процессе трепания, с	3-6	6-12	Выстой отсутствует
Частота вращения трепальных барабанов, мин ⁻¹	225-250	200-225	225-235

Принцип работы линии при переработке различного качества тресты следующий. Переработка льнотресты в длинное волокно в МТОФ-1М проводится с движением транспортера вперед-выстой и назад, а переработка низкосортной тресты и путанины – без выстоя, транспортёр движется вперед с постоянной скоростью, т.е. на спуск. В зависимости от качества льнотресты линия позволяет перерабатывать тресту из целых стеблей различного качества в трепаный лен и волокно короткое, а также путанину – в волокно однотипное неориентированное.

В табл. 6 представлены рекомендуемые режимы работы машины МТОФ-1М в линии, которые получены по результатам настоящих исследований.

Стоимость линии не превышает 18 млн руб., что значительно ниже цены отечественного оборудования обычных размеров для длинного и короткого льноволокна, например агрегатов МТА-2Л и АКЛВ-1 с трясыльными машинами, цена которых в сумме составляет более 50 млн руб.

Выводы

1. Представлены результаты испытаний модернизированной однопроцессной двухручье́вой мяльно-трепальной машины марки МТОФ-1М (из МТОФ-1Л). В соответствии с проведенными исследованиями следует заключить, что первичная переработка тресты различного качества с использованием машины МТОФ-1М эффективна.

2. Научно обоснованы состав линии переработки нормальной, низкосортной льнотресты и путанины в волокно длинное, короткое и однотипное с использованием машины МТОФ-1М в условиях малых предприятий, представлены рекомендации использования предлагаемой линии и режимы работы машины на льнотресте различного качества.

Список

использованных источников

1. **Ущеповский И.В.** Системность проблемы повышения урожайности и качества в льноводстве // Пути повышения конкурентоспособности продукции из льна: матер. Междунар. науч. конф. (г. Вологда, 3 марта 2004 г.). С. 199-210.

2. Патент № 2157432 Российская Федерация, МКИ 7Д01В1/14. Мяльно-трепальная машина : № 99122947/12 : заявл. 02.11.99 : опубл. 10.10.2000, Бюл. № 28 / А.П. Апыхин, Б.Н. Матвеев, М.М. Ковалев, Г.А. Шарстук. 2 с.

3. **Ковалев М.М., Колчина Л.М.** Технология и оборудование для производства и первичной переработки льна и конопли: справочник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2013. 84 с.

4. **Поздняков Б.А., Ковалев М.М.** Организационно-экономические аспекты технологизации льняного комплекса: моногр. Тверь: ГУПТО «Тверская областная типография», 2006. 208 с.

5. **Ковалев М.М., Апыхин А.П., Zubov Ф.В., Дьяченко Д.Г.** Ресурсосберегающая технология и оборудование для переработки льносырья // Интенсивность машинных технологий производства и переработки льнопродукции: матер. Междунар. науч. конф. (г. Тверь, 15-16 июля 2004 г.). Ч. 2. С. 16-26.

6. **Храмцов В.Н.** Справочник по заводской первичной обработке льна. М.: Легкая и пищевая пром-ть. 1981. 512 с.

7. **Дьячков В.А.** Теоретические основы производства лубяных волокон: моногр. Кострома: Костромской ГТУ. 2009. 272 с.

8. **Пашин Е.Л., Пашина Л.В., Румянцева И.А., Федосова Н.М., Куликов А.В., Смирнова Т.Ю., Новиков Э.В., Енин М.С.** Справочник по заводской первичной обработке льна. Кострома: Костромской ГТУ, 2014. 224 с.

Substantiation of the Efficiency of Processing Flax Straw of Different Quality in the Modernized Machine MTOF-1M

E.V. Novikov, S.V. Soloviev, V.Yu. Romanenko, E.N. Koroleva

(Federal Research Center of Fiber Crops)

Summary. The proposals are presented for upgrading the single-process scutching-and-breaking machine MTOF-1L to MTOF-1M. It has been analyzed how the characteristics of scutched, short and single-type flax are influenced by the processing time and the rotation frequency of scutching drums of the MTOF-1M in the line for agricultural enterprises, rational modes of the operation of the machine are determined. The line for primary processing of flax straw of various properties for small enterprises is substantiated.

Key words: flax straw, scutched flax, short and uniform flax fiber, fiber yield and number, standing time.



УДК 636.086.1:621.3.09

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-32-35

Влияние микроволновой обработки на питательные факторы соевых бобов

А.А. Белов,

д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
belalexan85@gmail.com
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Изучено влияние микроволновой обработки в сравнении с другими способами обработки (микронизация, автоклавирование) на питательные факторы соевых бобов. Микроволновая обработка с помощью разработанной экспериментальной установки приводила к раскалыванию и вспучиванию бобов, при этом их объем увеличился на 22%. Микронизация способствовала повышению объема бобов на 18%, автоклавирование сохраняло исходный объем семян. Существенных отличий по содержанию сырых протеина, жира, золы и клетчатки в соевых бобах при всех видах обработки не наблюдалось.

Ключевые слова: соевые бобы, микроволновая обработка, микронизация, автоклавирование, питательные факторы.

Постановка проблемы

В настоящее время соя выращивается в более чем 60 странах различных регионов мира. Крупнейшими странами-производителями соевых бобов являются Бразилия, США и Аргентина. Повсеместный интерес к культуре объясняется ее особыми свойствами. Высокое содержание белков и жиров сочетается с небольшим количеством углеводов и крахмала, что обеспечивает соевым бобам первое место по питательности среди всех известных в настоящее время продовольственных и кормовых растений [1].

Соевые бобы при использовании в пищевых целях являются дешевой, вкусной и питательной растительной альтернативой животным жирам и белкам, что особенно актуально для вегетарианцев. Наиболее широкое распространение получили масло, соус, жмыхи и шроты, остающиеся при извлечении масла. Кроме этого, из бобов производят муку, заменители молочных продуктов, сыр и пасту. Соя и продукты из нее богаты полиненасыщенными жирными кислотами, в том числе незаменимой линолевой кислотой, препятствующей отложению холестериновых бляшек.

Соевые бобы в виде дробленого зерна, полножирного или полубезжирного жмыха в составе комбикорма являются источником протеина при откорме сельскохозяйственных животных и птицы. В протеине сои имеются все необходимые аминокислоты. По составу соевый протеин ближе к животным протеинам, чем протеин других бобовых растений – гороха, чины, нута. Важнейшее свойство протеинов сои – хорошая растворимость в воде, что упрощает и облегчает ее использование для различных



целей. Водорастворимая фракция протеина колеблется от 60 до 90% в зависимости от сорта и условий произрастания.

Сырой протеин соевых бобов отличается пониженной биологической ценностью. В непрогретых соевых бобах плохо усваивается одна из важнейших аминокислот – лизин. По сравнению с соевыми бобами в зерновых культурах содержание лизина мало.

Температурная обработка инфракрасным излучением, варка, пропаривание устраняют причины, отрицательно влияющие на усвояемость некоторых аминокислот соевых кормов. Однако высокая температура обработки (150 °C) приводит к денатурации молекул протеина, деградации полиненасыщенных жирных кислот, ухудшению вкусовых, органолептических и потребительских свойств соевых бобов, снижению полезных свойств за счет окисления масла.

Химическая обработка злаков позитивно сказывается на питательной ценности цельного зерна без его измельчения. Однако влияние химической обработки на соевые бобы не исследовано. Обработка электромагнитным полем различной частоты положительно сказывается на зерновых и бобовых культурах, а также на посевном семенном материале [2].

При обработке микроволнами, например сорго, снижается содержание крахмала, повышающего уровень сахара в крови, растет обменная энергия и улучшаются органолептические свойства фуражного ячменя. Исследования по влиянию микроволновой обработки на крахмал соевых бобов отсутствуют. При этом необходим

особый контроль температуры и продолжительности микроволновой обработки продуктов, в том числе зерновых и бобовых.

Усвояемость протеина вигны, гороха и фасоли может быть повышена автоклавированием, микроволновой обработкой, но может понижаться при микронизации и обжаривании. Влияние микроволновой обработки за счет нагрева риса повышает его усвояемость [3]. Энергетические затраты при микроволновом воздействии на сельскохозяйственные продукты невысоки [4].

Эти и многие другие исследования доказывают преимущества применения микроволнового излучения [5]. Обработка осуществляется по всему объему обрабатываемого зерна быстро, экономно и экологично за счет трения молекул воды в электромагнитном поле микроволн. При этом не превышает критическая температура, при которой теряются полезные свойства.

Цель исследования – изучение влияния микроволновой обработки в сравнении с микронизацией и автоклавированием на питательные факторы соевых бобов для фуража и пищи.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовали сою наиболее распространенного желтого сорта СК Альта (Россия). Соевые бобы были разделены на пять партий по 2 кг каждая. Перед обработкой их очищали, просеивали от посторонних примесей, промывали и замачивали в водопроводной воде в течение 15 мин. Первая партия представляла собой сырую сою влажностью 10%, вторая – влажностью 20% (после замачивания). Три партии были экспериментальными с начальной влажностью сои 20% и конечной – 10%. Третью партию микронизировали, четвертую – обрабатывали автоклавированием, пятую – микроволнами.

Подбор, подготовка материалов и сами эксперименты проводились по стандартным методикам. Влажность измеряли с помощью диэлектрического анализатора TRIME-GWs Measurement-Transformer. Исходная и контрольная температура сои составляла 20 °С. Температуру соевых бобов измеряли с помощью инфракрасного пирометра FLUKE 561.

Микронизация проводилась с помощью лабораторной установки небольшой мощности, которая содержала четыре инфракрасные керамические лампы (0,5 кВт), установленные над ленточным вибрационным конвейером. Соевые бобы после прохождения через установку достигали температуры 140 °С. Более высокая температура соевых бобов нежелательна, так как приводит к денатурации белка [6]. Продолжительность микронизации 2 кг бобов – 15 мин, охлаждения их до контрольной температуры (20 °С) – 4 ч без дополнительного охлаждения, при этом влажность соевых бобов составила 10%.

Для имитации кипячения, поджаривания в сочетании с давлением был выбран метод автоклавирования с использованием автоклава T-lab ECO TLAB-V85-230 (5 kW) при рабочей температуре 120 °С и давлении 80 кПа.

Обработка 2 кг бобов осуществлялась 10 мин, охлаждение – в течение 4 ч до 20 °С без применения дополнительных охлаждающих средств. После обработки влажность соевых бобов снизилась до 10%.

С помощью разработанной экспериментальной установки соевые бобы были обработаны микроволнами (рис. 1). Установка содержит два магнетрона общей мощностью 2 кВт. Продолжительность обработки 2 кг бобов – 5 мин.

Внутри экранного цилиндрического корпуса смонтирован барабан с шестью отсеками. Пространство между частью боковой поверхности корпуса и каждым отсеком барабана образуют резонаторные рабочие камеры. Форма каждой из шести камер – треугольный сектор с полукруглым основанием. Корпус выполнен из алюминиевого сплава, отсеки и вал барабана – из фторопласта. Сверху корпуса смонтированы магнетроны и загрузочный патрубок, снизу – мотор и выгрузной патрубок. Корпус закреплен на столе, установленном на стойки.

При вращении барабана с помощью мотора из загрузочного патрубка через заслонку соевые бобы поступают в одну из камер. Минимальный зазор между корпусом и отсеками барабана обеспечивает свободное вращение. Этот зазор менее четверти длины волны – для сохранения добротности передвижных камер. Бобы транспортируются и обрабатываются микроволновым излучением в рабочих камерах. При вращении барабана два магнетрона воздействуют попеременно на чередующиеся отсеки с бобами через условно разделенные секторы (сектор с источниками, пустой сектор). Наряду с нагревом происходит остывание соевых бобов в циклическом режиме. При поточном режиме работы толщину слоя бобов в отсеках

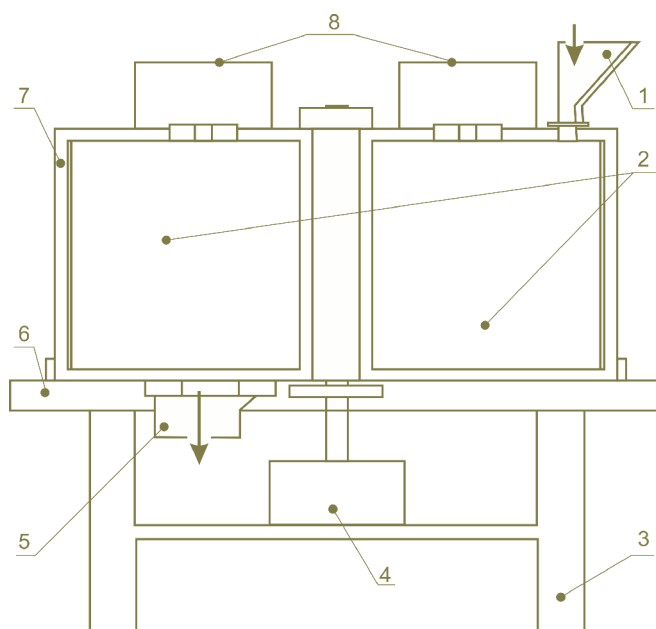


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 – загрузочный патрубок; 2 – рабочие камеры; 3 – стойки; 4 – мотор; 5 – выгрузной патрубок; 6 – стол; 7 – корпус; 8 – магнетроны

барабана регулируют с помощью заслонки загрузочного патрубка. Это позволяет регулировать удельную мощность микроволн и скорость нагрева бобов. Обработанное зерно выгружается через выгрузной патрубок через заслонку. Корпус и заслонки экранируют микроволны. Установка была разработана с учетом приоритетов развития агротехнологий [7].

Для определения физических свойств семян из партий сырых, микронизированных, обработанных автоклавированием и микроволнами соевых бобов была сделана случайная выборка по 20 семян из каждой группы. Масса каждого семени измерялась в граммах весами ViBRATM-561E с точностью $\pm 0,01$ г.

Длина (большая ось), высота (малая ось) и ширина (промежуточная) каждого семени выборки измерялись цифровым штангенциркулем Inforce06-11-40 с точностью $\pm 0,1$ мм. Используя эти данные, рассчитывался объем соевых бобов по известному методу [8]. Определялись также масса и объем сырых соевых бобов влажностью 10-20%, после микронизации, автоклавирования и микроволновой обработки с влажностью 10%. В табл. 1 представлены средние значения измерений семени из выборки 20 семян с отклонениями $\pm 0,05-0,10$. Измерения проводились без повторений. Отмеченные одинаковой буквой данные существенных отличий не имеют.

Таблица 1. Характеристики соевых бобов

№	Вариант опыта	Параметры семени				
		масса, г	длина, мм	высота, мм	ширина, мм	объем, мм ³
1	Сырые бобы влажностью 10%	0,23 a	9,1 b	7,9	8,8 e	632 f
2	Сырые бобы влажностью 20%	0,28	9,5 b	8,6 d	9,1 e	743 g
3	Микронизация	0,24 a	9,8 c	8,3 d	9,2 e	748 g
4	Автоклавирование	0,22 a	9,3 b	8,4 d	8,9 e	695 f
5	Микроволновая обработка	0,22 a	10,0 c	8,4 d	9,2 e	772

Результаты исследований и обсуждение

Микронизация, автоклавирование и микроволновая обработка привели к потере влаги соевыми бобами. Масса каждого обработанного после замачивания семени уменьшалась на 16-22% при всех видах обработки. Объем бобов при микронизации увеличился на 18%, при микроволновой обработке – на 22%, при автоклавировании он не менялся по сравнению с сырыми без замачивания.

При микроволновой обработке преобразование энергии в тепло происходит непосредственно внутри бобов [9]. Тепло распространяется изнутри – из центра к периферии семени. Происходят мгновенное испарение перегретой жидкости, расширение воздуха, заключенных в бобах. Важнейшим показателем, определяющим эффективность теплового воздействия на соевые бобы,

является скорость нагрева [10]. При медленном нагреве (10-15 мин) микронизацией и автоклавированием происходит постепенная сушка продукта; влага, содержащаяся в бобах, удаляется, не нарушая их структуру. При высокой скорости нагрева (5 мин) микроволнами происходит интенсивный фазовый переход капиллярной влаги в пар, увеличение внутреннего давления водяных паров и разрыв бобов. Структурные изменения внутри соевых бобов влекут за собой изменение влагопоглощательной способности, что связано с появлением микротрещин в каждом семени, растрескиванием оболочки. Оболочка обезвоживается и раскалывается. При микроволновой обработке получается расколотый и вздутый продукт из соевых бобов, который может применяться в пищевых и кормовых целях.

Для фуражной сои основные питательные факторы (сырые протеин, жир, зола и клетчатка) определялись стандартными методами [11]. Сырой протеин определялся с помощью спектрофотометра IRIS HI801-02 по методу поглощения молотыми соевыми бобами ближнего инфракрасного спектра 39-20.01. Сырой жир определялся по методу AACC 30-25.01. Пробы соевых бобов высушивали, экстрагировали, добавляя растворитель. Далее растворитель выпаривали, а остаток высушивали. Сырая зола определялась методом AACC 08-16.01. Проводилось сжигание соевых бобов и определялась масса остатка с последующим прокаливанием проб. При определении сырой клетчатки пробы соевых бобов высушивались, измельчались согласно методу 962.09. Далее спектрофотометром IRIS HI801-02 измерялось диффузное отражение излучения в ближней инфракрасной области спектра от проб соевых бобов [12]. Данные сопоставлялись с градуировочным уравнением, а затем рассчитывалось результирующее содержание сырой клетчатки.

В пяти партиях проводилось 60 измерений сырого протеина, жира, золы и клетчатки в соевых бобах. В табл. 2 показаны средние значения из трех повторностей с отклонениями $\pm 0,05-0,10$. Отмеченные одинаковой буквой данные существенных отличий не имеют.

Таблица 2. Содержание сырого протеина, жира, золы и клетчатки в соевых бобах, г/ 100 г бобов

№	Вариант опыта	Протеин	Жир	Зола	Клетчатка
1	Сырые бобы влажностью 10%	25,1 a	0,95 b	3,12 c	5,9 d
2	Сырые бобы влажностью 20%	25,3 a	0,99 b	3,14 c	5,9 d
3	Микронизация	25,4 a	0,98 b	3,12 c	5,8 d
4	Автоклавирование	25,3 a	0,99 b	3,15 c	5,8 d
5	Микроволновая обработка	25,1 a	0,97 b	3,11 c	5,9 d

Существенных отличий в содержании сырого протеина, жира, золы и клетчатки в соевых бобах при всех видах обработки не наблюдалось. Содержание сырого протеина

и сырой золы колебалось в пределах 1%. Изменение содержания сырого жира не превышало 4%. Содержание сырой клетчатки изменялось не более чем на 2%. Изменения были незначительными и в пределах статистической ошибки. Полученные данные по протеину, жиру и золе повторяли сообщения о сохранности питательных свойств восьми типов бобовых [13].

Данные по клетчатке в соевых бобах отличались от данных похожего исследования фасоли, в котором сообщалось о снижении общего содержания клетчатки при уничтожении пищевых волокон фасоли при особенно высокой температуре и продолжительном многократном микроволновом воздействии [14]. Разные данные могли быть получены вследствие разных режимов микроволновой обработки [15]. Отсутствие негативного влияния термических обработок на питательные факторы делает возможным применение обработанных соевых бобов при производстве соевой муки, масла и других пищевых продуктов для человека, а также для использования в кормах для животных и птицы.

Выводы

1. Наилучшие данные были получены при микроволновой обработке соевых бобов с помощью экспериментальной установки по сравнению микронизацией и автоклавированием. Больше всего объем каждого семени увеличивался в результате микроволновой обработки при расклевывании и вспучивании.
2. Содержание сырых протеина, клетчатки и золы, а также обменной энергии сохранялось в пределах стандартного отклонения при всех видах обработки.
3. Сохранность основных питательных факторов позволяет рекомендовать микронизацию, автоклавирование и микроволновую обработку перед измельчением соевых бобов в фураже. Микроволновую обработку соевых бобов рекомендуется использовать как для получения фуража, так и для пищевых целей.

Список

использованных источников

1. **Негреба О.Н., Белик М.А., Юрина Т.А., Ермаков А.А.** Применение агрохимикатов с микроэлементами при возделывании сои в производственных условиях // Техника и оборудование для села. 2023. № 9 (315). С. 16-21.
2. **Дорохов А.С., Чаплыгин М.Е., Аксенов А.Г., Шибряева Л.С., Блинов Н.Д., Чулков А.С., Подзоров А.В.** Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле // С.-х. машины и технологии. 2023. № 17 (4). С. 4-11.
3. **Belov A., Vasilyev A., Dorokhov A.** Effect of microwave pre-treatment on the exchange energy of forage barley // Journal of food process engineering. 2021. 44 (9). e13785.
4. **Vasilyev A.A., Vasilyev A.N., Budnikov D.** Using modeling to select the type of microwave field emitter for dense-layer grain dryers // Applied sciences (Switzerland). 2023. 13 (16). 9070.
5. **Будников Д.А.** Определение фактора диэлектрических потерь зерновоздушной смеси пшеницы // С.-х. машины и технологии. 2019. № 13 (2). С. 10-14.

6. **Storchevoy V., Suchugov S., Umansky P., Storchevoy A.** Study of the operating modes of a microwave installation for heat treatment and disinfection of grain // E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don. 2021. 01022.

7. **Федоренко В.Ф., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Юзенко Ю.А., Назаров А.Н.** Эффективность применения прямого посева и минимальной обработки почвы при возделывании кукурузы на зерно // С.-х. машины и технологии. 2022. № 16 (2). С. 14-21.

8. **Mohsenin N.N.** Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics, and mechanical properties. New York, NY: Gordon and Breach Publishers. 1986. 278-286.

9. **Белов А.А., Сторчевой В.Ф.** Комбинированный диэлектрический и индукционный нагрев фуражного зерна // Природообустройство. 2014. № 3. С. 79-83.

10. **Просвирыкова М.В., Сторчевой В.Ф., Горячева Н.Г., Михайлова О.В., Новикова Г.В., Сторчевой А.В.** Сверхвысокочастотная хмелесушилка с поярусно расположенными резонаторами // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. № 1. С. 114-127.

11. Approved methods of the AACC international, methods 44-17, 76-13, 08-16, 32-40 and 35-05 (10th ed.). The Association AACC, St. Paul, MN, 2000.

12. **Беляков М.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Ефремов И.Ю.** Обоснование выбора спектральных диапазонов фотолумinesцентного контроля состава и питательной ценности кормов // Техника и оборудование для села. 2023. № 2 (308). С. 31-36.

13. **Khattoon N., Prakash J.** Nutritional quality of microwave-cooked and pressure-cooked legumes // International journal of food sciences and nutrition. 2004. 55. P. 441-448.

14. **Svanberg S.J.M., Suortti T., Nyman E.M.G.L.** Physico-chemical changes in dietary fiber of green beans after repeated microwave treatments // Journal of food science. 1997. 62 (5). P. 1006-1010.

15. **Новикова Г.В., Сторчевой В.Ф., Просвирыкова М.В., Ершова И.Г., Горячева Н.Г.** Научно-технические основы разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 1 (50). С. 18-27.

Effect of Microwave Treatment on Nutritional Factors of Soybeans

A.A. Belov

(FGBNU FNATS VIM)

Summary. Microwave treatment by the developed experimental equipment split and puffed up soybeans, increasing the volume of seeds by 22%. Micronization increased the volume of beans by 18%, autoclaving retained the original volume of seeds. No significant differences in the content of crude protein, fat, ash and fiber in soybeans were observed for all types of treatment.

Key words: soybeans, microwave processing, micronization, autoclaving, nutritional factors.

УДК 631.358:635.34

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-36-38

Обоснование жесткости блока уравнивающих пружин копирующего устройства многовариантного капустоуборочного комбайна

А.С. Алатырев,

канд. техн. наук,
leha.alatyrev@mail.ru

И.С. Кручинкина,

канд. техн. наук,
irinka58.84@mail.ru

С.С. Алатырев,

д-р техн. наук,
s_alatyrev1955@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Чувашский ГАУ»)

Аннотация. Изучены вопросы уравнивания части веса режущего аппарата капустоуборочной машины блоком пружин для качественного копирования рельефа почвы при минимальном давлении под опорными лыжами. Предотвращать «галопирование» режущего аппарата предложено путем оставления небольшой части веса режущего аппарата неуравновешенной в нижнем крайнем его положении.

Ключевые слова: копирующее устройство, капустоуборочный комбайн, жесткость, уравнивающие пружины.

Постановка проблемы

Для качественного выполнения рабочего процесса капустоуборочной машиной ее режущий аппарат 1 (рис. 1) должен непрерывно копировать рельеф почвы при минимальном давлении под опорными лыжами 2 [1]. При излишнем давлении появляется опасность «зарывания» лыж и ножей 3 в почву, при недостаточном – может произойти «галопирование» срезающего аппарата относительно поверхности почвы. При этом легкие растения капусты 4 могут оказаться под лифтерами 5, т.е. не попадут в зону действия ножей.

В этой связи в многовариантном комбайне [2] предусмотрено рычажно-шарнирное параллелограммное копирующее устройство ABCDEF,

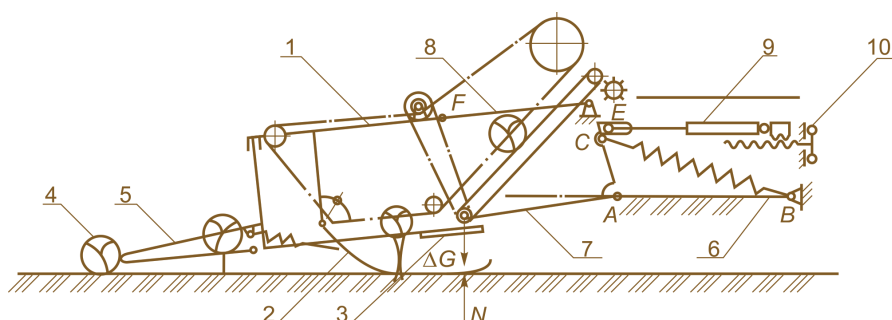


Рис. 1. Схема копирующего устройства многовариантного капустоуборочного комбайна

состоящее из блока уравнивающих пружин 6, один конец которого шарнирно закреплен на раме комбайна, другой – на Г-образном звене 7, установленном на раме шарнирно в опоре A и соединенном в конце D режущим аппаратом, также шарнирно. Кроме того, режущий аппарат подвешен на раме комбайна с помощью рычага 8 с шарнирами в обоих концах E и F.

Описанное устройство позволяет уравнивать большую часть веса G режущего аппарата, приведенного в точку D подпружиненного Г-образного звена. Неуравновешенная часть веса ΔG режущего аппарата вызывает реакцию N под лыжами, которая предотвращает «галопирование» режущего аппарата. В данном устройстве предусмотрен также перевод режущего аппарата в транспортное положение с помощью гидроцилиндра 9, подключенного к Г-образному звену через продолговатое отверстие, позволяющее ему находиться в плавающем положении во время работы комбайна. Для создания возможности регулирования предела копирования в данном устройстве предусмотрено смещение

основания гидроцилиндра с помощью винтового механизма 10.

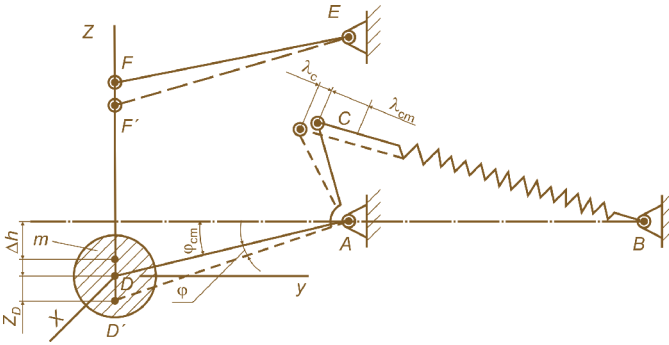
Цель исследований – обоснование суммарной жесткости блока уравнивающих пружин для механизма копирования капустоуборочного комбайна.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленной задачи механизм навески режущего аппарата на капустоуборочном комбайне заменим физической моделью, представленной на рис. 2.

Определив величину жесткости блока уравнивающих пружин, рассмотрим сначала положение механизма в состоянии равновесия в осях координат XYZ (начало координат находится в точке D). В положении равновесия нижняя часть Г-образного звена отклонена на угол φ_{cm} от горизонтали, блок уравнивающих пружин растянут на λ_{cm} , сила тяжести режущего аппарата, приведенная в шарнир D, полностью уравновешена (предполагаем, что в этом случае опорные лыжи гарантированно не касаются поверхности почвы). Для такого

Рис. 2.
Физическая
модель
копирующего
устройства:
---- в положении
равновесия;
--- в поло-
жении,
выведенном
из равновесия



случая копирующее устройство можно представить в первом приближении как физическую систему с одной степенью свободы.

Выберем в качестве обобщенной координаты для данной системы предельно малый угол φ (в рад) отклонения нижней части AD Г-образного звена механизма навески от положения равновесия. Для этого случая используем уравнение Лагранжа [3]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы;

Q – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате φ ;

$\dot{\varphi}$ – обобщенная скорость системы.

Поскольку все действующие активные силы потенциальные, выразим обобщенную силу Q через потенциальную энергию Π системы:

$$Q = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}.$$

Тогда исходное уравнение (1) будет иметь вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}. \quad (2)$$

При исследовании в уравнении сохраним малые величины φ и $\dot{\varphi}$ в первой степени, пренебрегая малыми величинами более высокого порядка. Ввиду малости масс звенья механизма считаем невесомыми. Массу режущего аппарата приводим в точку D .

Так как механизм навески параллелограммный, он обеспечивает поступательное движение режущего аппарата в процессе копирования рельефа почвы. В этом случае кинетическая энергия системы

$$T = \frac{m\dot{\varphi}^2 l_{AD}^2}{2},$$

где m – масса режущего аппарата; l_{AD} – длина звена AD.

Отсюда находим

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= ml_{AD}^2 \dot{\varphi}, \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) &= ml_{AD}^2 \ddot{\varphi}. \end{aligned} \quad (3)$$

Определим потенциальную энергию Π системы, учитывая, что для блока пружин $\Pi = 0,5c\lambda^2$, где λ – удлинение блока пружин, а для поля сил тяжести $\Pi = mgz_D$, где z_D – координата центра приведения силы тяжести режущего аппарата.

Тогда для всей системы:

$$\Pi = 0,5c\lambda^2 + mgz_D. \quad (4)$$

Определяя λ , учтем, что в положении равновесия блок пружин имеет статическое (начальное) удлинение λ_{cm} , необходимое для уравновешивания силы тяжести режущего аппарата. При повороте звена AD на угол φ блок пружин получит дополнительное удлинение, равное λ_c , причем ввиду малости φ можно считать $\lambda_c = l_{AC}\varphi$.

В то же время справедливо равенство

$$z_D = -\varphi l_{AD}.$$

Подставляя все найденные величины в равенство (4), получим:

$$\Pi = \frac{c}{2} (\varphi l_{AC} + \lambda_{cm})^2 - mg\varphi l_{AD}.$$

Тогда

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = c(\varphi l_{AC} + \lambda_{cm})l_{AC} - mgl_{AD}. \quad (5)$$

Входящую сюда неизвестную величину λ_{cm} найдем из условия, что при равновесии системы, т.е. когда $\varphi = 0$, должно быть и $Q = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = 0$.

Полагая в формуле (5) $\varphi = 0$ и $\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = 0$, получим

$$\lambda_{cm} = \frac{mgl_{AD}}{cl_{AC}}. \quad (6)$$

Заменяя в выражении (5) λ_{cm} этим значением, найдем, что

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = cl_{AC}^2 \varphi. \quad (7)$$

Подставляя значения производных из равенств (3) и (7) в уравнение (2), получим

$$\begin{aligned} ml_{AD}^2 \ddot{\varphi} &= -cl_{AC}^2 \varphi \\ \text{или} \\ \ddot{\varphi} + k^2 \varphi &= 0, \text{ где } k = \frac{cl_{AC}^2}{ml_{AD}^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнение (8) является однородным дифференциальным уравнением второго порядка. Решение его ищем в виде $\varphi = e^{nt}$. Полагая в уравнении (8) $\varphi = e^{nt}$, получим для определения n характеристическое уравнение $n^2 + k^2 = 0$. Поскольку корни этого уравнения являются чисто мнимыми ($n_{1,2} = \pm ik$), то, как известно из теории дифференциальных уравнений, общее решение уравнения (8) имеет вид

$$\varphi = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt,$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования. Если вместо постоянных C_1 и C_2 ввести постоянные A и α , такие что $C_1 = A \cos \alpha$, $C_2 = A \sin \alpha$, то получим

$$\varphi = A(\sin kt \cos \alpha + \cos kt \sin \alpha)$$

или

$$\varphi = A \sin(kt + \alpha). \quad (9)$$

Уравнение (9) изменения угла φ в зависимости от времени t является уравнением гармонического колебания с амплитудой A и круговой частотой

$$k = \frac{l_{AC}}{l_{AD}} \sqrt{\frac{c}{m}}.$$

Таким образом, при полном уравновешивании режущего аппарата блоком уравновешивающих пружин, т.е. при $\lambda = \lambda_{cm}$, координата поло-

жения шарнира D будет изменяться по вертикали по закону, близкому к гармоническому. Это приводит к «галопированию» режущего аппарата во время работы комбайна, что затрудняет выдерживать заданную высоту среза кочерыг.

Результаты исследований и обсуждение

«Галопирования» режущего аппарата можно избежать путем оставления небольшой части ΔG веса режущего аппарата неуравновешенной блоком уравнивающих пружин в крайнем нижнем его положении (когда лыжи касаются поверхности земли). При этом лыжи режущего аппарата прижимаются к поверхности почвы силой ΔG , предотвращая его вертикальные колебания.

Это возможно, когда в крайнем нижнем положении режущего аппарата шарниры A и D нижней части Г-образного звена подвески будут расположены по высоте с разницей

$$\Delta h < \lambda_{cm} \frac{l_{AD}}{l_{AC}}$$

или с учетом выражения (6)

$$\Delta h < \frac{mgl_{AD}^2}{cl_{AC}^2}.$$

Отсюда

$$c < \frac{mgl_{AD}^2}{\Delta hl_{AC}^2}. \quad (10)$$

При выполнении условия (10) режущий аппарат в процессе работы всегда будет находится выше положения своего устойчивого равновесия, касаясь опорными лыжами поверхности поля. При этом сила реакции под опорными лыжами $N = \Delta G$ (см. рис. 1).

Таким образом, выражение (10) является для режущего аппарата техническим условием обеспечения копирования рельефа поля без отрыва от поверхности почвы. Оно позволяет определить расчетным путем потребную жесткость блока уравнивающих пружин.

Величина Δh в копирующем устройстве регулируется винтовым механизмом 10 путем изменения поло-

жения шарнира крепления гидроцилиндра 9 (см. рис. 1) в зависимости от неровностей поля.

При исходных числовых значениях $m = 200$ кг, $l_{AD} = 0,8$ м, $\Delta h = 0,15$ м, $l_{AC} = 0,3$ м, произведя расчет по формуле (10), получим $c < 93013$ Н/м.

Полученное расчетное значение может являться верхней границей рабочей жесткости блока уравнивающих пружин. Поэтому для подбора пружин в блоке рабочую жесткость желательнее установить ниже 93013 Н/м. Однако при этом следует учитывать факт, что чрезмерное уменьшение жесткости c может привести в процессе копирования к деформациям уравнивающих пружин, превышающим пределы их рабочих деформаций. С учетом сказанного рекомендуем устанавливать рабочую жесткость блока уравнивающих пружин в пределах 9 кН/м.

Выводы

1. Для качественного функционирования капустоуборочного комбайна необходимо уравнивать часть веса его режущего аппарата.

2. Чтобы при этом избежать «галопирования» режущего аппарата следует выбрать жесткость блока уравнивающих пружин исходя из условия $c < mgl_{AD}^2 / \Delta hl_{AC}^2$ (здесь mg – вес режущего аппарата; l_{AD} , l_{AC} – длины рычагов Г-образного звена подвески; Δh – разница высот расположения шарниров нижней части

Г-образного звена в крайнем нижнем положении режущего аппарата).

Список

использованных источников

1. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Техника и технологии для уборки кочанной капусты (обзор, теория, технологический расчет, развитие). Чебоксары: типография Чувашского ГУ, 2020. 238 с.
2. Кручинкина И.С., Алатырев А.С., Алатырев С.С., Григорьев А.О. Производственная проверка многовариантного капустоуборочного комбайна // Вестник Воронежского ГАУ. 2021. Т. 14, № 1(68). С. 27-40. DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_1_27.
3. Тагг С.М. Краткий курс теоретической механики. 20-е изд., стер. М.: ВШ, 2010. 416 с.

Substantiation of the Rigidity of the Block of Balancing Springs of the Copying Device of a Multi-Variant Cabbage Harvester

A.S. Alatyrev, I.S. Kruchinkina, S.S. Alatyrev

(Chuvash State Agrarian University)

Summary. The article deals with the particularities of counter-balancing of the part of the weight of a cabbage harvester cutting unit with a spring block for high-quality copying of the soil relief with minimal pressure of the support skis. It is proposed to prevent the "galloping" of the cutting unit by leaving a small part of the weight of the cutting unit unbalanced in its lower extreme position.

Key words: copying device, cabbage harvester, rigidity, counter-balancing springs.



УДК 001.57: 621.314.21:621.315.1:621.3.027.23

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-39-43

Разработка физической модели сельской электрической сети 0,4 кВ

А.А. Лансберг,мл. науч. сотр.,
lansbergaa@vk.com**А.В. Виноградов,**д-р техн. наук, доц.,
гл. науч. сотр.,
winaleksandr@gmail.com
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Представлена разработанная физическая модель сельской электрической сети 0,4 кВ, содержащая устройство секционирования линий электропередачи и фотоэлектрическую установку. Приведена принципиальная электрическая схема модели и принципы её функционирования. Осуществлено обоснование параметров модели с учетом теории подобия. Произведена оценка достоверности модели сельской электрической сети 0,4 кВ на примере моделирования токов однофазного короткого замыкания и их сравнения со значениями, полученными по ГОСТ 28249-93.

Ключевые слова: физическая модель, теория подобия, трансформатор, линия электропередачи, фотоэлектрическая установка, секционирование, опыт короткого замыкания.

Постановка проблемы

Большое количество работ как зарубежных, так и отечественных учёных направлено на моделирование электрических сетей, которое является одним из наиболее достоверных способов изучения процессов, происходящих в них. При этом в большинстве работ используется компьютерное моделирование. Например, моделирование неисправностей в программном комплексе MATLAB/Simulink по действующей в Нигерии распределительной сети с целью оценки её надёжности в разных режимах работы [1], или исследование влияния высших гармоник и несимметрии на работу электро-

двигателей [2]. Выявлено, что вследствие наличия высших гармоник КПД снижается на 2-4% из-за возникающих дополнительных потерь.

Влияние на синусоидальную форму кривой напряжения и значения фазных напряжений процессов включения различных типов нагрузок на стороне 11 кВ и осциллограммы режимов, полученные с применением MATLAB/Simulink, приведены в работе [3].

Наиболее близкой к предлагаемой является работа по оценке тока однофазного короткого замыкания в наиболее удалённой точке электрической сети 0,4 кВ, выполненная на полигоне ПАО «Россети Урал»-«Челябэнерго» [4]. Выбранная для испытаний сеть имеет небольшую протяженность (481 м) и состоит из проводов двух типов: СИП-2 3×30+1×50 и АС-35. Для указанной линии разработана модель в MATLAB Simulink [5], недостатком которой является то, что она не дает возможности исследования распределения напряжения вдоль линии при установившихся аварийных несимметричных режимах. Разработанная аналогичная физическая модель [6] характеризуется теми же недостатками, что и математическая, не является наглядной и не отвечает требованиям электробезопасности. Кроме того, она не позволяет моделировать режимы работы с устройствами распределённой генерации и автоматизации.

В настоящее время существует ряд математических методов исследования режима однофазного короткого замыкания в электрической сети 0,4 кВ. Так, первый из них согласно ГОСТ 28249-93 «Межгосударственный стандарт. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ» позволяет

определить численное значение тока однофазного короткого замыкания (КЗ) на основе метода симметричных составляющих. Второй метод также позволяет определить значение тока однофазного КЗ путем алгебраического сложения полных сопротивлений элементов до точки КЗ и называется упрощённым методом петли «фаза-ноль» [7].

Другими методами определения тока короткого замыкания являются компьютерное моделирование с помощью программы MATLAB Simulink и разработанной в ней модели сети [8] и математических моделей, разработанных, например, коммерческой компанией «Проект РЗА», и др. Модели позволяют не только определить значение тока однофазного КЗ, но и исследовать другие электрические параметры режимов работы сети. Сравнение показывает, что получаемые с применением указанных моделей результаты на 25% меньше, чем полученные по расчётным методам.

Существуют и практические методы определения тока однофазного КЗ, применяемые в электросетевых организациях: с использованием прибора, предназначенного для измерения сопротивления петли «фаза-ноль» и расчета ожидаемого тока КЗ при текущем фазном напряжении, а также непосредственный замер тока аварийного режима. Такие методы не всегда применимы, особенно в реальных сетях, поэтому физическое моделирование с целью выбора наиболее достоверного способа оценки тока однофазного короткого замыкания в сетях 0,4 кВ и других параметров режимов работы сетей весьма актуальны.

Цель исследования – разработка, обоснование параметров и оценка достоверности физической модели сельской электрической сети 0,4 кВ,

содержащей устройство секционирования линий электропередачи и возобновляемый источник энергии.

Материалы и методы исследования

Проектирование физической модели было осуществлено на основе конфигурации действующей электрической сети 0,4 кВ Орловского района [9]. Для физической модели была предусмотрена аналогичная указанной линии конфигурация с магистралью и отпайкой от магистрали. Длина магистрали и отпайки в линии-прототипе составляет более 500 м, что больше рекомендованной ПУЭ. Это согласуется с тем, что в филиалах электросетевых организаций ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» средние протяженности линий составляют 737-985 м [10].

Обоснование параметров модели производилось согласно положениям, представленным в работах [11, 12], где приведены методы, позволяющие при уменьшении мощностей, напряжений и токов исследовать физические процессы действующей электрической сети, а впоследствии с использованием коэффициентов подобия получить характеристики оригинала пересчётом.

В качестве прототипа трансформатора принят понижающий силовой трансформатор ТМ-250-10/0,4 кВ Y/Y_н, один из наиболее массовых в сельских электрических сетях. Также проведены расчёты для трансформаторов типов ТМ-63, ТМ-100 и ТМ-160, составляющих 14, 23 и 20% парка трансформаторов соответственно [13]. Характеристики указанных типов трансформаторов представлены в работе [14].

В физической модели был использован трехфазный трансформатор малой мощности типа ТТ-0,16-380/38 В с естественным воздушным охлаждением (сухим) при схеме соединения обмоток Y/Y_н. Определены его технические характеристики, которые далее использованы в расчёте коэффициентов подобия.

Методика определения коэффициентов подобия физической модели

выполнена с использованием основных положений теории подобия [11]. Первоначально определены коэффициенты подобия, которые связывают напряжения действующей сети и модели, а также полные сопротивления трансформаторов. Коэффициент подобия по напряжению определяется [11] по формуле

$$m_U = \frac{U_M}{U_O} \text{ (о.е.)}, \quad (1)$$

где U_M – номинальное напряжение физической модели сельской электрической сети, В;

U_O – напряжение действующей электрической сети (оригинала, прототипа модели), В.

Коэффициент подобия по сопротивлению трансформаторов определяется [11] как

$$m_Z = \frac{Z_M}{Z_O} \text{ (о.е.)}, \quad (2)$$

где Z_M – полное сопротивление трансформатора малой мощности ТТ-0,16-380/38 В, осуществляющего питание физической модели, Ом;

Z_O – полное сопротивление промышленного трансформатора прототипа (в рассматриваемом случае ТМ-250-10/0,4 кВ Y/Y_н), Ом.

Коэффициент подобия по току определяется [11] следующим образом:

$$m_I = \frac{m_U}{m_Z} \text{ (о.е.)}, \quad (3)$$

где m_U – коэффициент подобия по напряжению, о.е.;

m_Z – коэффициент подобия по сопротивлению трансформаторов, о.е.

Коэффициент подобия по мощности определяется [11] из выражения

$$m_S = \frac{m_U^2}{m_Z} \text{ (о.е.)}. \quad (4)$$

Коэффициенты подобия позволяют произвести моделирование любого типа провода при трансформаторе заданной мощности. При этом для трансформаторов разных номинальных мощностей одинаковая протяженность провода заданного сечения действующей линии, например 1 км,

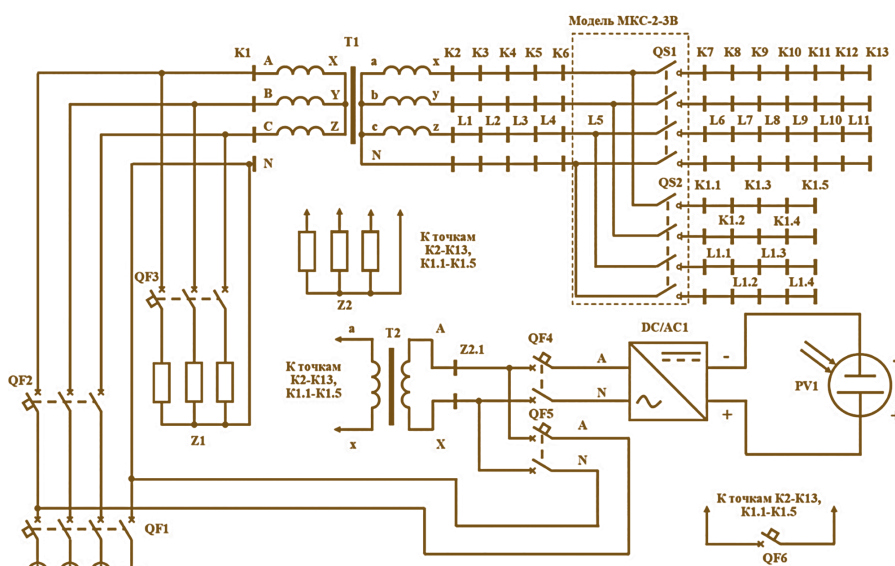


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема физической модели сельской электрической сети 0,4 кВ:

QF1-QF6 – автоматические выключатели; QS1, QS2 – выключатели нагрузки; Z1, Z2 – нагрузки; Т1 – трёхфазный трансформатор, предназначенный для питания физической модели электрической сети;

Т2 – однофазный трансформатор, предназначенный для подключения возобновляемого источника питания и моделирования обратной трансформации;

K1-K13, K1.1-K1.5 – клеммы;

L1-L11, L1.1-L1.4 – участки линий электропередачи низкого напряжения;

DC/AC1 – инвертор малой мощности; PV1 – солнечная панель

на физической модели будет значительно различаться ввиду того, что определение коэффициентов подобия осуществляется по сходству трансформаторов.

Для моделирования участков линий электропередачи на физической модели используется нихромовая проволока из сплава Х20Н80 сечением 0,5 мм², сопротивление которой составляет 5,6 Ом/м [15]. Коэффициенты подобия определены для провода А-35 как самого массового в сельских электрических сетях на примере Орловской области [13].

Коэффициент загрузки силового трансформатора при имитации аварийных режимов и использовании любых типов нагрузок определяется [11] по формуле

$$\beta_z = \frac{I_{\Phi(M)}}{I_{\text{номНН}}} \cdot 100(\%), \quad (5)$$

где $I_{\Phi(M)}$ – фазный ток модели в исследуемом режиме работы, А;

$I_{\text{номНН}}$ – номинальный ток обмотки низшего напряжения трансформатора ТТ-0,16-380/38 В, А.

Для реализации физической модели сельской электрической сети 0,4 кВ была разработана электрическая схема, представленная на рис. 1.

Фазное напряжение на модели составляет 22 В, что безопасно для проведения испытаний. Расчёт производился для случая моделирования замыкания в сети, содержащей трансформатор ТМ-250 и провод А-35. Полученные результаты натурального физического моделирования однофазного короткого замыкания сравнивали с расчётными данными (по ГОСТ 28249-93).

Результаты исследований и обсуждение

Коэффициенты подобия трансформатора малой мощности ТТ-0,16-380/38 В физической модели и промышленных прототипов трансформатора определены по формулам (1-4) и представлены в табл. 1.

С помощью полученных коэффициентов подобия, представленных в табл. 1, определено сопротивление

1 км провода А-35, $z_{L(M)}$, Ом, для физической модели при использовании в качестве прототипа источника питания трансформатора ТМ-250:

$$z_{L(M)} = z_{L(o)}^{A-35} \cdot m_z^{TM-250} = 0,902 \cdot 21,44 = 19,34. \quad (6)$$

Протяженность действующей линии 1 км на модели при использовании нихромовой проволоки сечением 0,5 мм² с сопротивлением $Z_{X20H80} = 5,6$ Ом/м, L_M , см:

$$L_M = \frac{z_{L(M)} \cdot 100}{z_{X20H80}} = \frac{19,34 \cdot 100}{5,6} \approx 345 \text{ см}. \quad (7)$$

Получена зависимость, которая показывает протяженность нихромовой проволоки сечением 0,5 мм² с сопротивлением 5,6 Ом/м, необходимую для моделирования 1 км проводов А-35 при использовании для трансформаторов конструкции ТМ разных номинальных мощностей: от 25 до 630 кВА (рис. 2).

Таблица 1. Коэффициенты подобия для силовых трансформаторов 6-10 кВ типов конструкции ТМ

Мощность, кВА	Коэффициент подобия, о.е.			
	по напряжению, m_U	по сопротивлению, m_z	по току, m_I	по мощности, m_S
63	0,1	5,18	0,0193	0,00193
100	0,1	8,25	0,0121	0,00121
160	0,1	13,59	0,0074	0,00074
250	0,1	21,44	0,0047	0,00047

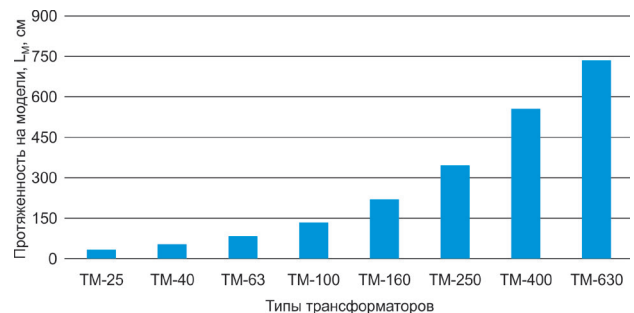


Рис. 2. Зависимость протяженности нихромовой проволоки, необходимой для моделирования 1 км проводов А-35, от трансформатора конструкции ТМ разной номинальной мощности

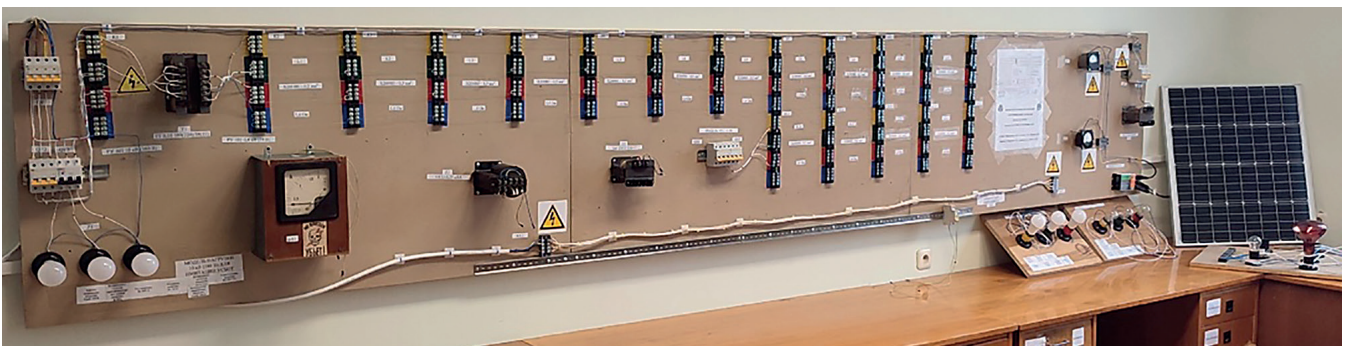


Рис. 3. Внешний вид физической модели сельской электрической сети 0,4 кВ

Таблица 2. Результаты измерений токов однофазного короткого замыкания

№ п/п	Ток однофазного КЗ, А (I_{k1})	Полная мощность однофазного КЗ, ВА (S_{k1})	Точка КЗ на модели	Сопротивление Z до точки на модели, Z_m , Ом	Загрузка трансформатора при данном токе, β , %
1	Опыт не проводился для недопущения выхода из строя трансформатора		K2	0	-
2	2,681	56	K3	3,6	110
3	2,08	44	K4	5	86
4	1,7	36	K5	6,4	70
5	1,443	31	K6	7,8	59
6	1,248	27	K7	9,2	51
7	1,1	24	K8	10,6	45
8	0,976	21	K9	12	40
9	0,87	19	K10	13,4	36
10	0,795	17	K11	14,8	33
11	0,731	16	K12	16,2	30
12	0,591	13	K13	19,8	24

Таблица 3. Результаты пересчёта параметров модели на действующую линию при использовании трансформатора ТМ-250 и провода А-35

№ п/п	Ток однофазного КЗ, А (I_{k1})	Полная мощность однофазного КЗ, кВА (S_{k1})	Точка КЗ на модели	Сопротивление до точки на ВЛ 0,4 кВ, Z_0 , Ом	Расстояние при замыкании на ВЛ 0,4 кВ, L , м
1	Опыт не проводился для недопущения выхода из строя трансформатора (на модели)		K2	0	0
2	570	119	K3	0,168	186
3	443	94	K4	0,233	258
4	362	77	K5	0,298	331
5	307	66	K6	0,363	402
6	266	57	K7	0,429	476
7	234	51	K8	0,494	548
8	208	45	K9	0,56	621
9	185	40	K10	0,625	693
10	169	36	K11	0,69	765
11	156	34	K12	0,756	838
12	126	28	K13	0,923	1023

Аналогично можно получить протяжённости для других сечений неизолированных проводов, а также самонесущих изолированных проводов типов СИП-2 и СИП-4.

Внешний вид разработанной физической модели представлен на рис. 3.

Для оценки достоверности разработанной физической модели был реализован опыт однофазного КЗ последовательно на клеммах КЗ-K13 физической модели. Измерения осуществлялись поверенным цифровым мультиметром Omix P99-MZ-3-0,5-RS485 (табл. 2).

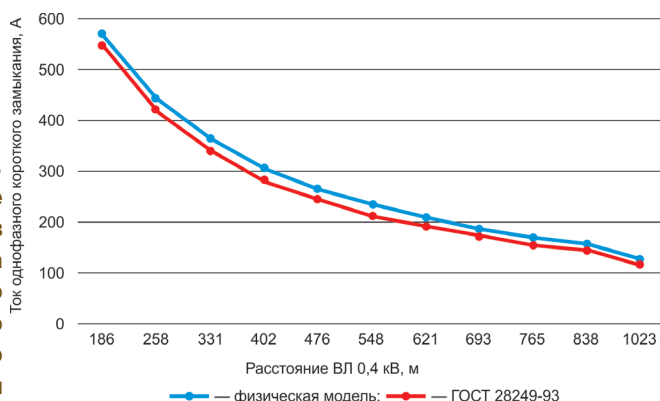
В результате проведенных измерений, представленных в табл. 2, были определены токи однофазных КЗ в соответствующих точках сети. Лишь в одном из опытов при замыкании на клеммах КЗ ток однофазного КЗ превысил номинальный фазный ток обмотки низшего напряжения трансформатора, нагрузка которого составляла 110%. Для недопущения выхода из строя трансформатора однофазное КЗ на его выводах (клемма K2) не осуществлялось.

Результаты пересчётов токов однофазного КЗ и мощностей короткого замыкания физической модели на действующую линию с использованием формул (3)-(4), а также сопротивлений и расстояний в действующей линии с использованием формул (6)-(7) представлены в табл. 3.

Результаты, представленные в табл. 2, являются универсальными и могут быть пересчитаны для любого другого типа трансформатора и провода. Итоги натурного моделирования сравнили с расчётными результатами, полученными с использованием ГОСТ 28249-93 (рис. 4).

Ток однофазного КЗ на удалении 186 м от трансформатора 10/0,4 кВ, полученный с помощью расчета по методике ГОСТ 28249-93, составляет 549 А, при этом измеренный ток на физической модели в точке КЗ, эквивалентной по сопротивлению такому же расстоянию линии, – 570 А, т.е. погрешность составила 3,6%. В свою очередь, в наиболее удаленной точке на расстоянии 1023 м результаты, полученные с помо-

Рис. 4. Сравнение результатов расчётов тока однофазного короткого замыкания и его моделирования



щью методик ГОСТ и моделирования, составили соответственно 118 и 126 А, т.е. погрешность – 6,3%. Таким образом, можно сделать вывод, что результаты, получаемые при натурном моделировании на разработанном стенде, имеют погрешность в пределах 3,6-6,3% и разработанная модель характеризуется достаточно высокой степенью достоверности.

Выводы

1. Физическое моделирование сельских электрических сетей позволяет исследовать нормальные и аварийные режимы работы, применение в сети источников распределённой генерации, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии, проверять достоверность различных методов математического и компьютерного моделирования.

2. Разработана физическая модель сельской электрической сети 0,4 кВ, позволяющая моделировать реальные электрические сети 0,4 кВ с различными типами и мощностями трансформаторов и проводов, применением средств секционирования и резервирования, источников генерации. С использованием теории подобия определены коэффициенты подобия использованного в модели трансформатора ТТ-0,16-380/38 ВУ/У_н по отношению к силовым трансформаторам типа ТМ разных мощностей. Также определены протяжённости принятой в модели нихромовой проволоки из сплава Х20Н80 сечением 0,5 мм² для моделирования 1 км линий 0,4 кВ, выполненных разными проводами.

3. На физической модели был реализован опыт устойчивого однофазного КЗ в 11 различных точках. Полученные значения токов были пересчитаны с помощью коэффициентов подобия для реальной сети 0,4 кВ. Сравнение полученных значений с рассчитанными по методике ГОСТ 28249-93 показало, что относительная погрешность полученных результатов составляет 3,6-6,3%. Это позволяет сделать вывод о достаточно высокой достоверности

данных, получаемых с применением разработанной физической модели.

Список

использованных источников

1. **Dauda A. Folarin.** Modeling and Simulation of Faults in Distribution Network System Using MATLAB/Simulink // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 12.3 (2018): 43-51.

2. **Martinez Adrián, Navarro Isaac, Quispe Enrique, Donolo Pablo, Santos Vladimir.** MATLAB/Simulink modeling of electric motors operating with harmonics and unbalance // International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2022. 12. 4640-4648. 10.11591/ijece.v12i5.pp4640-4648.

3. **Ahmed Salam Hussein, Majli Nema Hawas.** Power quality analysis based on simulation and MATLAB/Simulink // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. № 16 (3), December 2019, pp. 1144-1153. DOI: 10.11591/ijeecs.v16.i3.pp.1144-1153.

4. **Млоток А.В., Ершов А.М., Валеев Р.Г., Сидоров А.И.** Опытная электрическая сеть напряжением 380 В // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2014. № 2 (19). С. 96-107.

5. **Валеев Р.Г., Млоток А.В., Ершов А.М., Сидоров А.И.** Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде MATLAB-Simulink // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 9-10. С. 116-128.

6. **Ершов А.М., Хлопова А.В.** Физическая модель электрической сети напряжением 10/0,38 кВ // Электробезопасность. 2016. № 2. С. 13-21.

7. **Виноградов А.В., Лансберг А.А.** Опыт измерений при однофазном коротком замыкании в электрической сети 0,4 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2022. № 3 (36). С. 5-15.

8. **Лансберг А.А.** Обоснование параметров компьютерной модели сельской электрической сети 0,4 кВ В MATLAB SIMULINK // Агротехника и энергообеспечение. 2023. № 3 (40). С. 36-47.

9. **Балабин А.А., Виноградов А.В., Лансберг А.А.** Анализ работы и рекомендации по совершенствованию системы накопления электрической энергии, установленной в сельской электрической

сети 0,4 кВ // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 72-79.

10. **Виноградов А.В., Лансберг А.А., Сорокин Н.С.** Характеристика электро-сетевых компаний по количеству и протяженности линий электропередачи, мощности подстанций // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 2 (47). С. 31-41.

11. **Веников В.А.** Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) : Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: ВШ, 1976.

12. **Ершов А.М.** Защита электрических сетей напряжением 380 В при однофазных коротких замыканиях: моногр. / А.М. Ершов, А.И. Сидоров, Р.Г. Валеев. М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 232 с.

13. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации : моногр. / А.В. Виноградова, А.А. Лансберг, А.В. Виноградов. Под ред. Виноградова А.В. Орёл: Картуш, 2023. 360 с.

14. Новые технологии. Силовые трансформаторы, подстанции, электрооборудование и пр. URL: <https://transelektro.nt-rt.ru/?ysclid=lfwdlojypo86783165> (дата обращения: 31.03.2023).

15. Нихром. Проволока нихромовая, бухта 10 м. Chipdip. URL: <https://www.chipdip.ru/product/nihrom-0.4?ysclid=iftnwbti9u423173563> (дата обращения: 26.04.2023).

Development of the Physical Model of a Rural 0.4 kV Electrical Network

A.A. Lansberg, A.V. Vinogradov
(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The physical model of a rural 0.4 kV electric network containing a transmission line sectioning device and a photovoltaic array is presented. The basic electric circuit of the model and its operating principles are given. The model parameters are substantiated taking into account the similarity theory. The reliability of the 0.4 kV rural electric network model is assessed using the example of modeling single-phase short-circuit currents and comparing them with the GOST 28249-93 values.

Key words: physical model, similarity theory, transformer, power transmission line, photovoltaic array, sectioning, short circuit experiment.

Проблемы отказа от глубокого рыхления почвы и экономическая эффективность технических средств для разуплотнения подпахотного горизонта

Т.А. Юрина,

науч. сотр.,
agrolaboratoriya@mail.ru

Д.А. Петухов,

канд. техн. наук, зав. лабораторией,
вед. науч. сотр.,
dmitripet@mail.ru

С.А. Свиридова,

зав. лабораторией,
S1161803@yandex.ru

Н.В. Трубицын,

канд. техн. наук, зав. лабораторией,
вед. науч. сотр.,
trubicin@yandex.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТиМ]);

М.В. Дулясова,

канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф.,
врио директора
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

Аннотация. Проанализированы проблемы отказа от глубокого рыхления почвы, представлены параметры эффективных образцов чизельных плугов и глубокихрыхлителей, испытанных на МИС. Приведены режимы и функциональные показатели их работы в составе машинно-тракторных агрегатов; выполнен сравнительный анализ показателей экономической оценки.

Ключевые слова: почва, переуплотнение, переувлажнение, глубокое рыхление, подпахотный горизонт, чизельный плуг, глубокихрыхлитель, параметры и режимы работы, качество выполнения технологического процесса, экономические показатели.

Постановка проблемы

Применяемые в настоящее время традиционные технологии обработки почвы с отвальной вспашкой приводят к образованию «плужной подошвы», которая препятствует проникновению выпавших осадков в нижележащие

слои и испарению излишков влаги из нижних горизонтов [1]. В связи с высокой интенсификацией производства в растениеводстве возникла острая проблема переуплотнения почв под воздействием современной металлоемкой сельскохозяйственной техники. Ресурсосберегающие технологии с минимальной и нулевой обработкой почвы зачастую реальной экономии денежных средств не дают, так как значительно возрастают затраты на другие технологические нужды (средства защиты растений и др.) [2].

Рыхление подпахотного горизонта увеличивает мощность корнеобитаемого слоя почвы, улучшает ее воздушный, водный и тепловой режимы, активизирует биологические процессы, способствует накоплению влаги, предотвращает ветровую и водную эрозию [1].

Отказ от глубокого рыхления на тяжелосуглинистых черноземах приводит к ухудшению их водопроницаемости, резкому снижению использования зимних осадков, формированию стока талых вод, смыва и размыва верхнего плодородного слоя почвы, при этом в метровый слой почвы на полях с чистым паром впитывается лишь до 20 % выпадающих осадков [3].

По данным Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, переуплотнение почвы в сельскохозяйственных предприятиях всех форм собственности происходит на 80 % площади [4]. При среднем уплотнении 1,4 г/см³ урожай на пахотных почвах всех типов снижается до 30%. При более высоком уплотнении потери урожая могут составить до 50% [5]. Известно, что последствия однократного интенсивного уплотнения сохраняются до 5 лет, а при многократном (из года в

год) воздействию они накапливаются. Уплотнение почвы происходит как в вертикальном, так и в горизонтальном (до 70 см) направлениях.

Интенсивное уплотнение влияет на снижение водопроницаемости почвы, что под воздействием избыточной влажности приводит к затоплению переуплотненных участков полей (рис. 1). Как правило, временное переувлажнение почв формируется в результате весенних частых и интенсивных дождей. Структура временно переувлажняемой и затопляемой почвы представлена в основном глыбистой фракцией. Сумма агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте достигает до 50%, но оптимальные значения должны быть в пределах 60-80% от общей массы почвы. По данным КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко, в Краснодарском крае гидроморфизм наблюдается на площади пашни порядка 600 тыс. га [6].

Главной проблемой при переувлажнении почвы является снижение её плодородия и сельскохозяйственного потенциала, ухудшается тепловой режим, происходит вымокание посевов, затрудняется выполнение полевых работ, появляются влаголюбивые виды сорняков. Сразу после затопления начинаются процессы гниения и брожения, полезные микроорганизмы истощаются, а патогенные бактерии и грибы, вызывающие выпревание всходов и гибель корней растений, активно развиваются. В результате рост и развитие растений прекращаются, их листья буреют и засыхают после схода воды, а через несколько дней растения погибают [7].

Одним из наиболее эффективных приемов разуплотнения почвы с целью предотвращения стока, смыва, задер-



а

б

Рис. 1. Затопленные участки полей, подготовленных под посев пропашных культур (а), с посевами озимой пшеницы (б)

Таблица 1. Краткая техническая характеристика глубокорыхлителей и чизельных плугов

Показатели	ГН-250	ПРБ-3	РВН-3	ПГР-4	ПРБ-4А	ПЧМ-4	ПЧН-4,0К2	ПЧ-4,5П
Ширина захвата, м	2,5	2,9	2,9	3,8	4,0	3,7	3,7	4,6
Рабочая скорость, км/ч	6,3	8-10,1	7-9	6-10,4	6,9-9,7	7-10	8-9	8,42-9,58
Число рабочих органов	5	6	6	8	8	8	8	8
Глубина обработки, см	До 62,1	25-45	До 45	22-50	17-45	До 45	23-48	До 45
Габаритные размеры, мм	2670×2570× ×1480	2710× ×3520× ×1680	2660× ×3140×1690	2740×4335× ×2010	3130× ×4340× ×1965	2760×4040× ×1860	3640×3980× ×1880	7235×5070× ×1935
Масса, кг	1120	1530	1430	1775	1782	2350	2260	3000
Тяговый класс трактора	3	3-4		5				5-6
Дополнительные рабочие органы	Двойной зубчатый каток	Трубчатый каток				Зубчатый каток	Двойной зубчатый каток	Зубчатый каток
Изготовитель	ООО «Гаспардо РМ», г. Саранск	ОАО ВЭМЗ, г. Волгоград	ООО НИПВФ «ТЕНЗОР-Т», г. Таганрог	ЗАО «РТП Зерноградское», г. Зерноград	ОАО ВЭМЗ, г. Волгоград	ЗАО «КОМЗ-Экспорт», г. Каменск-Шахтинский	ОАО «Светлоград-агромаш», г. Светлоград	ООО «БДМ-Агро», г. Краснодар
МИС	Центрально-Черноземная	Северо-Кавказская						

жания талых вод, устранения эффекта затопления полей является глубокое рыхление почвы на глубину 60 см [8]. Глубокорыхлители рекомендуется использовать при любой технологии земледелия: как традиционной, так и минимальной, и нулевой.

Необходимо также шире применять глубокое рыхление в сочетании с чизелеванием и другими приемами устранения переуплотнения, переувлажнения и эрозии почвы как на Кубани, так и в других регионах. Система земледелия на Кубани предусматривает разумное сочетание отвальных способов, безотвальных и чизелевания [9]. Научными исследованиями в Краснодарском крае установлено, что глубокая чизельная обработка почвы способствует её разуплотнению, созданию оптимальных водно-физических свойств и получению стабильных высоких урожаев зерновых культур [10].

В равнинных агроландшафтах, подверженных временному переувлажнению и подтоплению осенне-зимними осадками, для снижения гидроморфизма в систему основной обработки

почвы 2 раза в ротацию севооборота под глубокоукореняющиеся культуры рекомендуется проводить безотвальное рыхление на глубину до 70 см и на его фоне применять отвальную вспашку, поверхностную обработку и прямые посевы.

Благодаря высоким технико-эксплуатационным показателям работы использование глубокорыхлителей и чизельных плугов позволяет при высоком качестве обработки до 40 % уменьшить энергозатраты по сравнению с обычной отвальной вспашкой при одинаковых условиях работы.

Для решения перечисленных проблем были проанализированы показатели технических средств, которые проходили испытания на машиноиспытательных станциях, и обосновано применение наиболее эффективных из них для разуплотнения подпахотного горизонта почвы.

Цель исследования – анализ технических средств для глубокого рыхления почвы с обоснованием наиболее эффективных образцов для разуплотнения подпахотного горизонта.

Материалы и методы исследования

Исходными данными послужили результаты испытаний, проводившихся на Северо-Кавказской и Центрально-Черноземной МИС, различных моделей чизельных плугов и глубокорыхлителей, получивших положительные заключения по результатам испытаний.

Методика исследований основана на комплексном анализе эксплуатационно-технологических и экономических показателей глубокорыхлителей и плугов чизельных с обоснованием наиболее эффективных образцов для разуплотнения подпахотного горизонта.

Для комплексного анализа в качестве объектов исследования были взяты восемь образцов глубокорыхлителей и чизельных плугов семи производителей (табл. 1). Исследуемые образцы предназначены для углубления и разуплотнения пахотного горизонта, повышения влагопоглощающей способности и воздухопроницаемости почвы. Глубокая обработка почвы без оборота пласта позволяет разрушить «плужную подошву», разрыхлить почву и углубить

пахотный слой, что способствует улучшению воздушного режима почвы, сохранению и накоплению продуктивной влаги. Стерня, оставленная на поверхности, и неразрушенные гребни на дне борозды способствуют предупреждению водной и ветровой эрозии.

Все исследуемые навесные орудия оборудованы рабочими органами типа «Параплау», лишь на глубокорыхлителе ГН-250 установлены рабочие органы типа «Дельтаплау», состоящие из анкерного долота и стойки. Каждое орудие оборудовано шлейфом зубчатых или трубчатых катков, предназначенных для разрушения почвенных комков, выравнивания и уплотнения верхнего слоя почвы.

Орудия для глубокой обработки почвы представлены образцами с рабочей шириной захвата от 2,5 до 4,6 м и числом рабочих органов от 5 до 8. Машины с рабочей шириной захвата от 2,5 до 2,9 м агрегируются с тракторами тягового класса 3, а остальные (3,7-4,6 м) – с тракторами тягового класса 5.

Из рассмотренных образцов лишь ГН-250 – глубокорыхлитель с глубиной обработки почвы до 62,1 см, остальные образцы независимо от их наименования относятся к чизельным плугам с глубиной обработки до 50 см.

Показатели эксплуатационно-технологической оценки исследуемых почвообрабатывающих агрегатов приведены в табл. 2.

Крошение почвы у всех рассматриваемых орудий благодаря наличию прикатывающих катков (зубчатых и трубчатых) находится на довольно высоком уровне (82,9-98,6%). Сохранение стерни варьируется от 60,5 до 89,3%, гребнистость – от 1,9 до 4,3 см.

Все исследуемые орудия качественно выполняют технологический процесс разуплотнения подпахотного слоя почвы и соответствуют исходным требованиям на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. Но по показателю глубины обработки почвы наиболее предпочтительным и отвечающим потребительским свойствам по глубине не менее 45 см является глубокорыхлитель ГН-250, который позволяет проводить глубокое рыхление почвы до 62,1 см.

Экономическая оценка работы агрегатов с техническими средствами для разуплотнения подпахотного слоя почвы проведена в соответствии с ГОСТ 34393-2018. Расчеты выполнялись для площади 1000 га, агротехнический срок – 10 дней, продолжительность работы в сутки (смена) – 10 ч. Стоимость техники – без учета НДС.

Для проведения сравнительного анализа полученных показателей агрегаты разбиты на две группы по агрегатированию с тракторами тягового класса 3 и 5.

Результаты исследований и обсуждение

Сравнительный анализ показателей экономической оценки трех моделей глубокорыхлителей, испытанных с тракторами тягового класса 3, показал, что практически по всем показателям, за исключением потребности в топливе, наиболее эффективным является машинно-тракторный агрегат (МТА) с рыхлителем РВН-3 (табл. 3, рис. 2).

При работе агрегата с рыхлителем РВН-3 трудоемкость механизированных работ была наименьшей и составила 0,5 чел.-ч/га. При работе двух других агрегатов трудоемкость была выше: на 4% – у агрегата с плугом-рыхлителем ПРБ-3 и на 64% – у агрегата с глубокорыхлителем ГН-250. Необходимая потребность в технике и обслуживающем персонале в расчете на 1000 га при применении МТА с РВН-3 также была наименьшей и составила пять МТА и пять механизаторов. При использовании МТА с ПРБ-3 потребность в технике и механизаторах оказалась выше на 20%, МТА с ГН-250 – на 80%.

При работе агрегата с плугом-рыхлителем ПРБ-3 потребность в топливе была наименьшей и составила 11,22 т на 1000 га, с рыхлителем РВН-3 – выше на 8,4%, с глубокорыхлителем ГН-250 – на 74,8%.

Минимальная величина капитальных вложений в необходимое количество

Таблица 2. Эксплуатационно-технологические показатели глубокорыхлителей и плугов чизельных

Показатели	ГН-250	ПРБ-3	РВН-3	ПГР-4	ПРБ-4А	ПЧМ-4	ПЧН-4,0К2	ПЧ-4,5П
Марка трактора, мощность двигателя, л.с.	K-3180 ATM, 180	John Deere 7830, 205		John Deere 8310R, 310	K-701, 300		John Deere 8310R, 310	
Вид работы	Глубокое рыхление	Основная безотвальная обработка стерни озимой пшеницы	Основная безотвальная обработка стерни ярового ячменя	Основная безотвальная обработка стерни озимой пшеницы	Основная безотвальная обработка	Глубокое рыхление почвы	Основная безотвальная обработка стерни озимой пшеницы	
Рабочая скорость, км/ч	6,3	8,2	8,1	10,4	10,7	9,5	8,3	8,4
Рабочая ширина захвата, м	2,3	2,9	3,1	4	3,9	4,1	4,1	4,7
Производительность в час времени, га:								
основного	1,44	2,38	2,51	3,95	4,12	3,85	3,4	3,96
сменного	1,22	1,91	2	3,12	3,12	3,05	2,6	3,15
Расход топлива, кг/га	19,61	11,22	12,16	21,75	18,48	14,62	15	12,34
Глубина обработки, см	62,1	43,3	44	43,9	43,4	43,1	44,3	42,9
Крошение почвы (размер фракций до 50 мм), %	82,9	94,2	98	95,8	95,7	98,6	95	88,6
Сохранение стерни, %	-	70,2	60,5	65,9	61,8	63,7	89,3	64,5
Гребнистость, см	4,3	3,2	1,9	3,4	2,8	3	4,1	3,2

Таблица 3. Экономическая оценка работы глубокорыхлителей (на 1000 га)

Показатели	ГН-250	ПРБ-3	РВН-3	ПГР-4	ПЧ-4,5П	ПРБ-4А	ПЧМ-4	ПЧН-4,0К2
Марка трактора	К-3180 АТМ	John Deere 7830	John Deere 8310R	К-701				
Затраты труда, чел.-ч	820	520	500	320	320	320	330	380
Потребность:								
в МТА / механизаторах	9	6	5	4	4	4	4	4
топливе, т	19,61	11,22	12,16	21,75	12,34	18,48	14,62	15
капитальных вложений – всего, тыс. руб.	107 045	127 885	106 470	137 257	138 487	37 597	38 257	38 243
в том числе в плуги	4 538	2 885	2 304	2 257	3 487	2 263	2 923	2 910
Эксплуатационные затраты денежных средств, тыс. руб.	4 188	3 085	3 031	3 616	3 027	2 491	2 361	2 618

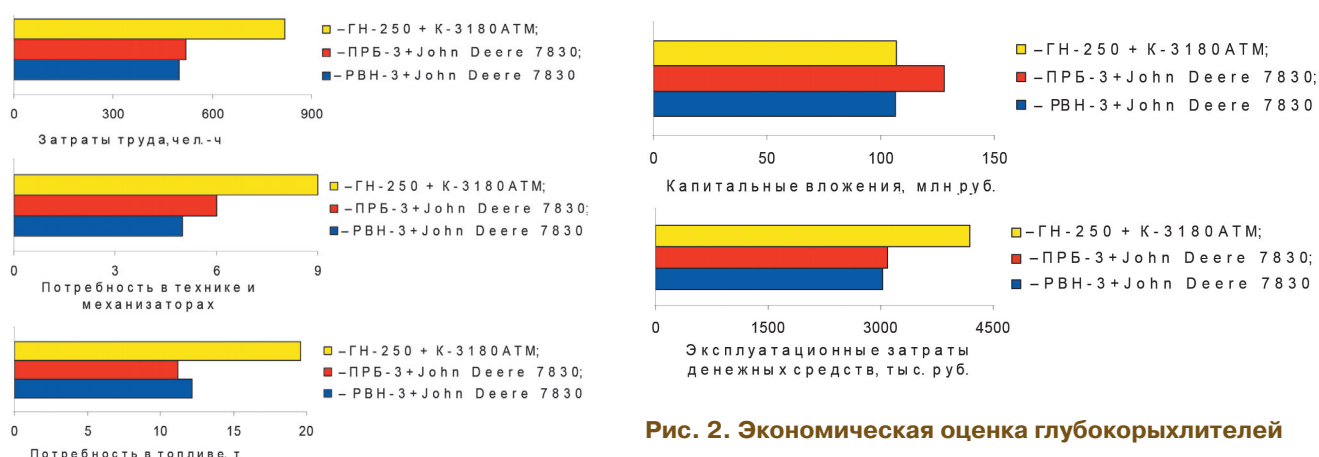


Рис. 2. Экономическая оценка глубокорыхлителей

техники для обработки 1000 га наблюдается при использовании агрегата с РВН-3 – 106,47 млн руб. в пять агрегатов. В двух других вариантах применения агрегатов с чизельными плугами капиталовложения выше: на 0,5% – в МТА с ГН-250 (девять агрегатов), на 20,1% – при применении агрегатов с ПРБ-3 (шесть агрегатов).

Минимальные эксплуатационные затраты отмечены при работе агрегата с РВН-3 – 3 031 руб./га. При работе агрегата с ПРБ-3 эксплуатационные затраты были выше на 1,8%, с ГН-250 – на 38,2%. Таким образом, из трех глубокорыхлителей, испытанных с тракторами тягового класса 3, наиболее эффективным является рыхлитель РВН-3.

Проведенная экономическая оценка двух моделей плугов чизельных ПГР-4 и ПЧ-4,5П, испытанных с зарубежным трактором тягового класса 5 – John Deere 8310R, показала, что по показателям трудоемкости выполнения механизированных работ, необходимой потребности в технике и обслуживающем персонале оба агрегата равно эф-

фективны (см. табл. 3). Трудоемкость механизированных работ составила 0,32 чел.-ч/т, необходимая потребность в технике и обслуживающем персонале для обработки 1000 га почвы – четыре МТА и четыре механизатора.

По потребности в топливе более эффективным является агрегат с плугом чизельным ПЧ-4,5П, при работе которого необходимо 12,34 т на 1000 га. При работе агрегата с плугом-глубокорыхлителем ПГР-4 потребность в топливе выше на 76,3%.

По размеру капитальных вложений в необходимое количество техники в расчете на 1000 га предпочтительнее вариант с плугом ПГР-4 (137,3 млн руб. в четыре агрегата). При использовании МТА с плугом ПЧ-4,5П капиталовложения незначительно выше – на 0,9%.

Эксплуатационные затраты при работе агрегата с плугом ПЧ-4,5П ниже (3 027 руб./га), агрегата с плугом ПГР-4 – выше на 19,5%. Проведенный анализ показателей экономической оценки позволяет сделать вывод о том, что по критерию минимума капитальных вложений наиболее эффективным

является применение плуга ПГР-4, по критерию минимума эксплуатационных затрат – плуга чизельного ПЧ-4,5П.

Сравнительный анализ показателей экономической оценки трех плугов чизельных ПРБ-4А, ПЧМ-4 и ПЧН-4,0К2, испытанных с отечественным трактором тягового класса 5 – К-701, показал, что по трудоемкости механизированных работ наиболее эффективным является агрегат с плугом-рыхлителем ПРБ-4А (0,32 чел.-ч/га). При работе двух других агрегатов трудоемкость механизированных работ была выше: с плугом ПЧМ-4 – на 3,1%, с ПЧН-4,0К2 – на 18,8% (см. табл. 3).

Для всех трех агрегатов необходимая потребность в технике и обслуживающем персонале для обработки 1000 га почвы была одинаковой и составила четыре МТА и четыре механизатора.

По потребности в топливе наиболее эффективным был агрегат с плугом чизельным ПЧМ-4 (14,62 т на 1000 га). При работе двух других агрегатов потребность в топливе была выше: с плугом ПЧН-4,0К2 – на 2,6%, с плугом ПРБ-4А – на 26,4% (рис. 3).

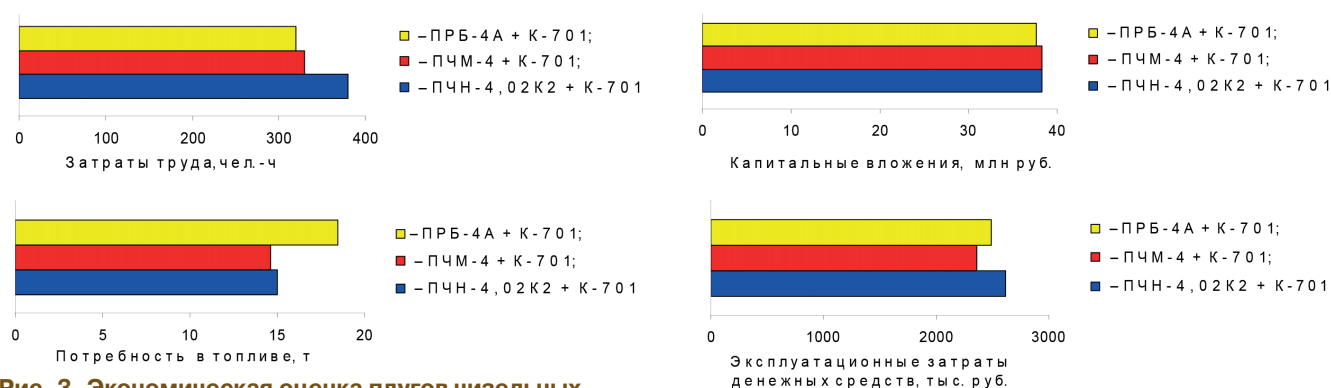


Рис. 3. Экономическая оценка плугов чизельных, испытанных с отечественным трактором тягового класса 5

По критерию минимума капитальных вложений наиболее эффективным является агрегат с плугом чизельным ПРБ-4А. Величина капитальных вложений в агрегат с плугом ПЧН-4,0К2 выше на 1,7%, в агрегат с плугом ПЧМ-4 – на 1,8%. По критерию минимума эксплуатационных затрат наиболее эффективным является агрегат с плугом ПЧМ-4 (2 361 руб./га). При работе двух других агрегатов эксплуатационные затраты выше: у агрегата с плугом ПРБ-4А – на 5,5 %, с плугом ПЧН-4,0К2 – на 10,9%.

Выводы

1. Наиболее эффективным приемом разуплотнения почвы с целью предотвращения стока, смыва, задержания талых вод, устранения эффекта затопления полей является глубокое рыхление почвы на глубину 60-70 см.
2. Наибольшая ширина захвата из исследованных глубоких рыхлителей и плугов чизельных в машинно-тракторных агрегатах равна 2,9 м для тракторов тягового класса 3 и 4,6 м – для тракторов тягового класса 5.
3. Сравнительный анализ показателей экономической оценки работы восьми агрегатов с техническими средствами для разуплотнения подпахотного слоя почвы показал, что наиболее эффективными моделями являются: при агрегатировании с тракторами тягового класса 3 – плуг чизельный типа РВН-3; при агрегатировании с тракторами тягового класса 5 – плуг чизельный типа ПЧ-4,5П и плуг чизельный типа ПЧМ-4.
4. Несмотря на низкие эксплуатационно-экономические показатели, наиболее предпочтительным и отвечающим потребительским свойствам

по глубине обработки почвы не менее 45 см является глубокий рыхлитель типа ГН-250, который позволяет проводить глубокое рыхление почвы на глубину до 62,1 см.

Список использованных источников

1. Петроченко Н.О., Чеботарев В.П. Глубококорыхление – альтернативная обработка почвы // Перспективная техника и технологии в АПК: тезисы Междунар. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Минск, 18-26 мая 2020 г.). Минск, 2020. С. 196-198.
2. Конищев А.А. Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры // Аграрный вест. Урала. 2020. № 3 (194). С. 21-27.
3. Дробышев А.П., Вишняков В.А. Агрометеорологическое обоснование параметров технологии щелевания чернозёма, выщелоченного в условиях Бие-Чумышской возвышенности на Алтае // Вест. Алтайского ГАУ. 2021. № 2 (196). С. 5-11.
4. Какова земля – таков и хлеб. Щелково Агрохим [Электронный ресурс]. URL: <https://betaren.ru/news/kakova-zemlya-takov-i-hleb/> (дата обращения: 01.03.2024).
5. Носков А.Г. Сельское хозяйство 4.0 и переуплотнение почв. Перспективы и прогноз // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. науч. трудов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной году науки и технологий «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики». СПб: ФГБОУ ВО СПбГАУ, 2021. С. 613-616.
6. Плодородие почв в Краснодарском крае и мероприятия по его повышению [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/397381/> (дата обращения: 05.03.2024).
7. Затопляемые поля: сорняки и обработка почвы на территории подтопления [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/zatoplyаемые-polya-sornyaki-i->

obrabotka-pochvy-na-territorii-podtopleniya (дата обращения: 06.03.2024).

8. Юрина Т.А., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Семизоров С.А. Параметры и режимы работы современных технических средств для глубокой обработки почвы // Техника и оборудование для села. 2023. № 6 (312). С. 14-19.

9. Юрина Т.А., Петухов Д.А., Свиридова С.А. Эффективность применения плугов чизельных отечественного производства к тракторам тяговых классов 3-4 // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: матер. XV Междунар. науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2023». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. С. 841-848.

10. Маслов Г. Г., Шишкин М. А. Совершенствование технологии глубокого рыхления почвы // Известия Великолукской ГСХА. 2016. № 4. С. 44-48.

Problems of Abandoning Deep Soil Loosening and Economic Efficiency of Technical Means for Loosening the Subsoil Horizon

T.A. Yurina, D.A. Petukhov, S.A. Sviridova, N.V. Trubitsyn

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

M.V. Dulyasova

(FGBNU "Rosinformagrotech")

Summary. The problems of refusal from deep soil loosening are analyzed, the parameters of effective chisel plows and subsoilers tested at machine-testing station are presented. The modes and functional indicators of their work as part of machine-tractor units are given; the comparative analysis of economic assessment indicators is performed.

Key words: soil, overcompaction, overwetting, deep loosening, subsoil horizon, chisel plow, subsoiler, operating parameters and modes, quality of technological process implementation, economic indicators.