

Редакционная коллегия:

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

Члены редколлегии:

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

Editorial Board:

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

Members of Editorial Board:

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

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА
MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA

В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

Коротченя В.М., Личман Г.И. Приоритеты развития почвообрабатывающих технологий 2

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

Кормоуборочному комбайну Ростсельмаш F 2650 добавили «лошадей» 7
PCM Агротроник Пилот 1.0 рулит, механизатор смотрит 8
Ревенко В.Ю., Иванов А.Б., Петухов Д.А. Новые методы определения площади контактирующей поверхности шин сельскохозяйственных машин и тракторов 10

Технологии, машины и оборудование для АПК

Митрофанов С.В. Использование данных картирования урожайности для выявления участков внутрипольной неоднородности почвенного плодородия 16
Панферов Н.С., Тетерин В.С., Овчинников А.Ю., Пехнов С.А. Моделирование процесса подачи гранул удобрений на диск распределителя твердых минеральных удобрений 22
Васильев С.А., Ильичева Ю.В., Васильев А.А., Ильичев В.В. Обоснование основных параметров устройства для внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений на склонах 27
Беляков М.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Ефременков И.Ю. Обоснование выбора спектральных диапазонов фотолюминесцентного контроля состава и питательной ценности кормов 31
Комаров В.А., Аняйкин П.А., Бурланков С.П. Обеспечение точности технологического оборудования предприятий технического сервиса 37

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

Оськин С.В., Кумейко А.А., Нагучев З.Х., Украинцев М.М. Повышение надежности электроприводов канализационных станций 41

Аграрная экономика

Кузьмин В.Н., Маринченко Т.Е. Снижение импортозависимости мясного птицеводства России 45

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 (отнесен к категории K1).

Научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым издание включено в Перечень ВАК:
4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки);
4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки);
5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

Редакция журнала:

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



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

© «Техника и оборудование для села», 2023
Отпечатано в ФГБНУ «Росинформагротех»
Подписано в печать 22.02.2023 Заказ 46

УДК 631.171, 631.51

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

Приоритеты развития почвообрабатывающих технологий

В.М. Коротченя,канд. экон. наук, вед. науч. сотр.,
valor99@gmail.com**Г.И. Личман,**д-р техн. наук, гл. спец.,
litchmangiv@yandex.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. На основе теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), в частности с использованием понятия идеального конечного результата, установлены приоритеты развития почвообрабатывающих технологий, представляющие собой нерешенные проблемы в области обработки почвы. Данная методология выявления приоритетов может быть использована и для других технологий, не только сельскохозяйственных.

Ключевые слова: почвообрабатывающие технологии, приоритеты, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), идеальный конечный результат, противоречия.

Постановка проблемы

Определение приоритетов развития сельскохозяйственных технологий является важной задачей как для сельского хозяйства страны, так и для сельскохозяйственной науки. Поэтому необходимо иметь полное понимание, как данные приоритеты можно установить для проведения научных исследований в области разработки новых сельскохозяйственных машин и технологий. В настоящей статье ограничимся технологиями обработки почвы, чтобы, с одной стороны, внести конкретность, с другой, – создать прецедент, который можно будет распространить и на другие сельскохозяйственные технологии/машин.

В научной литературе имеется определенный пробел в отношении работ, где бы на системной основе устанавливались интересующие нас

приоритеты. В основном авторы исследуют тот или иной аспект почвообрабатывающих технологий или сельского хозяйства (земледелия) в целом либо выражают свое экспертное мнение относительно приоритетных направлений [1]. Статья [1] – одна из наиболее близких к нам по тематике работ, хотя в ней не используется определенная методология выявления данных направлений.

Одной из лучших методологий определения приоритетов развития технических систем является теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) [2]. Согласно ТРИЗ, технические системы развиваются в направлении роста степени идеальности [3, с. 125]. Данный закон считается основным законом эволюции технических систем. Идеальная система выполняет свою функцию идеально, т.е. без затрат ресурсов и времени, без вредных эффектов, с максимальным уровнем качества. Она появляется только в том месте и в то время, когда это необходимо. Выполнив свою функцию, она исчезает. Невзирая на то, что идеальных систем не существует, они указывают направления развития техники.

Идеальную техническую систему можно выразить через *идеальный конечный результат*, который в силу противоречивости между желаемым и физически возможным содержит в себе противоречия и сам по себе выражает системный подход к исследованию технических систем.

В статье [4] сформулирован идеальный конечный результат для сельского хозяйства в целом. Опираясь на данную формулировку, представим идеальный конечный результат для технологий обработки почвы. Его содержание и заключенные в нем противоречия укажут на приоритеты развития указанных технологий.

Увидим, как органично вплетаются в данные приоритеты существующие в мире тенденции развития почвообработки: возрастающее применение *почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия (conservation agriculture)* [5, р. 48-51] и *дифференцированной обработки почвы*.

Задачей почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия применительно к почве является ее сохранение как природного ресурса. А его принципами выступают минимальное механическое разрушение структуры почвы, наличие постоянного органического почвенного покрова, севооборот¹. Также минимальная обработка почвы представляет собой один из способов секвестрации углерода, что может смягчить проблему глобального потепления климата [6].

Дифференцированная обработка почвы (*variable rate tillage, variable depth tillage, variable intensity tillage, site-specific tillage, precision tillage*) развивается в рамках подходов точного земледелия. Она связана с варьированием глубины обработки и степени воздействия в зависимости от локальных характеристик почвы на том или ином сегменте. В данной области почвообработки имеются своя научная литература (например, [7-9]) и коммерческие продукты, такие как TruSet™ Tillage Technology компании John Deere и AFS Soil Command™ компании Case IH (входит в состав CNH Industrial).

Цель исследования – определение приоритетов развития технологий обработки почвы (на основе формулирования идеального конечного результата для почвообрабатывающих технологий и выявления в нем существующих противоречий).

¹ <http://www.fao.org/conservation-agriculture/ru> (дата обращения: 26.07.2022).

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования стала теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Концептуально определение приоритетов развития почвообрабатывающих технологий состоит из следующих шагов, где осуществляются:

- формулировка идеального конечного результата;
- раскрытие содержания элементов идеального конечного результата;
- выявление противоречий между элементами идеального конечного результата;
- определение имеющихся препятствий, трудностей и проблем при развитии каждого отдельного элемента идеального конечного результата;
- изложение существующих и предлагаемых способов разрешения противоречий между элементами идеального конечного результата, включая разрешение всех противоречий одновременно для полной реализации идеального конечного результата;
- определение имеющихся препятствий, трудностей и проблем, возникающих при реализации тех или иных способов разрешения противоречий;
- установление приоритетов развития почвообрабатывающих технологий (данный шаг разъяснен с помощью рисунка).

Этапы развития технической системы здесь носят условный характер. Их выделение является аналитическим инструментом (цель выявления исторических этапов развития тех или иных технических систем не ставится).

Искомый результат будет включать в себя приоритеты этапов 1 и 2 (см. рисунок). В силу авторского подхода полученные приоритеты развития почвообрабатывающих технологий будут в определенной мере субъективны.

Результаты исследований и обсуждение

На основе идеального конечного результата для сельского хозяйства [4] сформулируем *идеальный конечный*

Этап 1: Развитие каждого элемента идеального конечного результата в отдельности	Этап 2: Реализация совокупности элементов идеального конечного результата	Итог этапа 2 в случае разрешения всех противоречий: реализация идеального конечного результата
		
Противоречия между элементами целенаправленно не учитываются	Осуществляется целенаправленный поиск способов разрешения противоречий между элементами	Все противоречия разрешены. Идеальный конечный результат реализован
Приоритетом развития технической системы является устранение препятствий, трудностей и проблем при развитии каждого элемента	Приоритетом развития технической системы является поиск способов разрешения противоречий, а также устранение препятствий, трудностей и проблем, возникающих при реализации тех или иных способов	

Определение приоритетов развития технической системы исходя из использования концепции идеального конечного результата

результат для почвообрабатывающих технологий как технологий, которые обеспечивают:

- подготовку почвы для наиболее благоприятного роста и плодоношения сельскохозяйственных культур (содействие продовольственной безопасности);
- минимальные энергетические затраты (эффективность сельскохозяйственного производства);
- автоматизацию обработки почвы (один из итогов развития любой технической системы);
- сохранение почвы как природного ресурса (экологическая устойчивость);
- климатическую нейтральность.

Представим приведенные выше элементы идеального конечного результата рассматриваемых технологий более подробно.

Традиционными целями обработки почвы являются [10] подготовка семенного ложа, создание благоприятных почвенных условий для роста сельскохозяйственных культур (улучшение водопроницаемости почвы, ее аэрация, высвобождение органических и минеральных веществ для питания растений), борьба с сорняками. В идеальной системе данные цели должны быть достигнуты с максимальным уровнем качества.

Поскольку обработка почвы обычно означает механическое воздействие на большие площади сельскохозяйственных угодий, она приводит к большим энергетическим затратам [11] (на нее приходится до 40% всех энергозатрат сельскохозяйственного производства [12, с. 61]), их минимизация представляет собой одну из составляющих идеального конечного результата для почвообработки.

Идеальная система также характеризуется самоисполнением, когда все процессы она выполняет сама, без участия человека [2, с. 134]. Отсюда вытекает автоматизация почвообрабатывающих технологий, которая органично вписывается в четвертую промышленную революцию, связанную с интеллектуализацией производства. Применительно к сфере АПК часто говорят о сельском хозяйстве 4.0.

Обработка почвы также должна учитывать экологический аспект и не приводить к эрозии почвы. Недостатками почвообработки как раз и является опасность возникновения эрозии почвы по причине удаления защитных растительных остатков на ее поверхности и утраты структуры [13, р. 129]; также нарушается среда обитания дождевых червей и множества других полезных видов, живущих в ней [там же].

Долгосрочное исследование систем обработки почвы, проведенное в Австрии [14], установило, что ежегодные потери почвы в среднем составили: для традиционной обработки 8,6-33,3 т/га; мульчирующей – 3,6-5,3; нулевой – 1,9-3 т/га.

Кроме того, механическое воздействие на почву в процессе ее обработки приводит к выделению парниковых газов, таких как углекислый CO₂, что сказывается на изменении климата [6, 15]. Данная проблема весьма существенна ввиду довольно большого вклада сельского хозяйства в выбросы парниковых газов (около 25% [16, р. XXXII]). В идеале обработка почвы должна быть климатически нейтральной.

По своей природе идеальный конечный результат является противоречивым, поскольку отражает различие между желаемым и возможным. Противоречия в отношении идеальной обработки почвы представлены в табл. 1.

Будем использовать табл. 1 для определения приоритетов развития почвообрабатывающих технологий. Вначале на основе анализа соответствующих научных статей и перспек-

тив компаний представим имеющиеся препятствия, трудности и проблемы при развитии каждого отдельного элемента идеального конечного результата для почвообрабатывающих технологий (табл. 2).

Далее в соответствии с нашей методологией изложим существующие способы разрешения противоречий между элементами идеального конечного результата, а также предложим собственное решение для полной его реализации. Имеющиеся способы разрешения противоречий представлены в табл. 1. Данные решения носят частный характер. Для получения на практике варианта почвообрабатывающих технологий, хотя бы близкого к идеальному конечному результату, необходимо найти способ разрешения всех противоречий одновременно, и сделать это нужно на фоне учета развития всех элементов идеального конечного результата. Главной проблемой такого интегрированного решения является, по сути, неразвитость первого элемента идеального конечного результата: у человечества нет методологии определения необходимой обработки почвы для конкретной возделываемой культуры

на том или ином уникальном поле, чтобы обеспечивались идеальные почвенные условия для соответствующих видов сельскохозяйственных растений.

С учетом последнего ограничения сформулируем решение для достижения идеального конечного результата: относительно идеальная почвообработка будет обеспечиваться за счет автоматизированной нулевой или противозерозийной (минимальной) обработки, при этом, когда встает проблема чрезмерного наличия сорняков или уплотнения почвы, используется автоматизированная дифференцированная обработка. Автоматизированные технологии должны использоваться, прежде всего, на больших полях, несколькими хозяйствами совместно (как пул) или выполняться сторонней организацией в виде услуги, чтобы гарантировать экономическую эффективность.

В силу того, что у нас нет развитого первого элемента идеального конечного результата (создание наиболее благоприятных почвенных условий для сельхозкультур), мы не можем точно установить имеющиеся проблемы, которые возникают при реализа-

Таблица 1. Противоречивость идеального конечного результата для почвообрабатывающих технологий

Пара элементов идеального конечного результата, между которыми имеется противоречие	2. Энергетические затраты	3. Автоматизация	4. Сохранение почвы	5. Климатическая нейтральность
1. Обработка почвы (создание наиболее благоприятных почвенных условий для сельхозкультур)	Обработка почвы повышает траты энергии	В силу дополнительных издержек автоматизация может повысить цены на продовольствие и ухудшить продовольственную безопасность	Обработка почвы приводит к ее эрозии	Обработка почвы нарушает климатическую нейтральность
Имеющиеся способы разрешения противоречий в соответствующей паре	К минимизации энергетических затрат приводят (в разной степени) нулевая, противозерозийная и дифференцированная обработка	Автоматизация обработки почвы может не привести к повышению цен на продовольствие при условии использования автоматизированных технологий на полях большой площади; также выходом из положения может быть аренда таких услуг или создание пула хозяйств, совместно купивших автоматизированные технологии	Сохранению почвы способствуют (в разной степени) нулевая, противозерозийная и дифференцированная обработка	Климатическую нейтральность может обеспечить (в разной степени) нулевая, противозерозийная и дифференцированная обработка

Примечание. Всего 4 пары конфликтующих элементов: 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, где каждая цифра – номер элемента.

ции существующих (последняя строка табл. 1) или предлагаемых нами способов разрешения противоречий для полного достижения идеального конечного результата, за исключением того, что, как уже отмечалось, главной проблемой выступает именно отсутствие знания об идеальных

почвенных условиях для тех или иных сельскохозяйств на конкретном поле.

Наличие данной проблемы не может помешать нам на основе изложенного материала сформулировать приоритеты развития почвообрабатывающих технологий. Итак, таковыми являются:

- получение знаний о наиболее благоприятных почвенных условиях для конкретной возделываемой культуры на конкретном поле с учетом его почвенно-климатических характеристик;
- создание почвообрабатывающих машин/технологий, обеспечивающих

Таблица 2. Препятствия, трудности и проблемы при развитии элементов идеального конечного результата для почвообрабатывающих технологий

Препятствия, трудности и проблемы
Обработка почвы: ● невзирая на детальное изучение трех систем обработки почвы – традиционной (<i>conventional tillage</i>), противоэрозийной (<i>conservation tillage</i>; перевод на русский – ФАО) и нулевой (<i>zero tillage, no tillage</i>), до сих пор отсутствует однозначная методология определения необходимой обработки почвы для конкретной возделываемой культуры на конкретном поле с уникальными почвенно-климатическими условиями: традиционная обработка обычно приводит к высокой урожайности, однако существенно повышает риски эрозии почвы; с другой стороны, при нулевой обработке урожайность может снизиться (обычно в условиях влажного климата) [17, 18], но при этом значительно растет экологическая устойчивость сельскохозяйственного производства; ● на технологическом уровне в силу приведенной выше причины отсутствует простая и однозначная технология обработки почвы для возделываемой культуры на конкретном поле; вероятно, общепринятая классификация систем обработки почвы не является адекватной: например, возможен промежуточный вариант между традиционной и противоэрозийной обработками – дифференцированная обработка, когда в рамках одного поля почва обрабатывается дифференцированно в зависимости от ее уплотнения и наличия пожнивных остатков
Энергетические затраты В научной литературе проблема минимизации затрат энергии на почвообработку рассматривается в основном сквозь призму сравнения вышеприведенных трех систем обработки почвы (традиционной, противоэрозийной и нулевой), где нулевая обработка, конечно, побеждает; однако сравнительно мало изучена дифференцированная обработка, которая вполне может посоревноваться с противоэрозийной, часто называемой минимальной (дифференцированная обработка может быть использована там, где нулевая неприемлема)
Автоматизация На данном этапе автоматизация почвообработки идет по двум направлениям: 1) автоматизация работы прицепных/навесных сельхозмашин, включая почвообрабатывающие, на основе создания полностью автономного трактора (первый такой трактор был представлен компанией John Deere в 2022 г.); 2) развитие дифференцированной обработки почвы. В рамках первого направления в ближайшем будущем будут получены автоматизированные технологии традиционной обработки почвы. Главные трудности коснутся дифференцированной обработки: речь идет о создании варианта обработки в режиме online¹ (в настоящее время реализован способ offline, когда предварительно строится карта; например, это технологии AFS Soil Command™ компании Case IH и TruSet™ компании John Deere). Данные направления в итоге будут объединены: автономный трактор сможет осуществлять дифференцированную обработку почвы offline и online
Сохранение почвы и климатическая нейтральность Большинство проведенных исследований (например, [19, 20]) подтверждает, что противоэрозийная (минимальная), а особенно нулевая обработка, лучше сохраняет почву, предотвращает эрозию (особенно благодаря наличию органического почвенного покрова), сокращает выбросы парниковых газов и препятствует изменению климата, однако возделывание сельскохозяйств в таких условиях весьма затруднено, поскольку в силу сокращения механического воздействия на почву возникают следующие проблемы: 1) чрезмерное использование гербицидов (данная проблема усугубляется ростом устойчивости сорняков к используемым гербицидам); 2) уплотнение почвы. Наличие данных проблем влечет за собой, как правило, применение традиционной технологии обработки почвы, вследствие этого положительный эффект от минимизации механического воздействия сокращается. Дифференцированная обработка также может рассматриваться как решение для сохранения почвы и обеспечения климатической нейтральности, поскольку она уменьшает механическое воздействие на почву

¹ В настоящее время существует достаточно дорогой способ дифференцированной обработки в режиме online: впереди трактора устанавливается сканер почвы SoilXplorer (ранее Topsoil Mapper австрийской компании GEOPROSPECTORS). Данный сканер на основе принципа электромагнитной индукции бесконтактным способом измеряет показатель электропроводности почвы (до глубины в 1,1 м), на основании которого определяются уплотнение, структура и влажность почвы. Сканер позволяет строить карты, а также в реальном времени через ISOBUS осуществлять дифференцированную обработку почвы, управляя подключенной к трактору почвообрабатывающей машиной.

наиболее благоприятные почвенные условия для конкретной возделываемой культуры на конкретном поле;

- более глубокое изучение дифференцированной обработки почвы на предмет сокращения энергозатрат по сравнению с традиционным подходом;

- разработка технологий дифференцированной обработки почвы в режиме online;

- решение проблем чрезмерного применения гербицидов и уплотнения почвы при нулевой обработке;

- поиск решения относительно полной реализации идеального конечного результата почвообрабатывающих технологий, включая уточнение частных решений, изложенных в табл. 1 (после получения знаний о наиболее благоприятных почвенных условиях для конкретной возделываемой культуры на конкретном поле).

Выявленные приоритеты развития почвообработки отражают в определенной мере авторское видение, но в основе которого лежит методология ТРИЗ. Другие авторы могут попробовать применить понятие идеального конечного результата для исследуемых ими сельскохозяйственных или иных технологий с целью установления на системной основе приоритетных направлений их развития.

Выводы

1. Методология ТРИЗ, в частности понятие идеального конечного результата, может успешно использоваться для определения приоритетов развития тех или иных сельскохозяйственных технологий, что было продемонстрировано на примере обработки почвы. Это касается тех технологий, которые включают в себя противоречащие друг другу элементы идеального конечного результата, выявленного для соответствующего вида технологии.

2. С применением ТРИЗ были выделены приоритеты развития почвообрабатывающих технологий, куда были включены нерешенные проблемы почвообработки.

3. Указан самый важный приоритет (наиболее острая проблема) в области развития почвообрабатывающих

технологий – получение знаний о наиболее благоприятных почвенных условиях для конкретной возделываемой культуры на конкретном поле с учетом его почвенно-климатических характеристик. Обретение данных знаний поможет глубже понять, как достичь идеального конечного результата для обработки почвы.

Список

использованных источников

1. Лобков В.Т., Плыгун С.А. Приоритетные направления развития земледелия // Вестник Орловского ГАУ. 2012. № 1. С. 2-7.
2. Петров В. Основы ТРИЗ: Теория решения изобретательских задач. 2-е изд. [б. м.]: Издательские решения, 2020. 750 с.
3. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979. 175 с.
4. Коротченя В.М. Научные подходы к стратегии комплексного развития сельскохозяйственных технологий // АПК: Экономика, управление. 2021. № 8. С. 44-51.
5. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: FAO, 2017. 163 p.
6. Meena R.S., Kumar S., Yadav G.S. Soil Carbon Sequestration in Crop Production // Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production / ed. by R.S. Meena. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2020. P. 1-39.
7. Whattoff D., Mouazen A., Waite T. A multi sensor data fusion approach for creating variable depth tillage zones // Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture. 2017. Vol. 8. № 2. P. 461-465.
8. Fox J.W., Khalilian A., Han Y.J., Williams P.B., Nafchi A.M., Maja J.M., Marshall M.W., Barnes E.M. Real-time, variable-depth tillage for managing soil compaction in cotton production // Open Journal of Soil Science. 2018. Vol. 8. P. 147-161.
9. Sabouri Y., Abbaspour-Gilandeh Y., Solhjoui A., Shaker M., Szymanek M., Sprawka M. Development and laboratory evaluation of an online controlling algorithm for precision tillage // Sensors. 2021. Vol. 21. № 5603.
10. Gymez J.A., Orgaz F., Gymez-Macpherson H., Villalobos F.J., Fereres E. Tillage // Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture / ed. by F.J. Villalobos, E. Fereres. Cham: Springer International Publishing AG, 2016. P. 229-239.
11. Sun J., Wang Z., Du Y., Zhang E., Gan H., Sun D., Niu W. Optimized tillage improves yield and energy efficiency while reducing carbon footprint in winter wheat-

summer maize rotation systems // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 820. № 153278.

12. Оськин С.В., Тарасенко Б.Ф. Эффективные комплексы почвообрабатывающих агрегатов: монография. Краснодар: ООО «Крон», 2016. 381 с.

13. Boincean B., Dent D. Farming the Black Earth: Sustainable and Climate-Smart Management of Chernozem Soils. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2019. 226 p.

14. Klik A., Rosner J. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 203. № 104669.

15. Cooper H.V., Sjøgersten S., Lark R.M., Mooney S.J. To till or not to till in a temperate ecosystem? Implications for climate change mitigation // Environmental Research Letters. 2021. Vol. 16. № 054022.

16. IPBES. Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: IPBES secretariat, 2019. 1144 p.

17. Pittelkow C.M., Linquist B.A., Lundy M.E., Liang X., van Groenigen K.J., Lee J., van Gestel N., Six J., Venterea R.T., van Kessel C. When does no-till yield more? A global meta-analysis // Field Crops Research. 2015. Vol. 183. P. 156-168.

18. Xiao L., Kuhn N.J., Zhao R., Cao L. Net effects of conservation agriculture principles on sustainable land use: A synthesis // Global Change Biology. 2021. Vol. 27. P. 6321-6330.

19. Madarász B., Jakab G., Szalai Z., Juhos K., Kotrocó Z., Tóth A., Ladányi M. Long-term effects of conservation tillage on soil erosion in Central Europe: A random forest-based approach // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 209. № 104959.

20. Komissarov M.A., Klik A. The Impact of No-Till, Conservation, and Conventional Tillage Systems on Erosion and Soil Properties in Lower Austria // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 503-511.

Priorities for the Development of Soil Clearing Technologies

V.M. Korotchenya, G.I. Lichman (VIM)

Summary. Based on the theory of inventive problem solving (TRIZ), in particular, using the concept of an ideal final result, the priorities for the development of tillage technologies are established. This methodology for identifying priorities can also be used for technologies used in other sectors of the economy.

Keywords: tillage technologies, priorities, theory of inventive problem solving (TRIZ), ideal final result, contradictions.

Кормоуборочному комбайну Ростсельмаш F 2650 добавили «лошадей»

Кормоуборочные комбайны Ростсельмаш серии RSM F 2000 еще относительно «молоды», но, следуя своей стратегии, производитель постоянно вносит те или иные улучшения в эти высокопроизводительные машины.

Одним из ярких изменений стала комплектация агромашин двигателями в 643 л.с., т.е. более мощными по сравнению с предыдущей версией комбайна. И это решение не лишне, особенно для версий исполнения с полным приводом. Это 12-литровые рядные шестерки экологического класса St III с газотурбинной одноступенчатой системой наддува, системой подачи топлива Common Rail. Моторы отличаются экономичностью и развивают высокий крутящий момент, так что бака в 1 500 л по-прежнему хватает на весь день работы, даже в сложных условиях. На перегонах комбайн способен развивать скорость до 40 км/ч. Для улучшения показателей проходимости опционально производитель предлагает установку межосевой блокировки дифференциала.

Моторная установка комплектуется редуктором и муфтой сцепления. Редуктор предназначен для привода гидростатической трансмиссии, адаптеров, гидравлических систем высокого и низкого давления. Гидравлический привод жаток за счет возможности быстрой регулировки скорости их рабочих органов обеспечивает высокую приспособляемость комбайна к изменяющимся условиям уборки. Муфта сцепления позволяет реализовать привод измельчающего аппарата и ускорителя непосредственно с коленвала двигателя. Это повышает энергоэффективность передачи.

По умолчанию кормоуборочный комбайн Ростсельмаш F 2650 оснащают измельчающими барабанами, на которых установлено 40 ножей. С полным комплектом длина резки может изменяться в диапазоне 5-24 мм, сняв половину ножей, можно получить длину резки 10-48 мм. Если эти параметры не удовлетворяют требованиям технологии заготовки в конкретном хозяйстве, есть возможность установить на агромашину измельчающий барабан с комплектом ножей в 32/48/64 шт. В базовой комплектации на барабанах установлены так называемые травяные ножи, которые считаются универсальными. Однако при заготовке кукурузного силоса лучшее качество резки обеспечивают кукурузные ножи. Такие комплекты предлагаются опционально.

Измельчающий аппарат кормоуборочного комбайна F 2650 укомплектован автоматическими системами заточки ножей, подвода бруса и регулировки зазора между днищем и барабаном-измельчителем. Эти функции позволили добиться равномерности длины резки свыше 85 %, а поддержание оптимальных настроек машины стало проще.



Уже традиционно Ростсельмаш устанавливает на свои кормоуборочные комбайны универсальную систему внесения консервантов. Возможность использовать и разбавленные, и концентрированные препараты актуальна для сельхозпредприятий, которые заготавливают широкий ассортимент влажных кормов. Штатно форсунка установлена в зоне ускорителя, но ее можно перенести и в зону питателя. Такой вариант установки позволяет качественно промыть тракт чистой водой. Кроме того, практикой установлено, что на заготовке культур с высоким содержанием сахаристых веществ внесение консервантов в зону питателя кормоуборочного комбайна предотвращает налипание массы на стенки технологического тракта.

Невозможно обойти вниманием корн-крекер (доизмельчитель). Для своих высокопроизводительных кормоуборочных комбайнов Ростсельмаш создал узел слайдерного типа, установка которого в канал и извлечение из него выполняются автоматически по команде из кабины. Вдохновляет и другая функция — автоматическая регулировка зазора между вальцами корн-крекера (тоже по команде с рабочего места).

И это далеко не весь «электронный функционал», доступный владельцам кормоуборочного комбайна F 2650. Среди цифровых помощников можно отметить следующие:

- функция синхронизации скоростей адаптера и движения комбайна;
- система определения урожайности (датчик влажности);
- функция автоматического управления силосопроводом;
- система автоматического дозирования консервантов;
- система автоматического подбора длин резки в зависимости от влажности.

Бесспорно, кормоуборочный комбайн F 2650 не только мощный, но и «высокоинтеллектуальный».

PCM Агротроник Пилот 1.0 рулит, механизатор смотрит

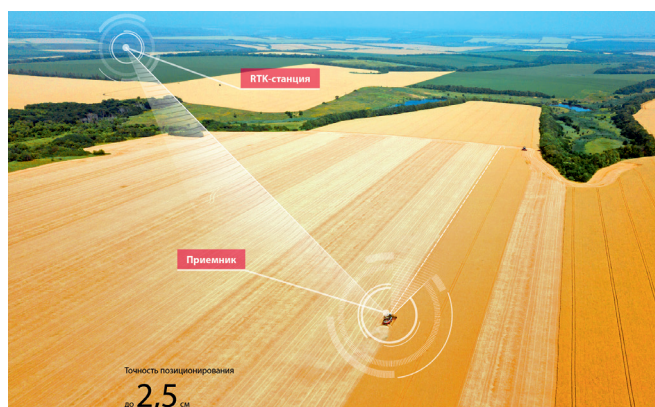
ООО «Сосновка-АГРО-Инвест» обрабатывает 32 000 га земли в Сосновском и Староюрьевском районах Тамбовской области. Компания выращивает пшеницу и ячмень, кукурузу и подсолнечник, сою и рапс. Собственный зерноперерабатывающий комплекс позволяет принимать, очищать, сушить и хранить порядка 15 200 т зерна.

Предприятие владеет мощным парком зерноуборочной техники. В этом сезоне его дополнили три комбайна TORUM 750 марки Ростсельмаш. Новые агромашины укомплектованы системами автоуправления и картирования урожайности PCM Агротроник Пилот 1.0 и PCM Карта урожайности и влажности собственной разработки производителя.

Игорь Александрович Ходяков — один из механизаторов предприятия, которому довелось работать на новых комбайнах с новыми системами. Стаж его работы механизатором 11 лет, обучился профессии еще в школе. В юности выходил в поле с отцом еще на модели «Дон 1500». Работал и на импортных машинах, а в 2019 г. пересел на TORUM, т.е. сравнение между «без автоуправления» и «с автоуправлением» получается максимально корректным. Игорь поделился своим впечатлением о работе с данными системами.

Ребята не сразу оценили новые системы: «Да зачем, да не будем мы их ставить, это с «треногой» бегать, зачем это нужно...». А что с ней бегать? Один раз вывез в поле, поставил, да поехал. В общем, поначалу сопротивлялись. А потом попробовали: «Да, неплохо!» Конечно, неплохо! Комбайн сам рулит, сам разворачивается, сам возвращается в загонку, сам решета открывает, сам «ветра» прибавляет по сорности. Остается лишь поглядывать, да чай пить.

Если работаешь без PCM Пилота 1.0, к вечеру устаешь, перекрытия больше становятся, где-то уголок, где-то полосочку оставишь. А с Пилотом — ни полосок, ни уголков, комбайн идет жатка в жатку. Особенно хорошо было, когда мы втроем отдельной бригадой работали. Конечно, когда поставили все



машины вместе, надо было принаравливаться. То уголок, то полоска останется, приходилось эти огрехи «подбирать».

Бесспорно, производительность с Пилотом растет. А могла бы быть еще выше, но у нас жесткое ограничение по скорости работы: не больше 7 км/ч. Для TORUM 750 на урожайности 35-40 ц/га этого бывает мало. МСУ и очистка недогружены.

Освоить PCM Пилот 1.0 легко. Пару раз ребята из техподдержки Ростсельмаш показали, а дальше сам уже все можешь сделать. Все работает, как в телефоне, ничего сложного. Каких-то особых проблем с системой нет. Бывают сбои, но это из-за рельефа — у нас местность холмистая. Специалисты из Ростсельмаш говорят, что этот нюанс в компании отрабатывают. И я верю, потому что вижу, как они сейчас работают. Приезжают, спрашивают, все наши замечания записывают. А потом смотришь — их учили в новой технике.

На TORUM 750 с системами PCM Пилот 1.0 мы отработали уже почти сезон. Убрали рапс, пшеницу яровую и озимую, подсолнечник. Нарботка составила около 500 мото-ч. Сейчас молотим сою. Вот теперь, когда все распробовали, Пилот 1.0 нам нравится. Почти все делает сам, работать стало намного легче.



КормВет ^{экспо} 2023

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

24 - 26 ОКТЯБРЯ

МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО», ПАВИЛЬОН 2

ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



**МИНСЕЛЬХОЗ
РОССИИ**



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
КОРМОВОЙ СОЮЗ**



РОССЕЛЬХОЗНАДЗОР



FEEDVET-EXPO.RU

НАС ВЫБИРАЮТ ПРОФЕССИОНАЛЫ!

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

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

УДК: 629.032+631.372

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-10-15

Новые методы определения площади контактирующей поверхности шин сельскохозяйственных машин и тракторов

В.Ю. Ревенко,ученый секретарь, канд. техн. наук,
skskniish@rambler.ru**А.Б. Иванов,**науч. сотр.,
artem_b_ivanov@mail.ru**Д.А. Петухов,**канд. техн. наук, зав. лабораторией,
dmitripet@mail.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТиМ])

Аннотация. Рассмотрены достоинства и недостатки существующих методов оценки размера пятна контакта шины, представлены новые методы определения площади контактирующей поверхности шин сельскохозяйственных машин и тракторов (метод «подсчета пикселей» и метод преобразования растрового изображения отпечатка в векторный формат).

Ключевые слова: площадь контакта, тракторная шина, контурный отпечаток, метод оценки, специализированное программное обеспечение.

Постановка проблемы

Согласно стандарту [1], контурная площадь контакта – это площадь, ограниченная внешней огибающей участков контакта, образованных наружными поверхностями выступов рисунка протектора с опорной поверхностью. Метод получения отпечатка контура протектора шины регламентируется ГОСТ Р 58656 [2], однако данный стандарт не дает никаких указаний по методике определения размера этого отпечатка.

На практике, как правило, применяются самые разнообразные алгоритмы оценки размера пятна контакта. Первоначально контурный отпечаток переносили на масштабно-ко-

ординатную бумагу (миллиметровку) с последующим подсчетом площади фигуры, находящейся внутри контура. Некоторые исследователи рассчитывали данный показатель с помощью планиметра Амслера-Коради, принцип действия которого основан на измерении длин дуг, описываемых на поверхности специальным роликом, прокатывание которого в каждый момент времени по дуге со строго определенным радиусом позволяет аппроксимировать измеряемый контур прямоугольником с известными длинами сторон и площадью, равной площади измеряемого контура [3]. При этом, помимо традиционных, использовали и более современные цифровые полярные планиметры (например, Koizumi KP-90N) [4].

Оба приведенных метода являются достаточно трудоемкими и при необходимости обработки большого количества отпечатков предполагают высокую вероятность ошибок и снижение точности измерений, обусловленной субъективными факторами, включая результаты ручной обработки.

С появлением цифровых фотокамер процесс вычисления площади отпечатка существенно упростился. В автомобильной индустрии сейчас в основном используют данные, полученные в условиях полигона (трека) или на испытательном стенде на основе визуальной обработки следа протектора, оставляемого им на прозрачной поверхности и регистрируемого с помощью цифровой камеры. Но данная методика получения отпечатков неприемлема для тракторных и прочих шин сельскохозяйственного назначения, имеющих высокие грунтозацепы и низкий коэффициент на-

сыщенности рисунка протектора [5]. Поэтому при работе с данными шинами контурные отпечатки получают традиционным способом в соответствии с ГОСТ Р 58656. Затем их оцифровывают с помощью фотокамер высокого разрешения с последующей обработкой снимков на компьютере. Это позволяет существенно повысить точность получаемых результатов [6, 7].

Тем не менее в данной методике присутствует некоторый субъективный фактор, состоящий в необходимости ручного очерчивания контура по вершинам отпечатков почвозацепов. В работе [8] предлагается определять фактический контур изображения с помощью так называемого метода «выпуклой оболочки», который позволяет ограничивающему контуру максимально приблизиться к форме следа. Но авторы сами же указывают на сложность и ограниченную производительность указанного метода.

Известен также способ оценки площади контакта и даже объема контакта, основанный на формировании отпечатка протектора с помощью жидкого гипса с последующим преобразованием полученных форм в трехмерные модели 3D-сканером [9]. Но результаты дальнейших исследований показали, что данный метод (с оценкой объема контакта шин) больше подходит для прогнозирования сопротивления качению колесных систем на мягких грунтах, чем для вычисления площади контакта шины с плоской поверхностью в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58656.

Анализируя приведенные выше методы и способы получения контурных отпечатков протектора шин, а также расчета их площади, можно

сделать вывод, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. К последним относятся: невысокая точность измерений, большие затраты труда для получения отпечатков, низкая производительность при обработке большого количества снимков, неприменимость для работы с шинами, имеющими высокие грунтозацепы, ошибки при переносе полученных результатов трехмерной модели на плоскость. Таким образом, найти наиболее эффективное сочетание точности, производительности и объективности является задачей данного исследования.

Цель исследований – разработка методов повышения точности оценки размеров отпечатка шин сельскохозяйственных машин и тракторов.

Материалы и методы исследования

Методика расчета была вызвана необходимостью обработки результатов экспериментальных исследований по оценке максимального давления на почву радиальных шин сельскохозяйственного назначения. Измерение проводилось на образцах размерности: 16,9 R38; 23,1R26; 28LR26, 14,9R24, 500×65R34. Технические характеристики некоторых из них приведены в работе [10]. Показатели рассматриваемых шин были определены при внутришинном давлении в 50, 100, 200, 300, 400

и 500 кПа. При этом вертикальная нагрузка варьировалась от 1 до 5 т ступенчато с шагом в 1 т. Отпечатки контактных поверхностей шины были сделаны для каждого соответствующего внутришинного давления и соответствующей вертикальной нагрузки на колесо. Размер этих отпечатков впоследствии был измерен цифровым полярным планиметром Koizumi KP-90N. Измерения осуществляли на ровной бетонной площадке. Контурную площадь контакта протектора шины определяли в соответствии с ГОСТ Р 58656, методика которого идентична редакции ГОСТ 7057-81. Отпечаток получали путем многократного подъема и опускания колеса на металлический лист, каждый раз проворачивая шину на величину, равную ширине почвозацепа, до полного заполнения следами протектора пятна контакта. Полученный контур очерчивали кривой, охватывающей выступы (рис. 1).

По результатам измерений строили зависимости изменения размеров контактирующей поверхности от внутренних (внутришинное давление) и внешних (степень нагружения шины) факторов для последующей оценки величины максимальных нормальных напряжений (рис. 2).

В результате обжатия одной шины при семи вариантах внутришинного давления и пяти ступенях вертикальной нагрузки было получено

35 отпечатков шины только одного типоразмера. Для исследуемых образцов пяти типоразмеров было получено 175 отпечатков. Обработать такой массив данных с использованием традиционных методик весьма затруднительно, поэтому авторами были разработаны усовершенствованные алгоритмы расчета.

В первом случае использовался цифровой снимок, который анализировали с помощью метода «подсчета пикселей», основанного на формировании двумерного массива, содержащего информацию о цвете каждого пикселя, с дальнейшим подсчетом количества пикселей характерного цветового диапазона.

Второй метод основан на преобразовании растрового изображения отпечатка в векторный формат с целью дальнейшего вычисления искоемых площадей с помощью опции «измерить» в любой из систем трехмерного моделирования.

Результаты исследований и обсуждение

Метод «подсчета пикселей» заключался в фотографировании отпечатка цифровой фотокамерой высокого разрешения с последующим формированием двумерного массива, содержащего информацию о цвете каждого пикселя, и дальнейшем подсчете количества пикселей характерного цветового

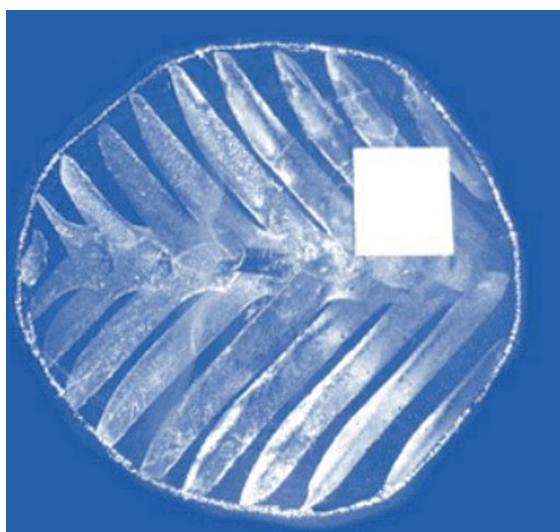


Рис. 1. Форма отпечатка радиальной шины сельскохозяйственного назначения

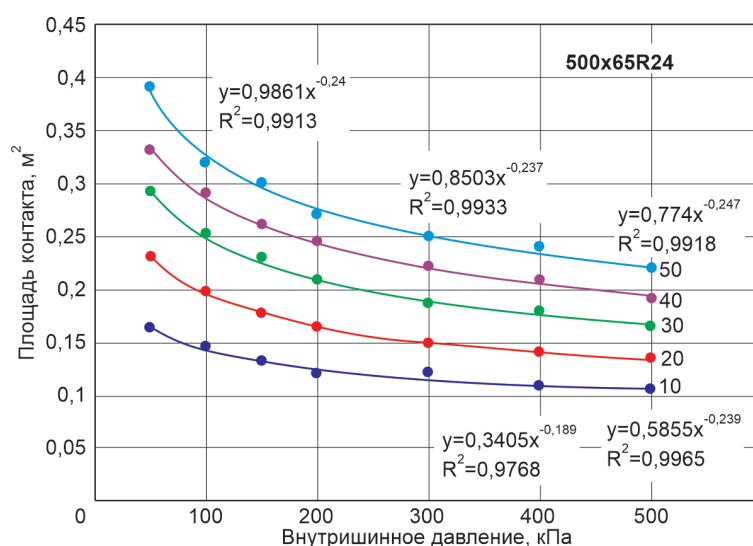


Рис. 2. Зависимость площади отпечатка от вертикальной нагрузки на колесо и внутришинного давления

диапазона. Такой подсчет достаточно просто выполняется в программе Microsoft Excel с помощью функции «СЧЕТЕСЛИ» (аналогичные функции имеются практически в любом редакторе электронных таблиц, включая редакторы с открытым исходным кодом). Умножая количество пикселей на масштабный коэффициент (для его определения используется специальная калибровочная пластина известной площади, которая фотографируется вместе с отпечатком), получается искомая площадь контактной поверхности. Применение калибровочной пластины также позволяет избежать расчетной погрешности, возникающей в случае изменения экспозиции при фотографировании.

Для облегчения задачи фотографии отпечатков преобразовывались в монохромный формат в графическом редакторе Paint (включен в состав операционной системы windows), таким образом, все элементы массива принимали значения «0» или «255». Для формирования массива и последующей передачи его в книгу Excel применялись функции READBMP и WRITEEXCEL, включенных в математический пакет MathCAD Prime. Листинг документа MathCAD для пакетной обработки 35 изображений отпечатков представлен на рис. 3.

Для расчета площадей отпечатков файлы фотографий, файл документа MathCAD и файл книги Excel для расчета площади следует поместить в одну папку, открыть документ MathCAD и запустить расчет (в случае предустановленной настройки расчет может производиться автоматически при открытии документа). В имеющейся папке будут автоматически сгенерированы книги Excel, соответствующие каждому изображению отпечатков (рис. 4).

Далее необходимо открыть книгу Excel. Для расчета площади программа автоматически считывает из файлов, имеющихся в папке, информацию в книгу, каждый лист которой соответствует отпечатку, затем рассчитывает площадь каждого отпечатка и представит на отдельном листе в виде сводной таблицы (рис. 5).

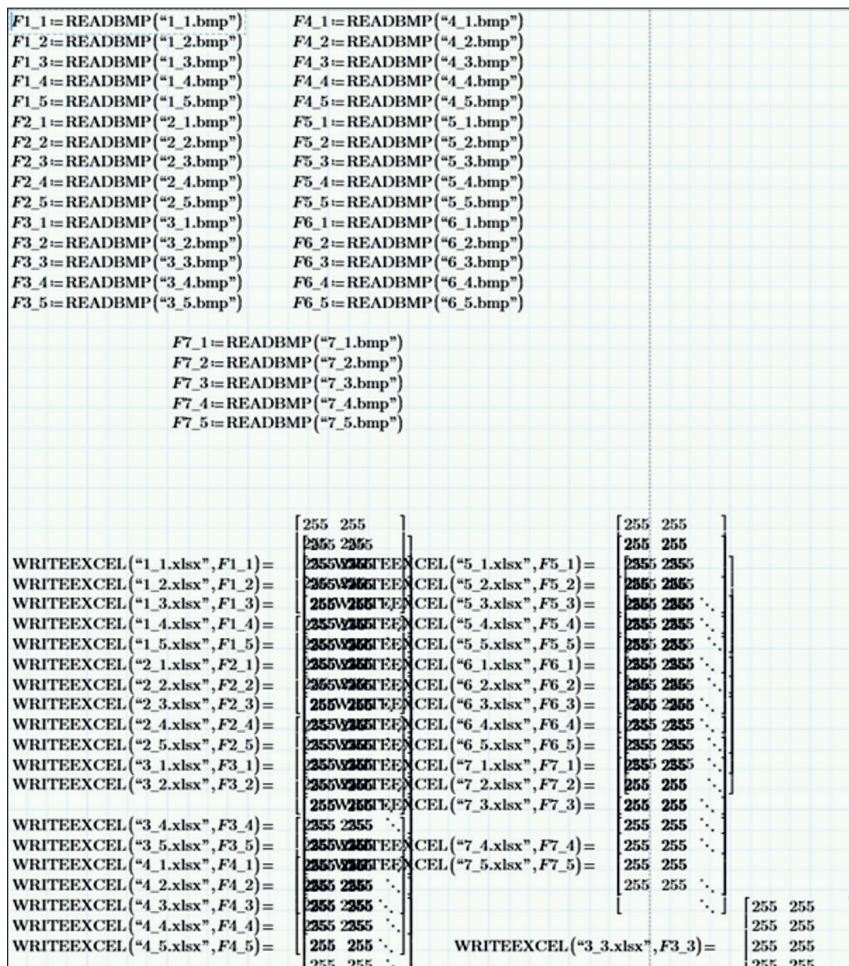


Рис. 3. Листинг документа MathCAD для пакетной обработки 35 отпечатков

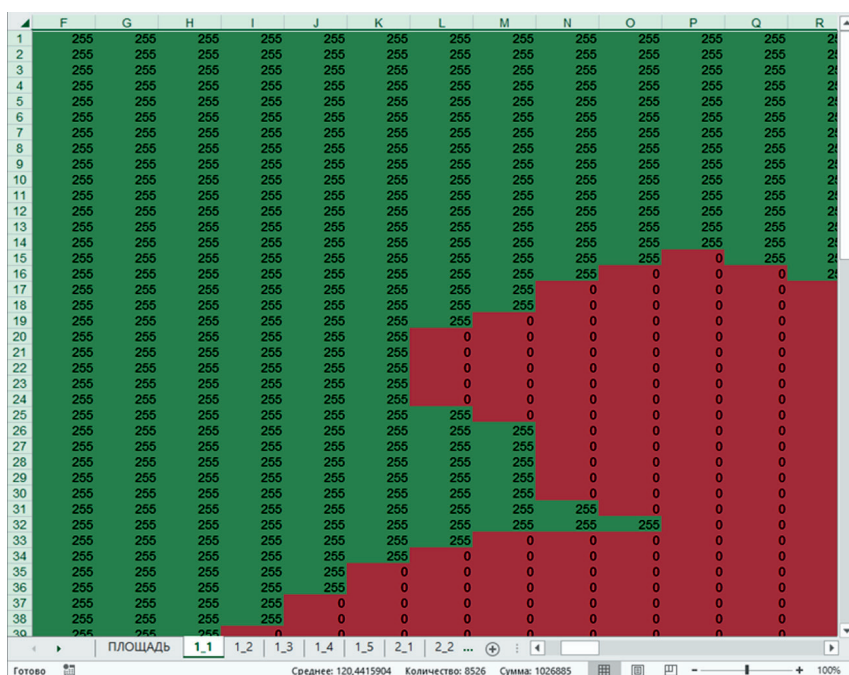


Рис. 4. Лист с отпечатком

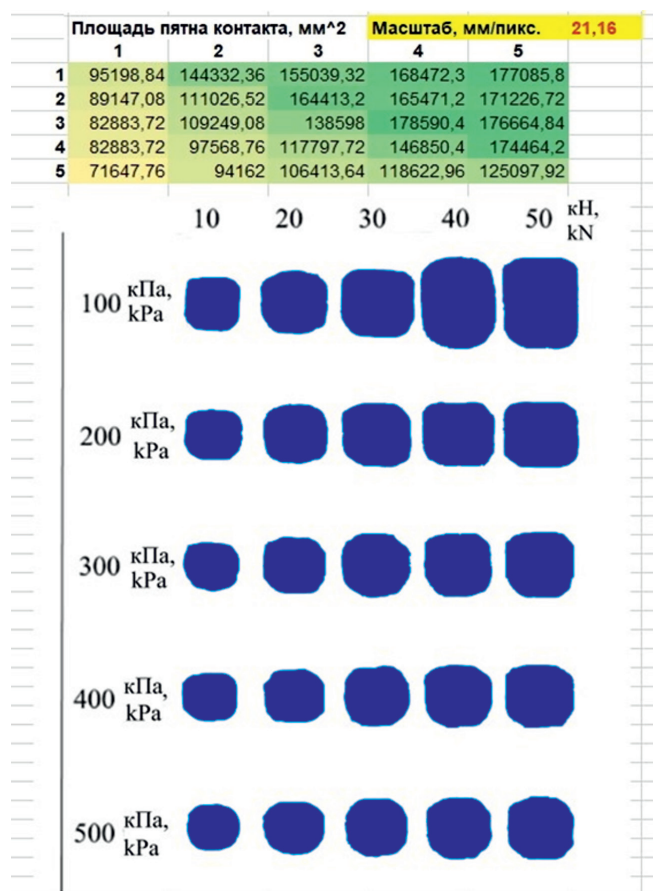


Рис. 5. Лист с результатами пакетного расчета площадей контакта

```
Function Bitmap2Array(ByVal PicBits, ByVal Width%, ByVal Height%, _
    Optional ByVal Color$ = "RGB") As Variant
    On Error Resume Next: Dim res As Long
    x = 0: y = 0: n = 0: ReDim arr(1 To Height%, 1 To Width%)
    bytesPerRow% = UBound(PicBits) / 3 / Height%

    For Cnt = 1 To UBound(PicBits) Step 3
        x = (n Mod Width%) + 1
        If x = 1 Then y = y + 1
        Select Case Color$
            Case "R": res = PicBits(Cnt + 2)
            Case "G": res = PicBits(Cnt + 1)
            Case "B": res = PicBits(Cnt + 0)
            Case "RGB": res = RGB(PicBits(Cnt + y - 1 + 2), _
                PicBits(Cnt + y - 1 + 1), _
                PicBits(Cnt + y - 1 + 0))

        End Select
        arr(y, x) = res
        n = n + 1
    Next Cnt
    Bitmap2Array = arr
End Function
```

а

```
Sub ColorArray2Sheet(ByVal arr, ByRef FirstCell As Range)
    'Application.ScreenUpdating = False
    For i = 1 To UBound(arr, 1)
        For j = 1 To UBound(arr, 2)
            FirstCell.Offset(i, j).Interior.Color = arr(i, j)
            DoEvents
        Next j
    Next i
End Sub
```

б

Рис. 6. Преобразование результатов работы функции GetBitmapBits в двумерный массив (а); пример макроса для переноса массива цветов на лист Excel (б)

При отсутствии возможности использования математического пакета MathCAD двумерный массив, содержащий информацию о цвете каждого пикселя изображения, возможно передать непосредственно в Excel, используя макросы на VBA [11]. Пример кода, позволяющего прочитать информацию из bitmap с помощью API-функции GetBitmapBits, приведен на рис. 6а, пример макроса для переноса массива цветов на лист – на рис. 6б.

Необходимо отметить, что приведенные примеры макросов поддерживают только 24-битные изображения в формате BMP без сжатия, в некоторых случаях изображения обрабатываются некорректно. Примеры приведены только для демонстрации возможности.

К достоинствам предлагаемого метода расчета следует отнести высокую скорость обработки цифровых изображений отпечатков, к недостат-

кам – высокие требования к качеству снимков (высокое разрешение, полное отсутствие оптических искажений изображений).

Рассмотрим следующий способ определения контурной площади пятна контакта шины с жестким опорным основанием путем преобразования растрового изображения отпечатка в векторный формат с помощью специализированного программного обеспечения. В случае необходимости обработки цифрового изображения одного отпечатка его напрямую можно загрузить в любую из систем автоматического (автоматизированного) проектирования (САПР или CAD-системы): AutoCAD, Компас-3D, T-FLEX и др. При этом необходимо вручную очертить границы контура и затем, используя встроенную в CAD-системы функцию определения площади, получить таблицу с искомыми результатами.

Для обработки массива, состоящего из 30 или более отпечатков, лучше использовать дополнительный инструментальный. В нашем случае предлагается растровые изображения группы отпечатков шин преобразовать в векторный формат, используя любой из программных пакетов: CorelDRAW, Adobe Illustrator, Inkscape и др.

Приведем пример создания двумерной векторной графики с использованием настольного приложения с открытым исходным кодом – Inkscape. Для того чтобы сделать из растрового изображения векторные контуры, загружаем или импортируем цифровые снимки группы пятен контакта. Выбираем объекты, которые необходимо перевести в контуры, и в главном меню выбираем команду «Контуры – векторизовать растр». В результате появится окно настроек, в котором будет отображено три фильтра. Первый из них – «сокращение яркости»,

второй – «определение краев», третий – «квантование цветов». Регулируя фильтрами изображение в окне «Предпросмотр», добиваемся нужных нам контуров отпечатков (рис. 7) и сохраняем их с расширением, подходящим для обработки в CAD-системах.

Следует отметить, что по степени точности передачи растрового рисунка в векторный формат лидирует CorelDRAW. В случае использования данного редактора импортированное растровое изображение необходимо с помощью команд «Растровое изображение – трассировка по центральной линии» преобразовать в вектор-

ный формат и сохранить полученный формат с расширением DWG.

Полученные векторные изображения массивов отпечатков необходимо импортировать в любую из САПР, в меню которых в большинстве случаев присутствует опция вычисления площади искомой фигуры. Например, в Компас-3D команды измерений сгруппированы в меню «Сервис», а кнопки для вызова команд – на панели «Измерения (2D)». Чтобы определить площадь произвольной фигуры, достаточно вызвать команду «Площадь», указав точку внутри замкнутой области. При этом границы области будут

определены автоматически, а измеряемая площадь выделится цветом.

Для просмотра результатов измерения достаточно подвести курсор к каждому из отпечатков, площадь которого требуется определить. Результаты расчетов отобразятся в появившемся Информационном окне (рис. 8).

Необходимо добавить, что если отпечаток ограничен незамкнутой кривой, то с помощью кнопки «Ручное рисование границ» можно сформировать временную ломаную линию, повторяющую контур пятна контакта, и найти её площадь. После формиро-

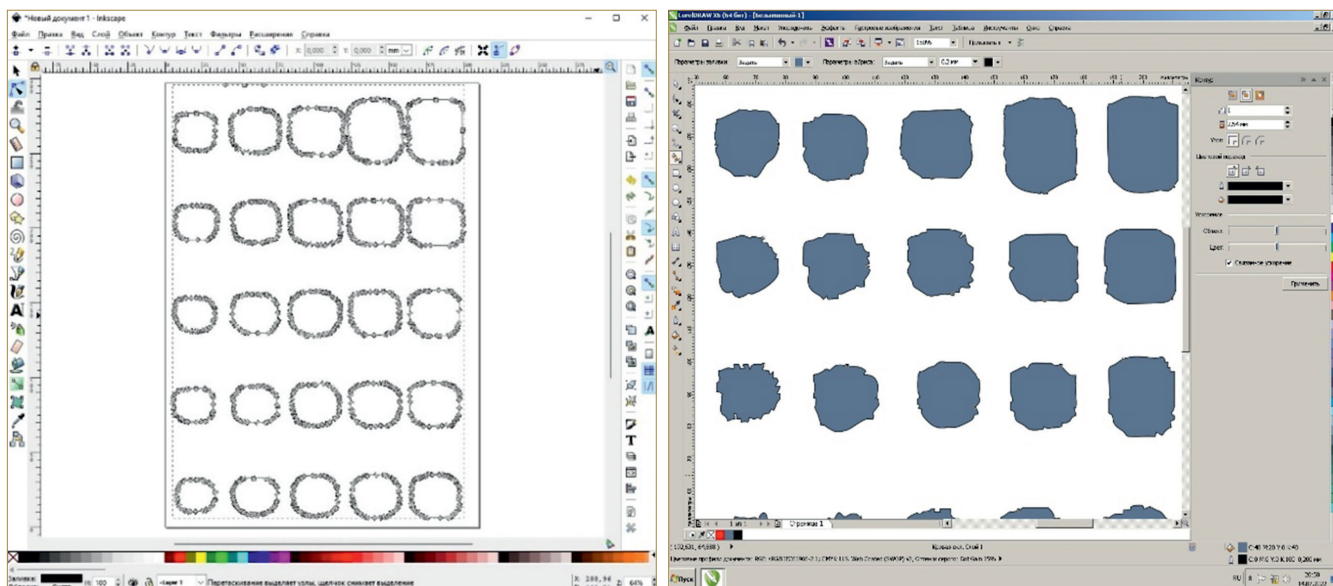


Рис. 7. Окна программ Inkscape и CorelDRAW

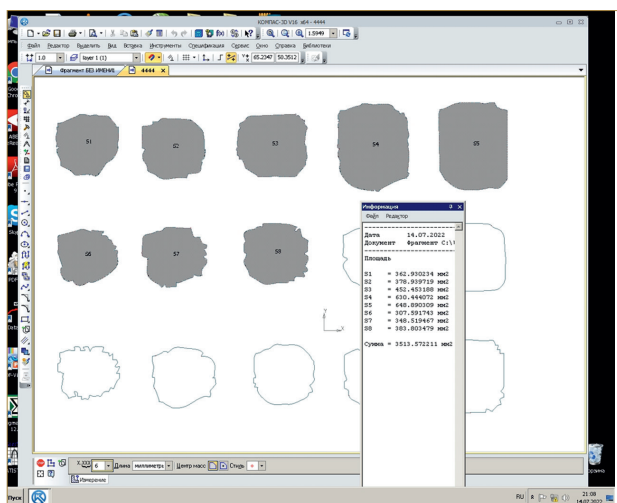


Рис. 8. Пример Информационного окна с площадями отпечатков

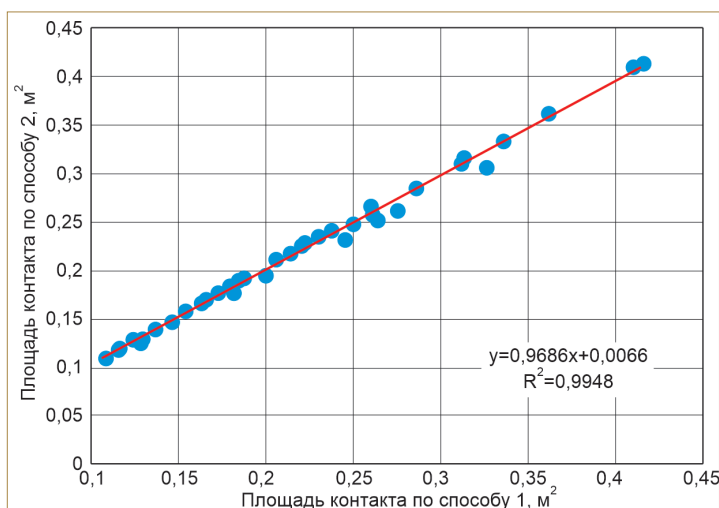


Рис. 9. Сравнительная оценка предложенных методик определения площади отпечатка

вания контура результат измерения появляется в Информационном окне.

Изложенная выше методика определения контурной площади пятна контакта шины на жестком опорном основании с использованием CAD-систем уже не первый год применяется в нашей исследовательской практике. Её относительно высокая точность проверена самыми различными способами: переносом отпечатков на миллиметровую бумагу, с использованием планиметров и т.д.

Для оценки точности расчета площади отпечатка по методу «подсчета пикселей» приведем график, где по оси абсцисс отложим искомые площади, найденные в соответствии с указанной методикой, а по оси ординат – в соответствии с методикой, основанной на преобразовании растрового изображения отпечатка в векторный формат. Чем ближе находятся результаты к линии $Y=X$, тем лучше сходимость обеих методик (рис. 9).

Из приведенного графика следует, что предлагаемый способ определения контурной площади контакта колесных движителей современной аграрной техники с использованием методики «подсчета пикселей», основанной на формировании двумерного массива, содержащего информацию о цвете каждого пикселя, вполне приемлем для практического использования. Его главное достоинство – высокая скорость обработки больших массивов исходных данных, позволяющая существенно ускорить процедуру оценки уровня воздействия на почву современной колесной техники.

Выводы

1. Предложенные методики определения контурной площади контакта колесных систем с жестким опорным основанием позволяют обрабатывать одновременно большое количество отпечатков с приемлемой для инженерных расчетов точностью.

2. Первый метод расчета основан на формировании двумерного массива, содержащего информацию о цвете каждого пикселя цифрового снимка отпечатка с дальнейшим подсчетом количества пикселей характерного цветового диапазона.

3. Второй метод основан на преобразовании растрового изображения в векторный формат с целью дальнейшего вычисления искомых площадей с помощью CAD-систем.

4. Оба предложенных метода гармонично дополняют ГОСТ Р 58656, в котором регламентируется только метод получения отпечатка контура протектора шины, но отсутствуют требования к методике определения размера этого отпечатка.

Список

использованных источников

1. ГОСТ 17697-72. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1972. 26 с. (Автомобили, значение колеса).
2. ГОСТ Р 58656-2019. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с. (Техника сельскохозяйственной мобильная).
3. Polasik, K., Waluś, Ł., Warguła. Experimental studies of the size contact area of a summer tire as a function of pressure and the load // Procedia Engineering. 2017. V. 177. Pp. 347-351.
4. M. Kučera, M. Helexa Link between static radial tire stiffness and the size of its contact surface and contact pressure // Agronomy Research. 2016. V. 14 (4). Pp. 1361-1371.
5. Schjønning P., Stettler M., Keller T., Lassen P., Lamandé M. Predicted tyre-soil interface area and vertical stress distribution based on loading characteristics // Soil & Tillage Research. 2015. V. 152. Pp. 52-66.
6. Ревенко В.Ю., Фролов С.С., Ткаченко А.Н., Иванов А.Б. Уточненная методика определения площади опорной поверхности шин современной сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2021. № 7. С. 10-15.
7. Липкань А.В., Панасюк А.Н., Годжаев З.А., Лавров А.В., Русанов А.В., Казакова В.А. Оценка способов эксперимен-

тально-аналитического определения контурной площади пятна контакта пневмошины с опорным основанием // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 1. С. 40-50.

8. Lenko Erbakanov.et.al. Tire Contact Footprint Area Measurement Using an Alternative Bounding Box Method Int. // Journal of Engineering Research and Application. 2017. V. 7. Issue 8. Part-3. Pp. 01-04.

9. Farhadi, P., A. Golmohammadi, A. Sharifi, and G. Shahgholi Prediction of the tractor tire contact area, contact volume and rolling resistance using regression model and artificial neural network // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2019. V. 21 (3). Pp. 26-38.

10. Ревенко В.Ю. Годжаев З.А., Русанов А.В. Методы оценки площади контакта колесных движителей с опорным основанием // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 5. С. 48-54.

11. Макросы для Excel. Парсинг сайтов [Электронный ресурс]. URL: <https://excelvba.ru/code/Bitmap2Sheet> (дата обращения: 01.09.2022).

New Methods for Determining the Area of the Contact Surface of Tires of Agricultural Machines and Tractors

V.Yu. Revenko, A.B. Ivanov, D.A. Petukhov
(KubNIITiM)

Summary. The advantages and disadvantages of existing methods for estimating the size of the tire contact patch are considered, new methods for determining the area of the contact surface of tires of agricultural machines and tractors (the "pixel count" method and the method for converting a raster image of a print into a vector format) are presented.

Keywords: contact area, agricultural tire, tractor tire, contour imprint, evaluation method, specialized software.



УДК 631.423.1

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-16-20

Использование данных картирования урожайности для выявления участков внутрипольной неоднородности почвенного плодородия

С.В. Митрофанов,
канд. с.-х. наук,
smitrofanov@hse.ru
(НИУ «Высшая школа экономики»)

Аннотация. Представлены математические модели, разработанные на основе массива больших данных, стационарных агрохимических полевых опытов ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» на разных типах (подтипах) почв для проведения расчетов потенциально возможной урожайности и доз внесения удобрений под планируемую урожайность сельскохозяйственных культур. Совместное использование таких моделей с данными картирования урожайности потенциально применяется для выявления зон внутрипольной неоднородности почвенного плодородия.

Ключевые слова: картирование урожайности, дозы внесения удобрений, агрохимические показатели почвы, пшеница озимая.

Постановка проблемы

Минеральное питание – важная физиологическая функция растительного организма, воздействующая на процессы роста, фотосинтеза, обмена веществ и устойчивость растений к неблагоприятным условиям окружающей среды. На современном этапе развития сельскохозяйственного производства по-прежнему остро стоит задача оптимизации питания культурных растений с целью реализации их генетического потенциала [1].

Рациональное и экономически обоснованное использование удобрений возможно только при строгой регламентации и неукоснительном соблюдении агротехнических и экологических требований к дозам,

формам, срокам и способам внесения, качеству агрохимических работ, установленных применительно к конкретным полям и земельным участкам хозяйств, природно-хозяйственным условиям, с учетом биологических особенностей культур, их сортов, гибридов, планируемой (программируемой) урожайности, результатов агрохимического мониторинга плодородия почв [2].

Мировой и отечественной наукой и передовой практикой доказано, что одно из приоритетных направлений инновационной политики в сельском хозяйстве – широкомасштабное введение так называемого «точного земледелия» с использованием спутниковых навигационных систем и инструментов цифровых технологий. Использование элементов точного земледелия, таких как картирование урожайности предшествующей культуры, оценка вариабельности параметров плодородия, построение электронных карт содержания элементов питания в почве, её электропроводности, мониторинг посевов и использование контактных и бесконтактных методов зондирования посевов, космический мониторинг, позволяет точно и своевременно определять и оценивать количественно лимитирующие факторы при формировании урожая [3-5].

Система картирования урожайности представляет собой аппаратно-программный комплекс, установленный на уборочную технику и позволяющий определять и фиксировать количество собранной сельскохозяйственной продукции определенной промежуток времени. В результате использования данных систем соз-

даются картограммы урожайности, позволяющие выявить неоднородность уровня урожайности в пределах одного поля [6, 7].

Карты урожайности могут являться основой при планировании агрохимического обследования почв и для создания аппликационных картограмм внесения удобрений. Несмотря на большое число различных систем картирования урожайности, все они предназначены для определения урожайности и влажности зерна с единицы площади, учитывая местоположение комбайна и неровности поля. Работа системы картирования урожайности заключается в приеме сигналов GPS со спутников в реальном времени; связи показаний датчиков урожайности и влажности зерна с электронной картой; получении цифровой карты урожайности.

По карте определяют участки с низкими показателями урожайности из-за недостаточного внесения удобрений; зоны, имеющие уплотнение почвы, с неразвитой дренажной системой, пораженные сорняками и паразитами. По карте урожайности можно определить в процентном и количественном соотношении участки с конкретными показателями урожайности, средним и текущим значением влажности зерна, производительность комбайна и другие параметры, касающиеся процесса уборки урожая. Полученную таким образом цифровую карту урожайности совместно с картой агрохимического обследования можно использовать для создания технологической карты дифференциального внесения удобрений и средств химической защиты растений.

При дифференцированной обработке полей учитывают данные о том, на каком участке поля будет получен максимальный урожай, исходя из оптимизации затрат и извлечения максимальной прибыли. Возможно решение и противоположной задачи – снижение затрат в соответствии с запланированным урожаем на обедненных участках поля, что повлияет на внесение изменений в севооборот, конфигурацию полей и выбор высеваемых культур [6-8].

Однако на сегодняшний день отсутствуют методики, позволяющие рассчитывать дозы удобрений на планируемую урожайность с учетом данных картирования урожайностей предшествующих культур. В связи с чем исследования, направленные на разработку подобной методики, актуальны.

Цель исследований – разработка научно обоснованной методики выявления участков внутрипольной неоднородности почвенного плодородия и расчета доз применения удобрений на основе использования данных картирования урожайности.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились с использованием монографического, аналитического, математического и статистического методов, а также методов систематизации, сравнения, обобщения, декомпозиции и стратификации.

Результаты исследований и обсуждение

На основе массива больших данных стационарных агрохимических полевых опытов ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» на разных типах (подтипах) почв разработаны математические модели (уравнения 1-4), позволяющие производить расчеты потенциально возможной урожайности культур и доз внесения удобрений под планируемую урожайность сельскохозяйственных культур.

Расчетное содержание азота в почве по pH солевой вытяжки:

Таблица 1. Фрагмент базы данных полевых опытов (культура – ячмень яровой, почва – дерново-подзолистая суглинистая)

Уровень урожайности, ц/га	Минимальные значения показателей плодородия почвы					Уровень внесения удобрений			
	гумус, %	pH	азот, г/кг	фосфор, мг/100 г	калий, мг/100 г	навоз, т/га	азот, г/га	P ₂ O ₅ , г/га	K ₂ O, г/га
10	1,4	4,8	30	3	4	0	0	0	0
15	1,5	4,8	30	3	4	0	0	0	0
45	3,2	5,5	100	15	17	0	0	0	0
25	3,4	5,5	70	7	8	0	0	0	0
25	3,4	5,5	70	8	10	0	0	5	0
25	3,4	5,5	70	10	12	0	0	0	0
30	3,6	5,5	80	8	10	0	0	5	0
30	3,6	5,5	80	10	12	0	0	0	0
30	3,6	5,5	80	12	14	0	0	5	0
35	3,8	5,5	90	10	12	0	0	0	0
35	3,8	5,5	90	10	12	0	0	5	0
35	3,8	5,5	90	13	16	0	0	0	0
40	4	5,5	100	10	12	0	0	0	0
40	4	5,5	100	14	17	0	0	5	0
45	4,2	5,5	110	15	17	0	0	0	0

$$N_n = 0,001215 \cdot pH^{4,9801}. \quad (1)$$

Потенциально возможная урожайность культуры по расчетному содержанию в почве:

● азота

$$Y_N = 0,45497 \cdot (N_n + 0,1282 \cdot N_{en})^{1,47475}; \quad (2)$$

● подвижного фосфора

$$Y_P = 0,217042 \cdot (P_n + 0,18519 \cdot P_{en})^{1,6351}; \quad (3)$$

● обменного калия

$$Y_K = 0,35642 \cdot (K_n + 0,15873 \cdot K_{en})^{1,42677}, \quad (4)$$

где N_n – расчетное содержание азота в почве, мг/100 г;

pH – солевая кислотность почвы;

Y_N – урожайность по азоту, ц/га;

Y_P – урожайность по фосфору, ц/га;

Y_K – урожайность по калию, ц/га;

P_n – содержание в почве подвижного фосфора, мг/100 г;

K_n – содержание в почве обменного калия, мг/100 г;

N_{en} – доза вносимого ранее азота, кг д.в./га;

P_{en} – доза вносимого ранее фосфора, кг д.в./га;

K_{en} – доза вносимого ранее калия, кг д.в./га.

Фрагмент базы данных опытов представлен в табл. 1. Расчеты про-

изводятся относительно базовой культуры – ячмень яровой, почва – дерново-подзолистая суглинистая.

Для вычисления потенциальной урожайности по другим культурам производится перерасчет путем применения поправочных коэффициентов. Фрагмент данных коэффициентов соотношений урожайности к базовой культуре (ячмень яровой) представлен в табл. 2.

На основе полученных в ходе расчетов данных, используя закон ограничивающего (лимитирующего) фактора, производится прогноз потенциально возможной урожайности культуры. Представленные математические модели могут быть использованы для решения обратных задач – расчета содержания макроэлементов в почве, расчета доз удобрений и сопоставления изучаемых показателей друг с другом (табл. 3).

Апробация разрабатываемого метода проводилась на базе сельскохозяйственного предприятия Рязанской области. Площадь поля – 75 га, рельеф спокойный (склон < 1°, южной экспозиции). Культура – озимая пшеница.

Таблица 2. Коэффициенты соотношений урожайности к базовой культуре – ячменю яровому (фрагмент)

Код	Наименование культуры	Дерново-подзолистые супеси	Дерново-подзолистые суглинки	Чернозем
1120	Пшеница озимая сильная	1,132	1,132	1,187
1311	Кукуруза раннеспелая на зеленую массу	12,366	11,031	9,967
1310	Кукуруза на зерно раннеспелая	1,732	1,545	1,396
1420	Ячмень яровой	1	1	1
4020	Картофель средний и поздний	7,6	7,5	6
1610	Горох	0,672	0,668	0,68
2141	Горчица на зеленую массу	5	5	5,24
2150	Соя	0,418	0,418	0,368

Таблица 3. Пример соотношения урожайности ячменя ярового с агрохимическими показателями почвы (без внесения удобрений)

Урожайность, ц/га	Расчетное содержание азота в почве, мг/100 г	Содержание в почве, мг/100 г	
		подвижного фосфора	обменного калия
1,00	1,706	2,545	2,061
2,00	2,729	3,889	3,350
3,00	3,593	4,984	4,451
4,00	4,367	5,942	5,445
5,00	5,080	6,811	6,367
10,00	8,128	10,407	10,349
20,00	13,005	15,902	16,823
30,00	17,121	20,377	22,352
40,00	20,808	24,297	27,345
50,00	24,208	27,850	31,974
60,00	27,393	31,135	36,333
70,00	30,412	34,213	40,478
80,00	33,294	37,124	44,450
90,00	36,062	39,897	48,275
100,00	38,732	42,553	51,974

Таблица 4. Расчетная цена 1 кг д.в. удобрений

Наименование удобрения	Закупочная цена удобрений в 2020 г., руб.	Среднее содержание, %			Расчетная цена 1 кг д.в. удобрений		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Аммиачная селитра	12400	34,4	–	–	36,05	–	–
Карбамид	15120	46,2	–	–	32,73	–	–
Аммофос	34300	12	52	–	285,83	65,96	–
Диаммофос	18600	17	46	–	109,41	40,43	–
КАС-32	11300	32	–	–	35,31	–	–
Нитроаммофоска	20350	16	16	16	127,19	127,19	127,19
Фосфоритная мука	4400	–	26	–	–	16,92	–
Навоз	900	0,5	0,25	0,6	180	360	150

Почва опытного участка – темно-серая лесная тяжелосуглинистая, хорошо окультуренная за счет освоения севооборота, систематического внесения органических и минеральных удобрений. Агрохимическая характеристика опытного участка свидетельствует о средних показателях содержание гумуса, которое стабилизировалось на уровне 4,2%. Содержание доступного фосфора (18,1 мг/100 г почвы) – высокое, обменного калия (11,4 мг/100 г почвы) – среднее, реакция почвенной среды – слабокислая (pH 5,2).

Ассортимент применяемых в хозяйстве удобрений с расчетной стоимостью 1 кг д.в. макроэлементов представлен в табл. 4.

Под озимую пшеницу в соответствии с расчетом под планируемую урожайность в 50 ц/га вносилось: навоз – 1609 т / 75 га с целью повышения показателей по калию и фосфору, а также ввиду наличия цеха животноводства; аммиачная селитра – 3,2 т д.в.

Уборка урожая проводилась комбайном РОСТСЕЛЬМАШ Torum 785, оснащенного многофункциональным дисплеем Trimble FmX, позволяющим проводить картирование урожайности и определять влажность зерна. Ширина захвата жатки 9 м, скорость движения комбайна переменная, средняя – 4,6 км/ч. Путь, пройденный комбайном, составил 84,1 км при времени работы 18,2 ч (65534 с). Определение урожайности производилось ежесекундно, число записей системы картирования при этом составило 65534.

С целью выявления зон неоднородности произведено укрупнение точек по пути следования комбайна в среднем через 1,3; 9; 27 и 50 м и до одной точки с отслеживанием изменений расчетных показателей почвы по азоту, фосфору и калию (табл. 5).

Из данных табл. 5 следует, что оптимальным укрупнением точек является 9 × 9 м, или 81 м² (рис. 1).

На основе данных представленных на рис. 1, используя разработанные модели, смоделировано распределение макроэлементов по исследуемой площади (рис. 2-4).

Таблица 5. Средние значения показателей (учитывается каждое расстояние, пройденное комбайном больше нуля)

Средняя урожайность, ц/га	Вид расчета	Содержание, мг/100 г почвы		
		азота расчетное	подвижного фосфора	обменного калия
–	АХО среднее	–	18,1	11,4
Средняя длина пути 1,3 м, 65519 точек				
67,161	Расчет среднее	6,988	19,331	13,965
Средняя длина пути 9 м, 9091 точка				
56,36	Расчет среднее	5,046	17,583	11,179
Средняя длина пути 27 м, 3083 точки				
56,293	Расчет среднее	5,084	17,633	11,225
Средняя длина пути 50 м, 1672 точки				
56,273	Расчет среднее	5,099	17,653	11,244
Весь путь 67882,99 м, одна точка				
56,253	Расчет среднее	5,226	17,813	11,405

Данные урожайности по пути следования комбайна позволяют значительно детализировать данные о состоянии плодородия почвы полей. Полученные данные могут быть использованы с целью разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений в соответствии с выбранной стратегией: внесение удобрений на максимальную урожайность; внесение трех удобрений на максимальную прибыль и т.п. [9].

Выводы

1. Разрабатываемая методика и программный комплекс на ее основе позволяют оптимизировать питание сельскохозяйственных культур путем выявления участков неоднородности

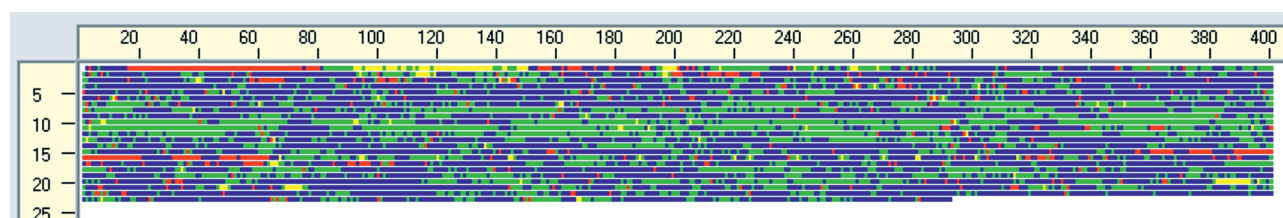


Рис. 1. Урожайность озимой пшеницы:

■ – до 30 ц/га, ■ – 30-50, ■ – 50-80, ■ – более 80 ц/га

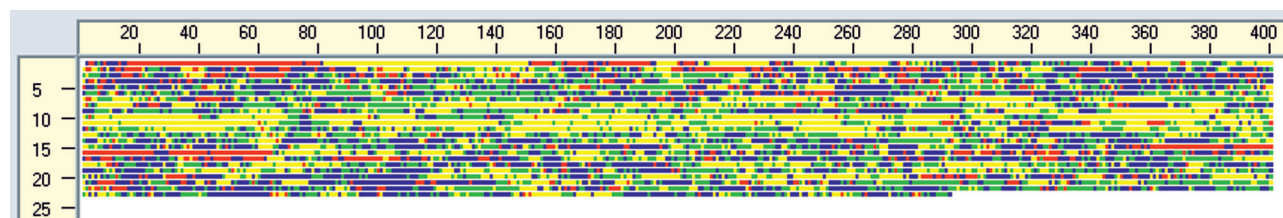


Рис. 2. Расчетное содержание азота в почве:

■ – до 3 мг/100 г почвы, ■ – 3-5, ■ – 5-9, ■ – более 9 мг/100 г

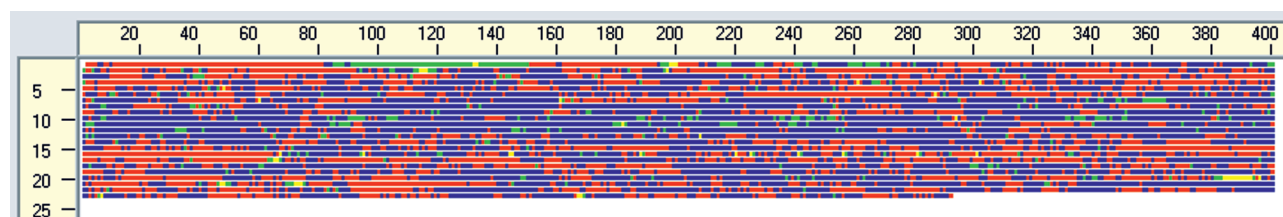


Рис. 3. Содержание в почве подвижного фосфора:

■ – до 6 мг/100 г почвы, ■ – 6-12, ■ – 12-18, ■ – более 18 мг/100 г

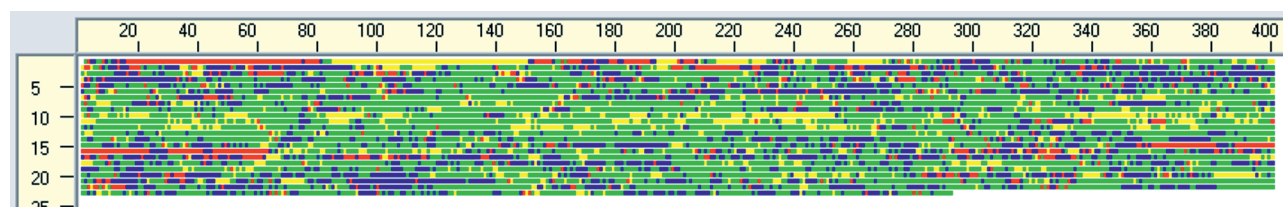


Рис. 4. Содержание в почве обменного калия:

■ – до 6 мг/100 г почвы, ■ – 6-12, ■ – 12-18, ■ – более 18 мг/100 г

почвенного плодородия и соответствующих расчетов доз применяемых удобрений.

2. Разрабатываемая методика может быть использована как сельскохозяйственными предприятиями, так и фирмами-производителями смешанных удобрений, а также компаниями, оказывающими услуги в области агрохимического обслуживания сельхозпредприятий, с целью производства тукосмесей или дифференцированного применения удобрений под почвенно-климатические и хозяйственные условия потребителя.

Список использованных источников

1. **Аристархов А.Н.** Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России // Эколого-агрохимическая оценка дефицита, резервов, способов и средств его устранения / Под редакцией акад. РАН Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2019. 832 с.
2. **Державин Л.М., Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е.** Методология комплексного применения удобрений и пестицидов в интенсивном земледелии. М.: ВНИИА, 2016. 344 с.

3. **Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Личман Г.И., Смирнов И.Г., Марченко А.Н.** Цифровые технологии химизации сельского хозяйства: теория и практика. М.: ФНАЦ ВИМ, 2020. 180 с.

4. **Якушев В.В., Якушев В.П.** Перспективы «Умного сельского хозяйства» в России // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88. № 9. С. 773-784.

5. **Якушева О.И.** Влияние внутривидовой почвенной неоднородности и уровня интенсификации агротехнологий на урожайность яровой пшеницы : автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург, 2013. 24 с.

6. **Труфляк Е.В.** Картирование урожайности. Краснодар: КубГАУ, 2016. 13 с.

7. **Иванченко П.Г., Султанов И.И.** Система картирования урожайности и ее элементы при внедрении технологии точного земледелия // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 1 (33). С. 57-61.

8. **Кокунова И.В., Галанцев В.А.** Картирование урожайности сельскохозяйственных культур // В сб.: Современное состояние и инновационные технологии в развитии АПК и сельских территорий. Матер. Региональной научно-практической конф. Великие Луки, 2022. С. 70-75.

9. **Белых С.А., Митрофанов С.В., Личман Г.И., Марченко А.Н.** Экономически прибыльный прием расчета доз для дифференцированного внесения удобрений // Техника и оборудование для села. 2020. № 7 (277). С. 45-50.

Using Yield Mapping Data to Identify Areas of In-field Heterogeneity in Soil Fertility

S.V. Mitrofanov

(High School of Economics)

Summary. Mathematical models developed on the basis of a big data array of stationary agrochemical field experiments of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center "Nemchinovka" on different types (subtypes) of soils for calculating the potential yield and doses of fertilizers for the planned crop yield are presented. The combined use of such models with yield mapping data can potentially be used to identify areas of in-field heterogeneity in soil fertility.

Keywords: yield mapping, fertilizer doses, soil agrochemical parameters, winter wheat.



Биомасса

топливо и энергия

Конгресс & экспо

Темы конгресса:

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

Кто будет участвовать:

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

12-13 апреля 2023

Отель «Холидей Инн Лесная»

Москва

+7 (495) 585-5167

info@biotoplivo.ru

www.biotoplivo.com

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ

XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

МВС: ЗЕРНО-КОМБИКОРМА-ВЕТЕРИНАРИЯ - 2023



21-23 ИЮНЯ

МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОНЫ № 55, 57



СПЕЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



МИНСЕЛЬХОЗ РОССИИ



РОССИЙСКИЙ
ЗЕРНОВОЙ СОЮЗ



АССОЦИАЦИЯ
«РОСРЫБХОЗ»



СОЮЗ
КОМБИКОРМИЩИКОВ



СОЮЗРОССАХАР



НАЦИОНАЛЬНАЯ
ВЕТЕРИНАРНАЯ
АССОЦИАЦИЯ



АССОЦИАЦИЯ ПТИЦЕВОДОВ
СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА



СОЮЗ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЗООБИЗНЕСА



АССОЦИАЦИЯ
«ВЕТБИОПРОМ»



АССОЦИАЦИЯ
«ВЕТБЕЗОПАСНОСТЬ»



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ
СВИНОВОДОВ



РОСПТИЦЕСОЮЗ



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР
МОСКОВСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ
ЦЕНТР МАРКЕТИНГА «ЭКСПОХЛЕБ»



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



16+

УДК 631.333.5:631.816.31

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-22-26

Моделирование процесса подачи гранул удобрений на диск распределителя твердых минеральных удобрений

Н.С. Панферов,канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
nikolaj-panfjorov@yandex.ru**В.С. Тетерин,**канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
v.s.teterin@mail.ru**А.Ю. Овчинников,**мл. науч. сотр.,
aleksovchinn@gmail.com**С.А. Пехнов,**ст. науч. сотр.,
pehnov@mail.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Рассмотрены системы бережной подачи удобрений на распределяющий диск центробежных распределителей твердых минеральных удобрений, а также возможность использования данных систем на пограничных участках поля и перекрытиях. Приведен разработанный и спроектированный с помощью САПР диск распределителя, оснащенный разгонной камерой. Показан симитированный с помощью программы RealFlow процесс его работы и приведены основные результаты симуляции.

Ключевые слова: распределение, моделирование, минеральные удобрения, разгонная камера, симуляция.

Постановка проблемы

Обеспечение продовольственной безопасности страны подразумевает использование интенсивных сельскохозяйственных технологий, в которых для получения высоких показателей урожайности культур используются высокие дозы минеральных удобрений, закрывающие потребность растений в питательных элементах [1-4]. Основная масса используемых минеральных удобрений – твердые (гранулированные) минеральные удобрения (ТМУ), которые вносятся с помощью навесных и прицепных распределителей с рабочими органами центро-

бежного типа. В последнее время в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой, а также с целью экономии и перераспределения средств активно внедряются интеллектуальные технологии ведения сельского хозяйства, одним из примеров которых является дифференцированное распределение ТМУ по полю в зависимости от потребности в удобрениях на определенных его участках. Данная технология подразумевает наличие распределителей твердых минеральных удобрений, оснащенных системой интеллектуального управления внесением удобрений [5-8]. В данную систему обычно входят:

- датчики массы;
- система управления дозирующей заслонкой;
- система контроля внесения удобрений на склонах и по краям полей;
- система контроля и управления зоной распределения;
- система параллельного вождения и GPS или ГЛОНАСС.

Все эти системы состоят из сложных электромеханических и гидравлических узлов, работающих совместно. Как правило, данные устройства работают автоматически, опираясь на заданные оператором параметры. Однако необходимо понимать, что с приобретением данных машин операция дифференцированного внесения удобрений будет возможна не в любых условиях, несмотря на современные технологии, которые учитывают скорость и направление ветра, после чего корректируется положение разбрасывающих лопаток и поступление удобрений на распределяющий диск, происходит взвешивание частиц, поступающих на него, и определяется необходимый момент вращения для распределения их на необходимую ширину. Все эти дополнительные

системы остаются сложными и дорогими, зачастую их использование нецелесообразно и не окупает себя многие годы, при этом задача повышения точности распределения удобрений как по площади, так и по массе, а также внесение удобрений на краях поля, склонах и перекрытиях остается актуальной [9-12].

Если рассматривать процессы, происходящие в момент внесения удобрений на распределителях ТМУ, то их можно разделить на два основных этапа (рис. 1 а, в) и один промежуточный (рис. 1 б):

А. Дозирование (открытие заслонки на необходимое сечение дозирующего окна в зависимости от скорости движения машинно-тракторного агрегата, нормы и ширины внесения удобрений);

Б. Промежуточный этап, заключающийся в движении гранул удобрений по поверхности диска от момента касания его поверхности до момента попадания на лопатки;

В. Распределение – момент, когда гранулы удобрения попадают на распределяющий диск и его лопатки и под действием центробежной силы распределяются по полю.

Промежуточный этап немаловажен в процессе внесения удобрений, ведь от того, в какую область диска, какое количество и масса удобрений высыпается на него, будут зависеть контур и площадь зоны распределения, дальность полета гранул, что отразится на общей картине распределения удобрений. На данном этапе могут происходить следующие негативные процессы, влияющие на картину распределения: отскок гранул от элементов диска, падение гранул с диска, переизбыток гранул на распределяющем диске, дробление, пыление гранул и др.

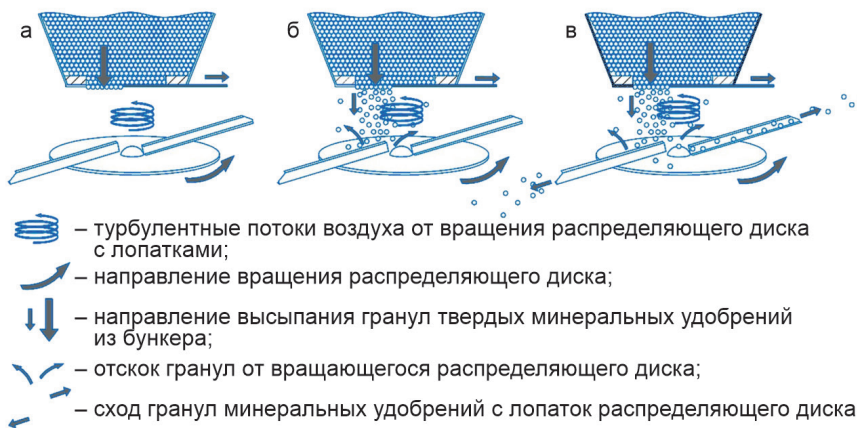


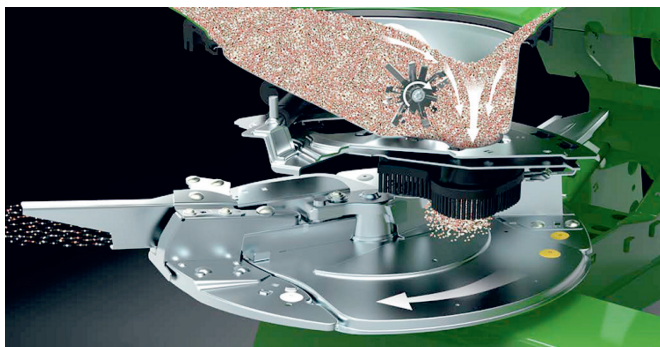
Рис. 1. Этапы движения гранул твердых минеральных удобрений от момента дозирования до момента схода с распределяющего диска

Производители решают данные проблемы по-разному: самый распространенный вариант – использование направляющей трубки в виде «щеточки» (рис. 2 а), стенки которой сделаны из полимерного гибкого ворса. Благодаря данному приспособлению большинство гранул позиционируются именно в той области диска, в которой необходимо, минимизируются отскок и повреждаемость гранул и, как следствие, пыление. Второй вариант – использование различных камер разгона, например, система Center flow или аналогичные (рис. 2 б). Камера разгона в данном случае представляет собой изолированный не вращающийся вместе с распределительным диском цилиндр с выгрузным окном, установленный соосно (на одной оси) с распределяющим диском. При этом нижняя часть цилиндра (разгонной камеры)

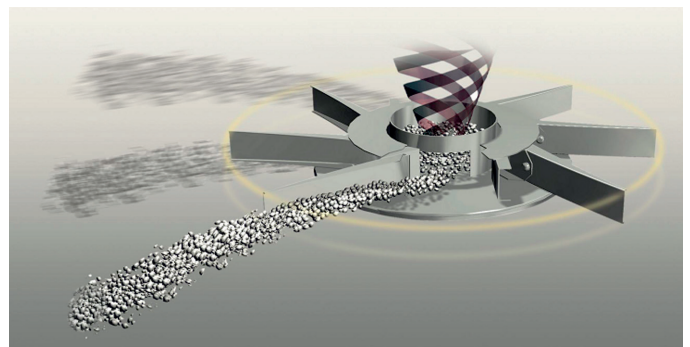
ограничена плоскостью распределяющего диска, а сама камера имеет возможность вращаться вокруг своей вертикальной оси, благодаря чему происходит позиционирование окна выброса порции минеральных удобрений на распределяющий диск. Попадая в разгонную камеру, гранулы твердых минеральных удобрений, помимо минимизации отскоков, дробления и пыления, получают начальную скорость вращения, равную скорости вращения распределяющего диска, а также за счет центробежной силы распределяются равномерным слоем по стенкам разгонной камеры, независимо от положения и наклона распределителя ТМУ в пространстве [11-14].

Кроме того, в данных решениях реализованы системы позиционирования точки дозирования твердых минеральных удобрений на рас-

пределяющий диск, позволяющие контролировать распределение на сложных участках полей, у их кромок, на перекрытиях. В случае со щеткой осуществляется поворот нижней части бункера распределителя ТМУ вместе с дозирующим устройством и мешалкой, что не совсем удобно и сложно реализуемо ввиду большой массы, точности сопряжения деталей и механизмов, дополнительного мощного привода. В случае с разгонной камерой позиционирование осуществляется за счет поворота самой камеры вокруг своей оси, тем самым поворачивая выгрузное окно на необходимый угол. Однако, в отличие от системы со «щеткой» системы с разгонной камерой имеют неоспоримое преимущество при внесении удобрений на склонах за счет неизменности положения выброса удобрений из камеры, в то время как у других систем и распределителей, не оснащенных данными системами, происходит отклонение высыпания удобрений из бункера, а следовательно, смещение точки попадания на распределяющий диск (рис. 3), за счет чего изменяются и контуры зоны распределения удобрений по полю, поэтому процесс сложнее контролировать при точном внесении удобрений, требуется учитывать рельеф поля, чтобы компенсировать дозу удобрений программно. Таким образом, предпочтительной можно считать систему дозирования с разгонной камерой, так как она имеет больше преимуществ по сравнению с другими системами [13-15].



а



б

Рис. 2. Системы бережной подачи удобрений:

а – система Soft Ballistic System pro (Amazon); б – Система CentreFlow Kverneland

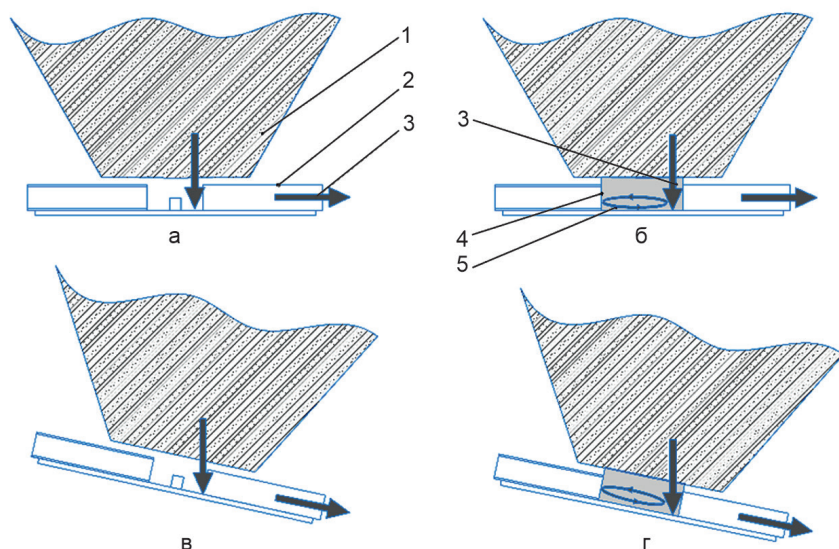


Рис. 3. Влияние наклона распределителя твердых минеральных удобрений на работу системы дозирования без разгонной камеры (а, в) и с ней (б, г):

- 1 – бункер распределителя твердых минеральных удобрений;
2 – распределяющий диск; 3 – направление потока удобрений;
4 – разгонная камера; 5 – направление удобрений в разгонной камере

Актуальность исследований заключается в оценке влияния технологических и конструктивных параметров разгонной камеры на процесс распределения твердых минеральных удобрений распределителями с центробежными рабочими органами.

Цель исследований – изучение возможности применения разгонной камеры на распределителях твердых минеральных удобрений и ее влияние на конечную картину распределения удобрений.

Материалы и методы исследования

Основными задачами исследования являются изучение влияния конструктивно-технологических параметров разгонной камеры на общую

картину распределения удобрений и изменение положения выгрузного окна разгонной камеры при внесении удобрений по краям поля.

Для проведения исследований с помощью САПР SolidWorks был спроектирован диск центробежного распределителя ТМУ [16], оснащенный разгонной камерой с выгрузным окном и возможностью изменения его положения поворотом вокруг оси распределяющего диска (рис. 4).

Далее данный проект был перенесен в программу RealFlow, в которой с целью симуляции процесса распределения удобрений по полю были приняты следующие параметры: диаметр имитации гранул удобрений 3 мм, скорость вращения распределяющего диска 840 мин⁻¹, конструкция

распределяющего диска неизменна (Ø 600 мм), количество гранул удобрений (ограничивалось вычислительными ресурсами используемого ПК) 1000 шт. Изменяемые (исследуемые) параметры: диаметр разгонной камеры 100-200 мм, размер выгрузного окна – от 70 мм (исходя из площади максимального сечения дозирующих заслонок) до 110 мм (конструкционные ограничения). Положение выгрузного окна относительно начального 0° (поворот разгонной камеры) варьировалось в пределах 0-180° с шагом 45°.

Для каждого из вариантов варьируемых параметров разгонной камеры симуляция продолжалась в течение 5 с и имела трёхкратную повторяемость. Скорость ветра и сопротивление воздушного потока не учитывались. В процессе моделирования оценивалось количество гранул, оставшихся внутри разгонной камеры и упавших на поверхность.

Результаты исследований и обсуждение

После проведения симуляций были собраны и обработаны с помощью программы Excel данные координат точек падения имитации гранул твердых минеральных удобрений. На основании собранных данных были построены следующие диаграммы.

Результаты исследований влияния размера выгрузного окна на зону распределения удобрений представлены на точечных диаграммах (рис. 5).

Как видно из представленных на рис. 5 диаграмм, при ширине выгрузного окна разгонной камеры 70 мм наблюдается более сконцентрированная зона распределения удобрений по поверхности, что по сравнению с выгрузным окном шириной 110 мм наиболее перспективно при использовании в точном земледелии. Однако при анализе данных было выявлено, что за один и тот же интервал времени количество удобрений, оставшихся в разгонной камере Ø 150 мм и размером выгрузного окна 70 мм, на 10-15 % больше, чем в разгонной камере того же диаметра с размером выгрузного окна 110 мм. Этим же обуславливается большая ширина захвата и рассеян-

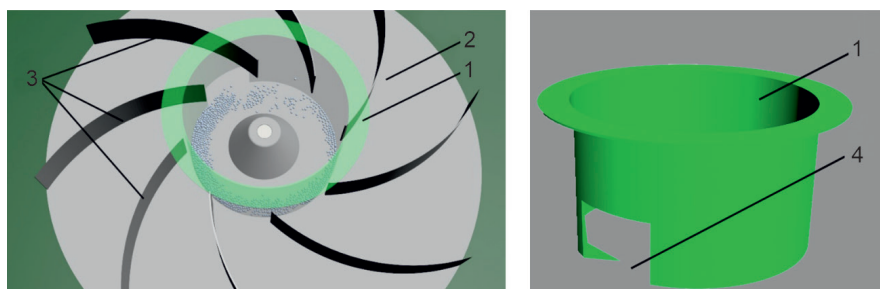


Рис. 4. Общий вид спроектированного распределяющего диска:

- 1 – разгонная камера; 2 – поверхность; 3 – лопасти;
4 – выгрузное окно разгонной камеры

ность гранул по площади в случае с выгрузным окном размером 110 мм.

На следующем этапе определялось влияние диаметра разгонной камеры распределяющего диска на

характер распределения гранул по поверхности.

Анализируя диаграммы (рис. 6), можно сделать вывод, что увеличение диаметра разгонной камеры

до 200 мм (см. рис. 6 а) при неизменном ее положении и размере выгрузного окна 70 мм ведет к последствиям в виде снижения дальности полета и густоты распределения удобрений, остаток удобрений в разгонной камере достиг 80 % от начального количества. При диаметре разгонной камеры 150 мм, выгрузного окна – 70 мм (см. рис. 6 б) наблюдается выброс гранул более 85%, дальность их полета – 2-4 м и ширина зоны распределения – 8 м на всем протяжении, что говорит о наибольшей стабильности и возможности регулирования дозы внесения удобрений при использовании данной конфигурации на распределителе.

Следующая симуляция (рис. 7) показала, что наибольшее влияние на зону распределения гранул по поверхности при диаметре распределяющего диска 600 мм, диаметре разгонной камеры 150 мм и размере выгрузного окна 70 мм оказывает расположение самого выгрузного окна относительно начального его местонахождения.

Следует отметить, что данная симуляция проводилась с целью подтверждения влияния положения выгрузного окна на смещение зоны распределения ТМУ при внесении их на пограничных участках полей и других сложных условиях. Для полноты картины были использованы 4 интервала с поворотом разгонной камеры до 180° без каких-либо технологических и конструкционных ограничений, при этом распределитель находился в начальной точке координат. Данная симуляция показала, что при смещении выгрузного окна на 45° против часовой стрелки (см. рис. 7 а) относительно начального положения (см. рис. 5 а) происходит смещение зоны распределения в этом же направлении в среднем на угол 22°-25°, при этом параметры площади распределения остаются неизменными: основная концентрация распределенных гранул находится на расстоянии до 8 м от источника, а дальность распределения варьируется в пределах 4-6 м.

Во всех произведенных вариациях наблюдалась та же картина со смещением зоны наибольшей концентрации

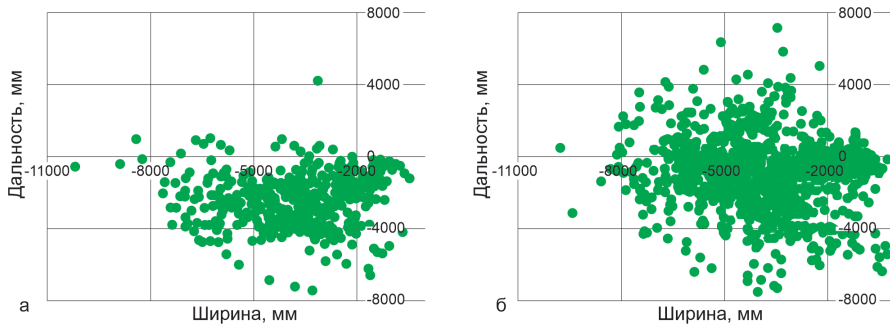


Рис. 5. Исследование влияния размера выгрузного окна разгонной камеры на зону распределения удобрений: а – 70 мм; б – 110 мм

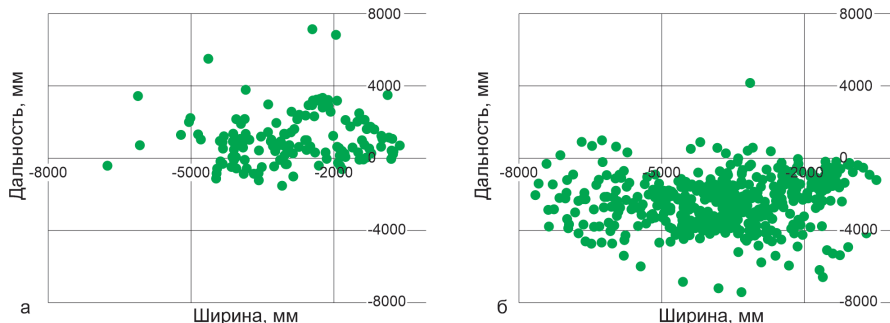


Рис. 6. Исследование влияния диаметра разгонной камеры на показатели распределения гранул минеральных удобрений при размере выгрузного окна 70 мм: а – $\varnothing$ 200 мм, 1000 шт; б – $\varnothing$ 150 мм

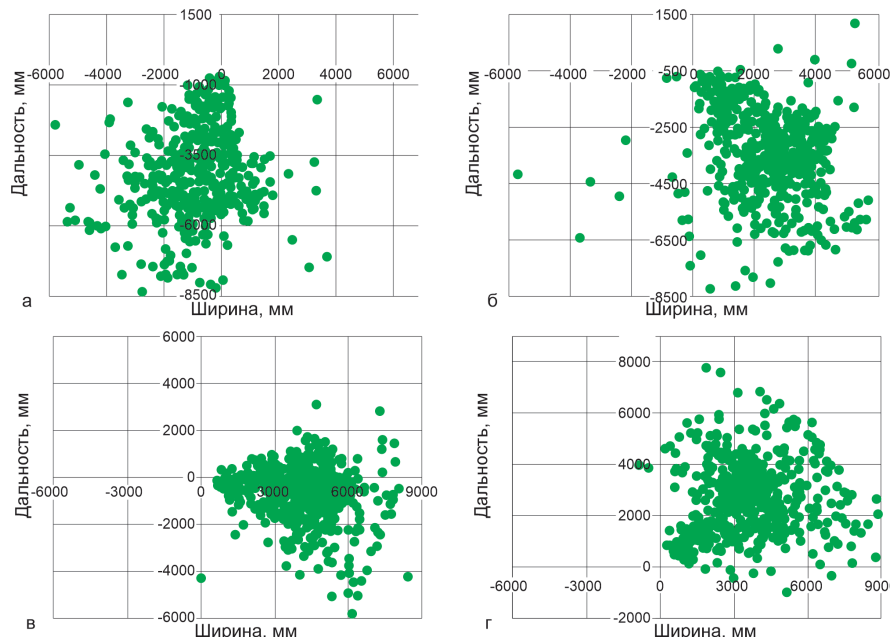


Рис. 7. Распределение гранул по поверхности после изменения положения выгрузного окна камеры разгона относительно начального положения: а – поворот на 45°; б – поворот на 90°; в – поворот на 135°; г – поворот на 180°

гранул на 25° относительно предыдущего положения без значительного изменения структуры и размеров зоны распределения, что говорит о возможности использования положения выгрузного окна разгонной камеры распределяющего диска в качестве устройства, корректирующего внесение ТМУ на пограничных участках поля, при перекрытиях и прочих сложных условиях.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что влияние на зону распределения ТМУ на машинах, оснащенных разгонными камерами, оказывает их размер, т.к. в ходе симуляций выяснилось, что при номинальном режиме работы камера $\varnothing$ 150 мм показала положительные результаты – выброс гранул составил 85% от их общего числа, структура зоны распределенных удобрений четко просматривается и имеет дальность 2-4 м и ширину порядка 8 м на всем протяжении по сравнению с камерой $\varnothing$ 200 мм, в которой во время симуляции осталось порядка 85 % гранул от общего количества, а зона распределенных удобрений не имеет четкого контура, при этом ширина распределения сократилась до 5 м.

2. Размер выгрузного окна разгонной камеры влияет на кучность (концентрацию) и размеры зоны распределения удобрений. Так, при ширине выгрузного окна 110 мм зона наибольшей концентрации (дальность и ширина) увеличивается на 50-70% по сравнению с выгрузным окном шириной 70 мм, что, в свою очередь, влияет на точность внесения и регулировку зоны покрытия, но положительно сказывается на выбросе 98% гранул из разгонной камеры по сравнению с 85% – при размере выгрузного окна 70 мм, однако также не исключает изменения размера выгрузного окна разгонной камеры как одного из инструментов регулировки зоны и площади распределения удобрений.

3. Положение выгрузного окна разгонной камеры, а следовательно, и место поступления ТМУ на диск распределителя оказывает прямое

влияние на положение зоны распределения удобрений. Так, при повороте выгрузного окна разгонной камеры на 45° относительно начального положения происходит смещение зоны распределения удобрений на 22°-25° без существенного изменения ее структуры и контуров.

Список

используемых источников

1. **Волынкина О.В., Копылов А.Н.** Сроки и способы внесения минеральных удобрений // Аграрный сектор. 2021. № 3. С. 52-57.
2. **Еремينا Д.В., Демина О.Н.** Экономика планируемых урожаев яровой пшеницы на пахотных черноземах за счет внесения минеральных удобрений // Вестн. Казанского ГАУ. 2021. Т. 16. № 1. С. 9-14.
3. **Li Z.X., Chi F.Q., Zhang J.M., Kuang E.J., Su Q.R.** Effects of Long-Term Localized Fertilization on Nutrient Balance and Dynamic Change of Hu Molecular Structure in Black Soil. Spectroscopy and spectral analysis. 2018. Vol. 38. No. 12. P. 3875-3882.
4. **Romanenkov V., Belichenko M., Petrova A., Raskatova T., Krasilnikov P.** Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers in Russia // Geoderma Regional. 2019, June. Vol. 17, Article e00221.
5. **Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н.** Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 4-9.
6. **Тетерина О.А., Костенко Н.А.** Совершенствование машин для внесения минеральных удобрений // Юность и знания – гарантия успеха - 2017: сб. науч. тр. 4-й Междунар. молодежной науч. конф. В 2-х т. 2017. С. 202-205.
7. **Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В.** Интеллектуальная технология формирования системы удобрения // Техника и оборудование для села. 2020. № 7. С. 2-5.
8. Синхронизация работы разбрасывателя твердых минеральных удобрений и вспомогательных машин и механизмов / М.А. Гайбарян, Н.Н. Новиков, В.С. Тетерин [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 4. С. 15-19.
9. Разработка лабораторного стенда для исследования рабочих органов распределителей удобрений центробежного типа / Н.С. Панферов, В.С. Тетерин, С.А. Пехнов, Д.Г. Сухоруков // Техника и оборудование для села. 2020. № 7. С. 26-29.

10. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / К.П. Андреев, В.А. Макаров, А.В. Шемякин [и др.] // Вестник РГАТУ. 2017. № 1. С. 54-59.

11. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений / Н.С. Панферов, В.С. Тетерин, С.В. Митрофанов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 12. С. 18-24.

12. Determining the inequality of solid mineral fertilizers application / K.P. Andreev, Zh.V. Danilenko, M.Yu. Kostenko [et al.]. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Vol. 10. No. 10 Special Issue. P. 2112-2122.

13. Техника для внесения удобрений [Электронный ресурс]. URL: <https://amazone.net/ru-ru> (дата обращения: 18.08.2022).

14. Дисковые разбрасыватели [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.kverneland.com/Razbrasyvateli/Diskovye-razbrasyvateli> (дата обращения: 18.08.2022).

15. Теоретическое обоснование параметров рабочих органов разбрасывателя центробежного типа / М.Ю. Костенко, М.А. Гайбарян, В.С. Тетерин [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 2. С. 16-20.

16. Теоретическое обоснование движения гранул минеральных удобрений после схода с разбрасывающего диска / М.Ю. Костенко, В.С. Тетерин, Н.С. Панферов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 12. С. 25-28.

Simulation of the Processes of Supplying Fertilizer Granules to the Disc of the Spreader of Solid Mineral Fertilizers

N.S. Panferov, V.S. Teterin, A.Yu. Ovchinnikov, S.A. Pekhnov (VIM)

Summary. The systems of careful supply of fertilizer to the distributing disk of centrifugal distributors of solid mineral fertilizers, and the possibility of using these systems on the border areas of the field and overlappings, are considered. A distributor disc developed and designed with the help of CAD, equipped with an accelerating chamber, is presented. The process of its work simulated using the RealFlow program is shown and the main results of the simulation are given.

Keywords: distribution, modeling, mineral fertilizers, accelerating chamber, simulation.

УДК 631.6.02

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-27-30

Обоснование основных параметров устройства для внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений на склонах

С.А. Васильев,*д-р техн. наук, доц., проф.,
vsa_21@mail.ru***Ю.В. Ильичева,***преподаватель,
julkaulitz@yandex.ru***А.А. Васильев,***зав. кафедрой,
alexei.21@mail.ru***В.В. Ильичев,***директор института
транспорта, сервиса
и туризма,
val.ilichev1963@gmail.com
(ГБОУ ВО НГИЭУ)*

Аннотация. Обоснованы основные параметры устройства для реализации внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений на склонах, направленного на существенное уменьшение смывания поверхностного плодородного слоя и сохранение плодородия почвы, повышение объемов производства и качества продукции растениеводства в целом. Внимание уделено взаимодействию устройства с твердыми гранулированными удобрениями на равнинных участках и простых склонах.

Ключевые слова: основные параметры, минеральные удобрения, плодородный слой, объем производства, растениеводство.

Постановка проблемы

Получение хорошего урожая сельскохозяйственных культур является основной целью любой сельскохозяйственной деятельности, связанной с выращиванием культурных растений. На склоновых землях возделывание сельскохозяйственных культур усложняется вследствие воздействия ряда негативных явлений и процессов, связанных с эрозией и деградацией почвы [1, 2].

В Российской Федерации более 50% сельскохозяйственных угодий, граничащих с оврагами и балками, расположены на склонах крутизной до 12° [1]. Ежегодные водные эрозионные процессы и неравномерная обработка почвы вызывают смыв значительного количества плодородной земли, а вместе с ней и питательных веществ и механическую эрозию почвы. Для сохранения плодородия почвы на склоновых землях необходимо вносить минеральные и органические удобрения [3, 4].

Основная доля вносимых удобрений приходится на твердые минеральные туки [5, 6], для распределения которых в нашей стране и за рубежом широко используются сельскохозяйственные машины с дисковыми центробежными аппаратами [7, 8]. Современные конструкции разбрасывателей такого типа повышают эффективность и точность внесения удобрений. Однако поверхностное внесение тарельчатыми дисками обеспечивает распределение удобрений только на поверхности почвы с последующей их заделкой почвообрабатывающими рабочими органами или без заделки. У данного технологического подхода с применением центробежных аппаратов имеются недостатки, связанные с потерей питательных веществ, и операционные сложности.

Внутрипочвенное внесение твердых минеральных удобрений в зону питания растений позволяет обеспечить их корневую систему всеми необходимыми элементами для образования большого количества узловых корней. Локальное внесение удобрений по сравнению с разбросным методом значительно повышает степень их использования (азота – на

10-15%, фосфора – на 5-10, кальция – на 10-12%), что создает предпосылки для снижения на 25-30% нормы внесения.

Установлено [4, 5], что эффективность применения минеральных удобрений на склонах на 20-40 % выше, чем на равнинных участках. Поскольку на склоновых землях возникает чрезвычайное разнообразие факторов (экспозиция, крутизна, длина и форма склоновых участков), необходимо и возможно дифференцировать дозу внесения минеральных удобрений в зависимости, например, от изменения уклона участков. Реализация внутрипочвенной технологии дифференцированного внесения минеральных удобрений может быть обеспечена применением мехатронных модулей с почвообрабатывающими рабочими органами для каждого агроландшафта [9-11].

Цель исследования – обоснование основных параметров устройства для внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений с целью сохранения плодородия почвы для возделывания сельскохозяйственных культур на агроландшафтах склоновых земель.

Материалы и методы исследования

Для реализации внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений предлагается почвообрабатывающий плоскорез-удобритель с рабочим органом, состоящим из стойки, плоскорезующей лапы и материалопровода, внутри которого располагается приводной вал, передающий вращение от регулируемого электродвигателя, закреплённого за стойкой, к центробежному разбрас-

сывающему диску, установленному в подплатовом пространстве. На поверхности диска расположены парно под заданным углом регулируемые направляющие лопатки, а на нижней части материалопровода установлена заслонка (рис. 1).

Рассмотрим взаимодействие центробежного разбрасывающего диска с твердыми туками (рис. 2). Гранулированные удобрения подаются по тукопроводу на заднюю часть диска по ходу движения плоскореза-удобрителя. Размеры пятна подачи удобрений определяются диаметром d_n .

Под действием центробежной силы удобрения устремляются от центра диска к его периферии. Траектория перемещения потока удобрений будет определяться геометрическими размерами диска и силой трения. Для описания взаимодействия удобрений с поверхностью диска используем уравнение второго закона Ньютона в горизонтальной плоскости

$$F = F_{Ц} - F_{TP} - F_K, \quad (1)$$

где F – результирующая сила, Н;
 $F_{Ц}$ – центробежная сила, Н;
 F_{TP} – сила трения, возникающая в месте контакта удобрений с поверхностью диска, Н;

F_K – сила Кориолиса, Н.

Результирующее ускорение рассчитывается по формуле

$$a = \frac{F}{m}, \quad (2)$$

где m – масса удобрения, кг;
 a – ускорение движения потока удобрений, м/с².

Центробежная сила определяется по формуле

$$F_{Ц} = m\omega^2 r, \quad (3)$$

где r – радиус, м;
 ω – угловая скорость, с⁻¹.

Сила трения состоит из двух составляющих:

$$F_{TP} = F_{TP1} + F_{TP2}. \quad (4)$$

Сила трения F_{TP1} рассчитывается по формуле

$$F_{TP1} = \mu_1 mg, \quad (5)$$

где μ_1 – коэффициент трения удобрений о поверхность диска;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Сила Кориолиса оказывает влияние на силу трения F_{TP2} :

$$F_K = 2mV\omega, \quad (6)$$

где V – скорость потока удобрений, движущегося по диску, м/с.

Тогда сила трения F_{TP2} будет рассчитываться по следующей формуле:

$$F_{TP2} = \mu_2 F_K = 2\mu_2 mV\omega, \quad (7)$$

где μ_2 – коэффициент трения удобрений о поверхность лопатки диска.

Скорость перемещения потока удобрений увеличивается согласно закону

$$V = V_0 + at, \quad (8)$$

где V_0 – начальная скорость удобрений, м/с;

t – время, с.

Принимаем $V_0 = 0$, так как удобрения падают практически вертикально и горизонтальная составляющая скорости мала. Используя полученные выражения, рассчитаем ускорение движения потока удобрений:

$$a = \omega^2 R - \mu_1 g - 2\mu_2 at\omega. \quad (9)$$

После преобразования получим:

$$a = \frac{\omega^2 r - \mu_1 g}{1 + 2\mu_2 t\omega}. \quad (10)$$

Теперь можно представить движение потока удобрений в полярных координатах параметрической системой

$$\begin{cases} r = r_0 + \frac{at^2}{2} \\ \varphi = \omega t, \end{cases} \quad (11)$$

где r_0 – расстояние от оси вращения до точки подачи удобрений, м.

Учитывая ускорение потока по формуле (8) и $V_0 = 0$, получим первое выражение системы в следующем виде:

$$r = r_0 + \frac{t^2}{2} \left(\frac{\omega^2 r - \mu_1 g}{1 + 2\mu_2 t\omega} \right). \quad (12)$$

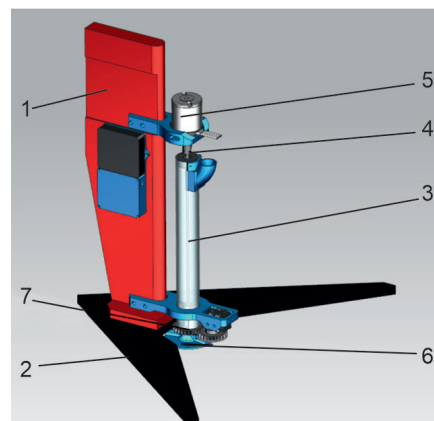


Рис. 1. Общий вид рабочего органа плоскореза-удобрителя:

1 – стойка; 2 – плоскорезающая лапа;
 3 – материалопровод;
 4 – приводной вал;
 5 – регулируемый электродвигатель;
 6 – центробежный разбрасывающий диск;
 7 – заслонка



Рис. 2. Расчетная схема разбрасывания устройством гранул удобрений

Или получим параметрическую систему

$$\begin{cases} r = r_0 + \frac{t^2}{2} \left(\frac{\omega^2 r - \mu_1 g}{1 + 2\mu_2 t\omega} \right) \\ \varphi(t) = \omega t. \end{cases} \quad (13)$$

Для расположенного на склоне устройства выражение несколько преобразится

$$\begin{cases} r = r_0 + \frac{t^2}{2} \left(\frac{\omega^2 r - \mu_1 g \cos \alpha}{1 + 2\mu_2 t\omega \cos \alpha} \right) \\ \varphi(t) = \omega t, \end{cases} \quad (14)$$

где α – уклон участка склона, град.

Алгоритм решения задачи параметрического программирования в случае зависимости от параметра t целевой функции системы незначительно отличается от обычного симплексного метода.

Таким образом, получены зависимости с основными параметрами процесса распределения удобрений, влияющие на перемещение их по диску и определяющие скорость потока: коэффициент трения удобрений о поверхность лопатки диска, коэффициент трения удобрений о поверхность диска, угловая скорость или количество оборотов диска и расстояние от оси вращения до точки подачи удобрений [12, 13].

Результаты исследований и обсуждение

По полученным выражениям (13 и 14) построим зависимости изменения траектории перемещения удобрений по диску с течением времени при постоянных значениях (рис. 3 и 4): коэффициент трения удобрений о поверхность диска $\mu_1 = 0,3$, коэффициент трения удобрений о поверхность лопатки диска $\mu_2 = 0,5$, угловая скорость принималась 9 с^{-1} и $10,8 \text{ с}^{-1}$, расстояние от оси вращения до точки подачи удобрений – $0,04 \text{ м}$.

Анализ полученного графика позволяет увидеть отличительную особенность распределения твердых удобрений на склоновых землях. При продольном угле наклона склона в 5° траектория увеличивается на

2-7 %, а при 10° – на 10-17 % относительно траекторий при горизонтальном положении диска. Для сложных склонов эти отклонения в целом на агроландшафте будут достигать до 20-25 %.

При увеличении угловой скорости на 17 % (9 до $10,8 \text{ с}^{-1}$) длина траектории увеличивается существенно – в 3,1 раза.

Выводы

1. Для реализации внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений разработан почвообрабатывающий плоскорез-удобритель с рабочим органом – центробежным разбрасывающим диском. Получены зависимости с основными параметрами процесса распределения удобрений, влияющие на перемещение их по диску и определяющие скорость потока: коэффициент трения удобрений о поверхность лопатки диска, коэффициент трения удобрений о поверхность диска, угловая скорость или количество оборотов диска и расстояние от оси вращения до точки подачи удобрений.

2. Управлять процессом распределения удобрений можно при условии задания скорости вращения диска с учетом данных по его диаметру и другим размерам. Установлено, что при продольном угле наклона склона в 5° траектория перемещений удобрений увеличивается на 2-7 %, а при 10° увеличение достигает 10-17 % относительно траектории при

горизонтальном положении диска. Для сложных склонов эти отклонения в целом на агроландшафте будут достигать до 20-25 %. В результате увеличения угловой скорости на 17 % (9 до $10,8 \text{ с}^{-1}$) длина траектории увеличивается в 3,1 раза.

3. Теоретические исследования в этом направлении будут продолжены, поскольку потребуется сопровождение и подтверждение полученных данных результатами лабораторных и полевых экспериментов.

Список

используемых источников

1. **Васильев С.А., Максимов И.И.** Агроландшафтная мелиорация склоновых земель. Чебоксары, 2019. 308 с.
2. **Заславский М. Н.** Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия: учеб. для геогр. и почв. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1987. 376 с.
3. **Беляев В.А.** Борьба с водной эрозией почв в нечерноземной зоне. М.: Россельхозиздат, 1976. 160 с.
4. **Каштанов А.Н.** Почвозащитное земледелие на склонах / А.Н. Каштанов, Г.И. Швец, А.Д. Орлов и др. М.: Колос, 1983. 528 с.
5. **Догоновский М.Г.** Машины для внесения минеральных удобрений / М.Г. Догоновский, Е.В. Козловский. М.: Машиностроение, 1972. 324 с.
6. **Верховский В.М.** Механизация внесения удобрений / В.М. Верховский, В.П. Поляченко. М.: Колос, 1965. 232 с.
7. **Александров В.И.** Исследование подающих и разбрасывающих рабочих

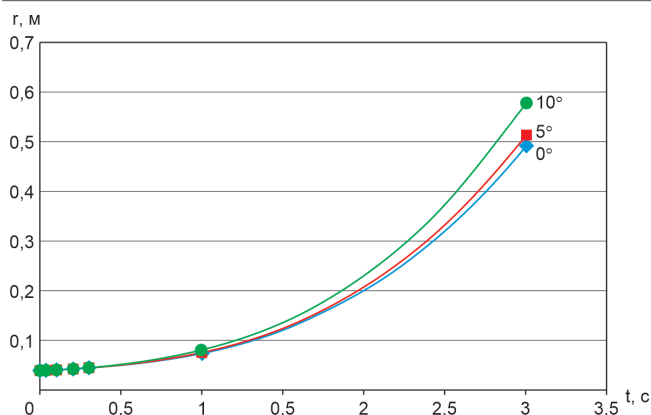


Рис. 3. Зависимость изменения траектории перемещения удобрений по диску r с течением времени t при угловой скорости 9 с^{-1}

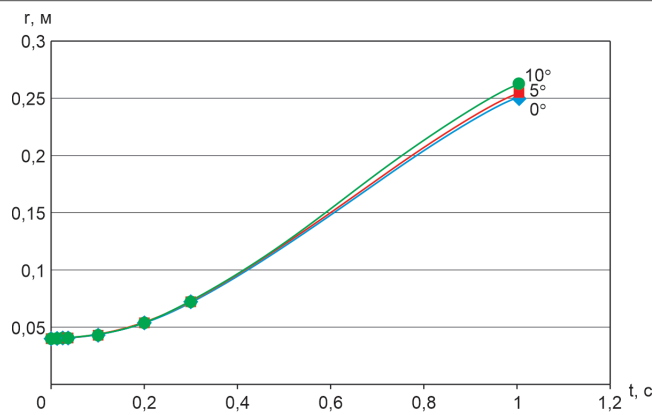


Рис. 4. Зависимость изменения траектории перемещения удобрений по диску r с течением времени t при угловой скорости $10,8 \text{ с}^{-1}$

органов центробежных разбрасывателей: отчет 4.1 / Александров В.И., Зеленцов Р.С., Потапов Г.П. М.: ВИСХОМ, 1969. 54 с.

8. **Клятис Л.М.** Центробежные разбрасыватели минеральных удобрений / Л.М. Клятис // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. 1964. № 2. С. 12-14.

9. **Голованов А.И.** Мелиорация земель / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров и др.; под ред. А.И. Голованова. М.: КолосС, 2011. 824 с.

10. **Васильев С.А.** Особенности применения противоэрозионных мелиоративных мероприятий на различных по форме склоновых агроландшафтах / С.А. Васильев // Природообустройство. 2016. № 4. С. 86-92.

11. **Васильев С.А.** Противоэрозионная контурная обработка почвы

машинно-тракторными агрегатами на агроландшафтах склоновых земель / С.А. Васильев, А.А. Васильев, Н.И. Затылков // Вестник НГИЭИ. 2018. № 5 (84). С. 43-54.

12. **Карташов Д.Ю., Васильев С.А., Алексеев Е.П., Васильев А.А., Алексеев В.В.** Анализ траектории движения зубьев при создании экспериментального почвообрабатывающего рабочего органа // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2013. № 4-2 (80). С. 91-94.

13. **Семенов С.А., Васильев С.А., Максимов И.И.** Особенности реализации и перспективы применения технологий цифрового земледелия в АПК // Вестник Чувашской ГСХА. 2018. № 1 (4). С. 69-76.

Substantiation of the Main Parameters of the Device for Intrasoil Application of Solid Mineral Fertilizers on Slopes

S.A. Vasiliev, Yu.V. Ilyichev,
A.A. Vasiliev, V.V. Ilyichev
(NGIEU)

Summary. The main parameters of the device for the implementation of the intra-soil application of solid mineral fertilizers on the slopes, aimed at significantly reducing the washing off of the surface fertile layer and maintaining soil fertility, and increasing production volumes and the quality of crop production in general, are substantiated. Attention is paid to the interaction of the device with solid granular fertilizers on flat areas and simple slopes.

Keywords: basic parameters, mineral fertilizers, fertile layer, production volume, crop production.

**АССОЦИАЦИЯ
ТЕПЛИЦЫ РОССИИ**

31 - 2
мая июня
2023

Двадцатая юбилейная выставка
Защищенный грунт России

Москва,
ВДНХ,
павильон 57

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

УДК 628.9.037:631.363.7

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-31-36

Обоснование выбора спектральных диапазонов фотолюминесцентного контроля состава и питательной ценности кормов

М.В. Беляков,

д-р техн. наук,
вед. науч. сотр.,
bmw20100@mail.ru

Д.Ю. Павкин,

канд. техн. наук,
ст. науч. сотр.,
зав. лабораторией,
dimqaqa@mail.ru

Е.А. Никитин,

канд. техн. наук,
мл. науч. сотр.,
evgeniy.nicks@yandex.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

И.Ю. Ефременков,

инженер
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

Аннотация. Изучены перспективные оптические методы анализа питательности компонентов кормовой смеси для крупного рогатого скота. По результатам исследования обоснованы спектральные диапазоны фотолюминесценции 380-550 и 450-600 нм соответственно, позволяющие определить массовые доли силоса и комбикорма в смеси, а также оценить качество смешивания оптическими методами.

Ключевые слова: анализ сельскохозяйственных кормов, фотолюминесценция, спектроскопия биологических объектов, поток излучения.

Постановка проблемы

Современные животноводческие комплексы содержания крупного рогатого скота для получения молока и говядины являются предприятиями с высоким уровнем автоматизации технологических процессов, однако без участия человека некоторые процессы на ферме не могут выполняться со 100 %-ной эффективностью. К таким

процессам относится кормление, так как формируется из длинной цепочки последовательных технологических операций, выполняемых механизированными средствами, роботами, а также непосредственно человеком [1].

Формируя рацион кормления животных, содержащихся на животноводческих комплексах, фермер основывается исключительно на рациональном подходе с точки зрения продуктивности поголовья, здоровья животных и срока продуктивного существования. Обеспечение этих показателей, в первую очередь, формируется за счет качества кормления животных и питательности предоставляемого рациона, которые подвержены постоянному изменению под влиянием внешних факторов [2-4].

Первый важный показатель качества потребляемого животными корма – содержание сухого вещества. Он показывает, какую массу питательных веществ получает организм животного. Для его определения используют весовой и диэлькометрический методы, а также метод спектроскопии в различных диапазонах измерения [5].

Ввиду того, что молокоотдача или прирост живой массы выступают ключевыми индикаторами эффективности поголовья, содержание протеина в кормах для сельскохозяйственных животных как строительного материала является важным. В кормах естественного происхождения этот показатель может варьироваться в зависимости от погодно-климатических условий, времени уборки и других факторов.

Содержание сухого вещества в кормах оценивают весовым методом: определяют первичную массу конкретного компонента, а затем,

используя сушильные агрегаты, осуществляют полное извлечение влаги и сравнивают первичные и вторичные показатели массы.

Диэлькометрический метод заключается в измерении потенциалов напряжения, является менее трудозатратным и позволяет быстро получать результаты измерений, однако они часто имеют погрешность до 5-7%.

Анализ результатов научных исследований выявил, что последние 10 лет для решения подобных задач активно используется спектроскопия в различных диапазонах измерения. Нельзя сказать, что спектральные технологии вытеснят другие методы, но они имеют ключевые особенности, которые формируют определенные преимущества при анализе кормов во внелабораторных условиях [6]. Метод является более дорогостоящим в практической реализации, но более функциональным в своем применении [7-11]. Позволяет определять содержание сухого вещества и концентрацию веществ в материале по оптическим свойствам, а также выявлять содержание крахмала, протеина и др.

Учитывая мировой опыт [12-16], спектроскопию видимого диапазона (люминесценция) используют для определения качества смешивания компонентов кормовой смеси для крупного рогатого скота в миксеркормораздатчике (корма естественного выращивания (силос, сенаж, сено) и концентрированные (шрот подсолнечника и рапса, а также комбикорм и др.).

С точки зрения технологической реализации доля кормов естественного выращивания превышает 70%, при этом их влажность также дости-

гает 70%, в частности, кукурузного силоса. В свою очередь, влажность концентратов редко превышает 14%, а массовая доля варьируется от 5 до 30% общей массы рациона. В результате в ходе смешивания концентраты нередко остаются в скомканном виде и не распределены по всему объему кормовой смеси [17]. Подобные технологические особенности могут повлечь за собой ненормированное потребление концентрированных кормов и заболевание поголовья.

Цель исследования – определение оптических свойств и получение корреляционных спектральных зависимостей наиболее часто используемых компонентов кормовой смеси для крупного рогатого скота. В состав исследуемых материалов входили кукурузный силос и концентрированный комбикорм, состоящий из размола зерновой кукурузы, жома свекловичного, барды кукурузной (отходы производства этилового спирта) и шрота рапсового (отходы масличного производства).

Материалы и методы исследования

Ввиду отличающегося химического и биологического составов каждый из компонентов кормовой смеси обладает различными оптическими свойствами (поглощающая и отражающая способность). Например, грубые корма растительного происхождения активно насыщены хлорофиллом, который обладает высокой поглощающей способностью. В свою очередь, продукты, подвергшиеся глубокой механической, термической и химической переработке, лишены подобных свойств.

Для репрезентативной оценки спектральных характеристик компонентов кормовой смеси и формирования теоретических предпосылок для разработки оптической системы определения качества смешивания компонентов кормовой смеси в прицепных миксерах-кормораздатчиках и роботах использовался лабораторный прибор, состоящий из дифракционного спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама» (рис. 1), компьютера с установленным программным обеспечением и внешней камеры для исследуемых образцов. Измерение спектров возбуждения и фотолюминесценции проводилось аналогично измерениям [18], которые позволили сформулировать методику люминесцентной диагностики всхо-



Рис. 1. Спектрофлуориметр «Флюорат-02-Панорама»

жести, влажности и степени спелости семян растений.

Исследование предполагало определение оптических свойств и получение корреляционных спектральных зависимостей наиболее часто используемых компонентов кормовой смеси для крупного рогатого скота. В состав исследуемых материалов входили кукурузный силос и концентрированный комбикорм, состоящий из размола зерновой кукурузы, жома свекловичного, барды кукурузной (отходы производства этилового спирта) и шрота рапсового (отходы масличного производства).

Для получения достоверных оптических свойств разнородные материалы раскладывались по своей струк-

туре на отдельные элементы. Для спектральных измерений кукурузный силос по его оптическим свойствам был разделен на шесть основных фракций (рис. 2).

Ввиду того, что по своей структуре выращенная кукуруза имеет разнородные элементы как по цветовым свойствам, так и по показателям питательности, спектральные характеристики листовой части (1), оболочки початка (2), стебельчатой части (3), оболочки зерновой части (4), внутренней части зерна (5) и внутренней части початка (6) определялись по отдельности, затем определялся общий спектр всех материалов в совокупности.

Аналогичным образом оценка оптических свойств комбикорма предполагала проведение исследования каждого компонента по отдельности и общее значение.

Комбикорм и его составляющие представлены на рис. 3.

Были измерены спектры возбуждения (поглощения) $\eta_e(\lambda)$ при синхронном сканировании монохроматорами спектрофлуориметра и на их основе спектры люминес-

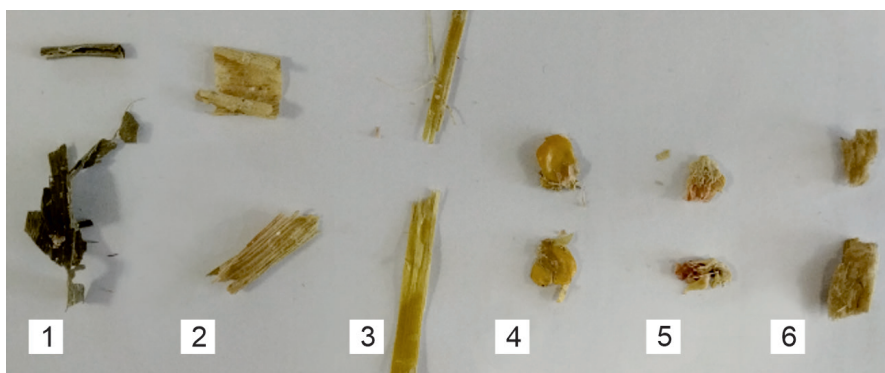


Рис. 2. Фракции силоса:

1 – листья; 2 – оболочка початка; 3 – стебельчатая часть; 4 – поверхность зерна; 5 – внутренняя часть зерна; 6 – сердцевина початка



Рис. 3. Гранулированный комбикорм и его составляющие:

а – гранулированный комбикорм; б – зерно кукурузы; в – жом свекловичный; г – барда кукурузная; д – шрот рапсовый

ценции $\varphi_l(\lambda)$. Проводилась статистическая обработка с усреднением полученных результатов по 20 измерениям.

В программе «PanoramaPro» были вычислены интегральные параметры спектров: H – интегральная поглощательная способность, Φ – поток фотолюминесценции, выраженный в относительных единицах (о.е.):

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_e(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

$\eta_e(\lambda)$ – спектральная характеристика возбуждения (поглощения);

$\lambda_1, \dots, \lambda_2$ – границы спектрального диапазона поглощения.

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_l(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

$\varphi_l(\lambda)$ – спектральная характеристика фотолюминесценции;

$\lambda_1, \dots, \lambda_2$ – границы спектрального диапазона фотолюминесценции.

Результаты исследования и обсуждение

Спектральные характеристики возбуждения комбикорма и его составляющих, усредненные по 20 измерениям, представлены на рис. 4.

Для комбикорма и его компонентов возбуждение начинается с 260-280 нм, а заканчивается примерно на 530 нм – для зерен кукурузы и 580 нм – для барды и шрота. Наибольшей поглощательной способностью обладают зерна кукурузы: максимум – на 386 нм, интегральная поглоща-

тельная способность $H = 4148$ о.е., а также рапсовый шрот: $\lambda_{\text{макс}} = 424$ нм, $H = 4204$ о.е. Спектральная характеристика возбуждения кукурузной барды имеет максимумы на 362, 424 и 523 нм. При этом интегральная поглощательная способность во всем диапазоне составляет 3367 о.е. Для свекловичного жома при единственном максимуме на 362 нм величина $H = 2432$ о.е.

Для самого комбикорма интегральная поглощательная способность H наименьшая и составляет всего 1724 о.е. Преобладающий пик характеристики $\eta_e(\lambda)$ находится на 424 нм, а менее выраженный – на 362 нм. Наиболее интересны с точки зрения возбуждения длины волн 362 и 424 нм.

Спектральные характеристики возбуждения фракций силоса представлены на рис. 5.

Фракции силоса возбуждаются гораздо слабее, чем комбикорм, что может быть вызвано их повышенной влажностью и связанным с этим тушением люминесценции. Возбуждение силоса происходит в диапазоне от 220 до 550-600 нм. Наиболее интересными с точки зрения возбуждения являются области 232 нм (поглощают фракции 4, 2 и в меньшей степени остальные), 260-280 нм (фракции 4, 2, 1), 350-365 нм (наиболее сильное поглощение фракций 4, 3, 6, 5, 2 и в меньшей степени 1) и 424 нм (фракции 6, 5, 3). При этом в области 350-365 нм наблюдается наибольшее поглощение излучения: для фракций 1, 2, 4 – на 350 нм, а для фракций 3, 5, 6 – на 362-364 нм.

Спектральные характеристики фотолюминесценции комбикорма и его составляющих при возбуждении излучением длин волн 362, 424 и 485 нм представлены соответственно на рис. 6-8.

Для комбикорма и всех его составляющих спектры фотолюминесценции при $\lambda_{\text{в}} = 362$ нм лежат в диапазоне 380-550 нм. Максимум для кукурузы находится примерно на 445 нм, для жома – на 455, барды – на 430, шрота – на 495 нм. Поэтому спектр фотолюминесценции комбикорма очень плосковершинный с отрицательной величиной эксцесса.

По интегральному потоку Φ комбикорм имеет наиболее низкий показатель – 1270 о.е, в то время как его составляющие – примерно в 2 раза больше – 2350-2894 о.е. (табл. 1).

При возбуждении излучением $\lambda_{\text{в}} = 424$ нм спектральный диапазон фотолюминесценции составляет 450-600 нм. Наибольшая люминесценция – у рапсового шрота – 3985 о.е. Для остальных составляющих она в 2,1-5,9 раза меньше.

При возбуждении $\lambda_{\text{в}} = 485$ нм люминесцируют только барда и шрот, но весьма незначительно. Интегральные параметры комбикорма и его основных составляющих представлены в табл. 1.

Спектральные характеристики фотолюминесценции фракций кукурузного силоса при возбуждении излучением длин волн 323, 362 и 424 нм представлены соответственно на рис. 9-11.

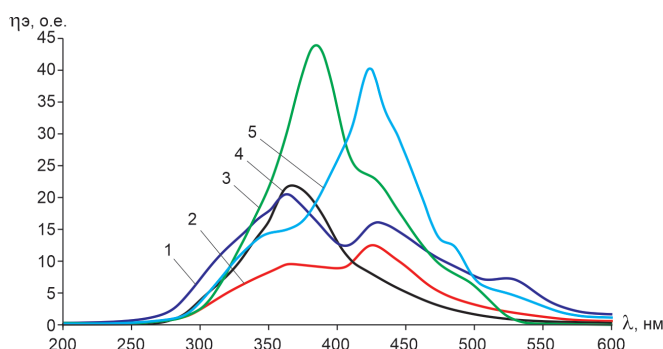


Рис. 4. Спектральные характеристики возбуждения комбикорма и его составляющих:

1 – барда кукурузная; 2 – комбикорм; 3 – кукуруза;
4 – свекловичный жом; 5 – шрот рапсовый

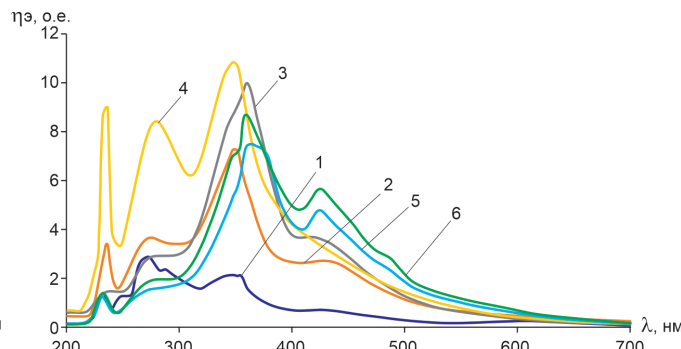


Рис. 5. Спектральные характеристики возбуждения фракций силоса

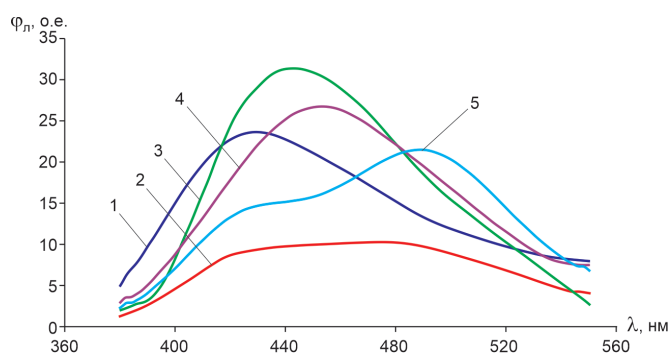


Рис. 6. Спектральные характеристики люминесценции при $\lambda_b = 362$ нм:
1 – барда кукурузная; 2 – комбикорм темный;
3 – кукуруза; 4 – свекловичный жом; 5 – шрот рапсовый

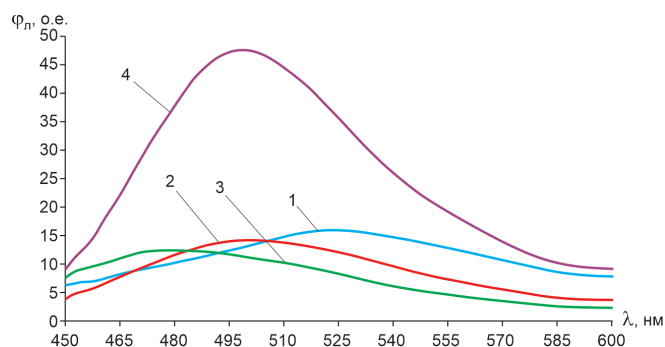


Рис. 7. Спектральные характеристики люминесценции при $\lambda_b = 424$ нм:
1 – барда кукурузная; 2 – комбикорм темный;
3 – свекловичный жом; 4 – шрот рапсовый

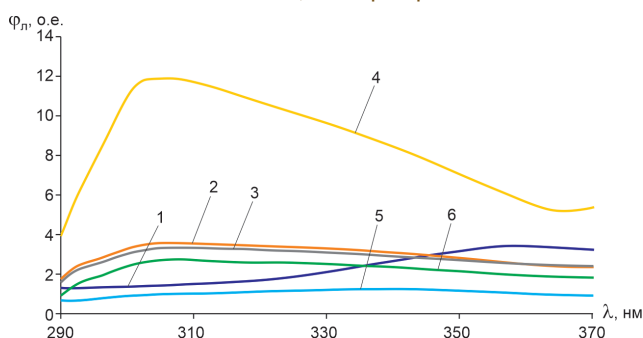


Рис. 9. Спектральные характеристики люминесценции силоса при $\lambda_b = 232$ нм (по номерам фракции 1-6)

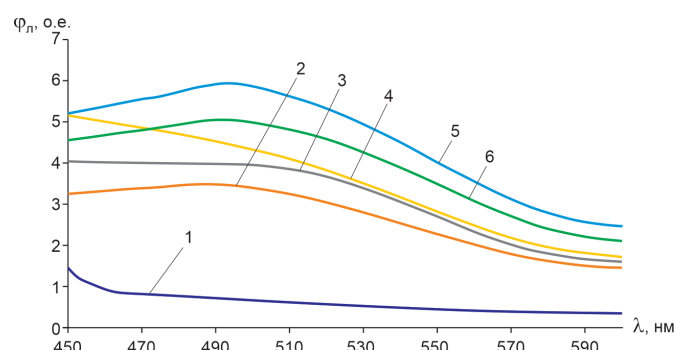


Таблица 1. Усредненные интегральные параметры компонентов комбикорма

Компоненты	H, о.е.	Φ_{362} , о.е.	Φ_{424} , о.е.	Φ_{485} , о.е.
Комбикорм	1724	1270	1344	-
Барда кукурузная	3367	2543	1912	1284
Кукуруза	4148	2894	679	-
Свекловичный жом	2432	2742	1260	-
Шрот рапсовый	4204	2350	3985	1788

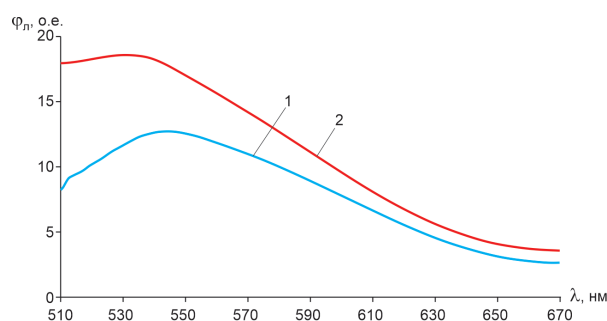


Рис. 8. Спектральные характеристики люминесценции при $\lambda_b = 485$ нм:
1 – барда кукурузная; 2 – шрот рапсовый

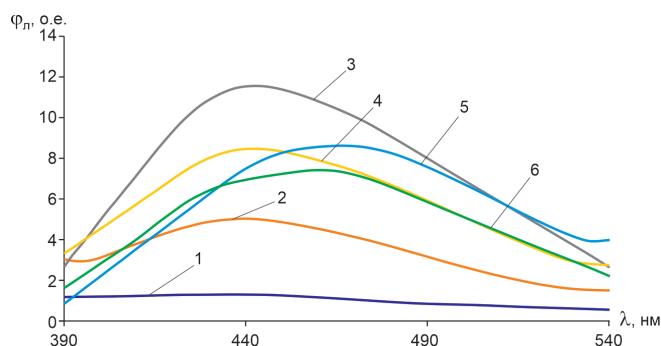


Рис. 10. Спектральные характеристики люминесценции силоса при $\lambda_b = 362$ нм:
1 – первой фракции;
2 – второй фракции;
3 – третьей фракции;
4 – четвертой фракции;
5 – пятой фракции; 6 – шестой фракции

► **Рис. 11. Спектральные характеристики люминесценции силоса при $\lambda_b = 424$ нм (по номерам фракций 1-6)**

При возбуждении силоса излучением $\lambda_b = 232$ нм заметно люминесцирует только четвертая фракция $\Phi_{232} = 734$ о.е. (табл. 2).

Гораздо лучшая люминесценция при возбуждении излучением с длиной волны 362 нм. В диапазоне 390–540 нм наибольший поток фотолуминесценции у третьей ($\Phi_{362} = 934$ о.е.), четвертой ($\Phi_{362} = 708$ о.е.) и пятой ($\Phi_{362} = 714$ о.е.) фракций. При возбуждении $\lambda_b = 424$ нм люминесценция существенно слабее, чем при $\lambda_b = 362$ нм. Наиболее перспективным при анализе состава кормовых смесей представляется использование возбуждения фотолуминесценции излучением с длинами волн 362 и 424 нм.

Выводы

1. Предлагаемые результаты исследования описывают теоретические основы спектрального контроля качества смешивания компонентов кормовой смеси в прицепных миксерах-кормораздатчиках и роботах.

2. Спектральные диапазоны регистрации фотолуминесценции составляют 380–550 и 450–600 нм соответственно. Отличие между наиболее люминесцирующей фракцией силоса и темным комбикормом при $\lambda_b = 362$ нм составляет 1,36 раза, а при $\lambda_b = 424$ нм – 1,96 раза.

3. При перемешивании, в ходе которого происходит расщепление комбикорма и силоса на составляющие, эти соотношения увеличиваются. По ранее измеренным и вычисленным характеристикам $\Phi = f(m_c, m_k)$ можно определить массовые доли силоса и комбикорма в смеси, а также степень их смешивания.

Список

используемых источников

1. Harper M., Oh J., Giallongo F., Lopes J., Weeks H., Faugeron J., Hristov A. Short communication: Preference for flavored concentrate premixes by dairy cows. J. Dairy Sci. 2016, 99, 6585–6589. DOI: 10.3168/jds.2016-11001.
2. Мишуров Н.П. Информационный менеджмент молочного скотоводства // Вестник ВНИИМЖ. 2014. № 4. С. 41–48.

Таблица 2. Средние значения потоков фотолуминесценции фракций силоса

Номер фракции	Н, о.е.	Φ, о.е.		
		при $\lambda_b = 232$ нм	при $\lambda_b = 362$ нм	при $\lambda_b = 424$ нм
1	387	181	122	87
2	1002	326	415	401
3	1176	242	934	471
4	1612	734	708	526
5	1060	203	714	686
6	1246	206	622	592

3. Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинько О.В., Войтюк В.А., Воловиков С.А. Зарубежный опыт распространения новых знаний в сельском хозяйстве // Техника и оборудование для села. 2021. № 1 (283). С. 38–43. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-1-38-43.
4. Беляков М.В., Никитин Е.А., Ефременков И.Ю. Эффективность фотолуминесцентного метода контроля гомогенности кормовых смесей в животноводстве // С.-х. машины и технологии. 2022. Т. 16. № 3. С. 55–61.
5. Solovchenko A., Shurygin B., Kuzin A., Dorokhov A., Smirnov I., Khort D., Ak-senov A., Nikolenko A., Velichko V. Linking tissue damage to hyperspectral reflectance for non-invasive monitoring of apple fruit in orchards. Plants. 2021. Т. 10. № 2. С. 1–15. DOI: 10.3390/plants10020310.

6. Rego G., Ferrero F., Valledor M., Campo J.C., Forcada S., Royo L.J., Soldado A. A portable IoT NIR spectroscopic system to analyze the quality of dairy farm forage. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 175, Article number 105578. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105578.
7. Samadi S., Wajizah A.A. Munawar Rapid and Simultaneous Determination of Feed Nutritive Values by Means of Near Infrared Spectroscopy // Tropical Animal Science Journal. Vol. 41 № 2 (2018) DOI: 10.5398/tasj.2018.41.2.121.

8. Yang Z., Nie G., Pan L., Zhang Y., Huang L., Ma X., Zhang, X. Development and validation of near-infrared spectroscopy for the prediction of forage quality parameters in Lolium multiflorum. 2017. PeerJ, 5, e3867. DOI: 10.7717/peerj.3867.
9. Marchesini G., Serva L., Garbin E., Mirisola M., Andrighetto I. Near-infrared calibration transfer for undried whole maize plant between laboratory and on-site spectrometers // Italian Journal of

Animal Science. 2017. No. 1, p. 66–72. DOI: 10.1080/1828051x.2017.134566.

10. Ren G., Sun Y., Li M., Ning J., Zhang Z. Cognitive spectroscopy for evaluating Chinese black tea grades (Camellia sinensis): near-infrared spectroscopy and evolutionary algorithms // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. No. 100, p. 3950–3959. DOI: 10.1002/jsfa.10439.
11. Sánchez M.T., Torres I., de la Haba M.J., Chamorro A., Garrido-Varo A., Pérez-Marín D. Rapid, simultaneous, and in-situ authentication and quality assessment of intact bell peppers using NIRS technology // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. No. 99, p. 1613–1622. DOI: 10.1002/jsfa.9342.
12. Saroj Kumar, Rachid Lahlali, Chithra Karunakaran, Xia Liu. Infrared spectroscopy combined with imaging: A new developing analytical tool in health and plant science // Applied Spectroscopy Reviews. 2016. V. 51. P. 466–483. DOI: 10.1080/05704928.2016.1157808.
13. Hoonsoo Lee, Moon S. Kim, Hyoun-Sub Lim, Eunsoo Park, Wang-Hee Lee, Byoung-Kwan Cho. Detection of cucumber green mottle mosaic virus-infected watermelon seeds using a near-infrared (NIR) hyperspectral imaging system: Application to seeds of the «Sambok Honey» cultivar // Biosystems Engineering. 2016. V. 148. P. 138–147.

14. Joro Serrano, Shakib Shahidian, Bngelo Carapau, Ana Elisa Rato. Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) and Optical Sensors for Estimating Protein and Fiber in Dryland Mediterranean Pastures // AgriEngineering. 2021. 3(1), p. 73–91. DOI: 10.3390/agriengineering3010005.
15. Andueza D., Picard F., Martin-Rosset W., Aufrère J. Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical compo-

sition and nutritive value of preserved forage for ruminants. Appl. Spectrosc. 2016, 70, p. 1321-1327.

16. **Berzaghi P., Cherney J., Casler M.D.** Prediction performance of portable near infrared reflectance instruments using preprocessed dried, ground forage samples. Comput. Electron. Agric. 2021, 182, Article number 106013.

17. **Nikitin E.A., Pavkin D.Y., Izmailov A.Yu., Aksenov A.G.** Assessing the homogeneity of forage mixtures using an rgb camera as exemplified by cattle rations // Applied Sciences (Switzerland). 2022. T. 12. No. 7. DOI: 10.3390/app12073230.

18. **Belyakov M., Sokolova E., Listratenkova V., Ruzanova N., Kashko L.** Photoluminescent control ripeness of the seeds of plants. E3S Web of Conferences. 2021. V. 273, Article number 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301003.

Substantiation of the Choice of Special Ranges for Photoluminescent Control of the Composition and Nutritional Value of Forages

M.V. Belyakov,

D.Yu. Pavkin,

E.A. Nikitin

(VIM)

I.Yu. Efremenkov

(VIM, MPEI)

Summary. Promising optical methods for analyzing the nutritional value of the components of the feed mixture for cattle have been studied. The results of the study substantiated the spectral ranges of photoluminescence 380-550 and 450-600 nm, respectively, allowing to determine the mass fractions of silage and compound feed in the mixture, as well as to evaluate the quality of mixing by optical methods.

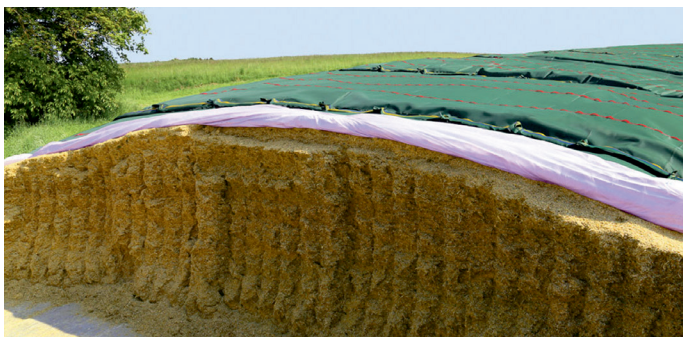
Keywords: analysis of agricultural feed, photoluminescence, spectroscopy of biological objects, radiation flux.

Реферат

Цель исследований – определение спектральных диапазонов фотолюминесцентного контроля состава и питательной ценности наиболее часто используемых компонентов кормовой смеси для крупного рогатого скота. В состав исследуемых материалов входили кукурузный силос и концентрированный комбикорм, состоящий из размола зерновой кукурузы, жома свекловичного, барды кукурузной (отходы производства этилового спирта) и шрота рапсового (отходы масличного производства). Ввиду того, что по своей структуре выращенная кукуруза имеет разнородные элементы как по цветовым свойствам, так и по показателю питательности, спектральные характеристики листовой части, оболочки початка, стеблевой части, оболочки зерновой части, внутренней части зерна и внутренней части початка определялись по отдельности, затем определялся общий спектр всех материалов в совокупности. Для оценки оптических свойств комбикорма также проводили исследования каждого компонента по отдельности. Для репрезентативной оценки спектральных характеристик компонентов кормовой смеси и формирования теоретических предпосылок для разработки оптической системы определения качества смешивания компонентов кормовой смеси в прицепных миксерах-кормораздатчиках и роботах использовали дифракционный спектрофлуориметр «Флюорат-02-Панорама» и компьютер со специальным программным обеспечением. Были измерены спектры возбуждения (поглощения) при синхронном сканировании монохроматорами спектрофлуориметра и на их основе спектры люминесценции. Статистическая обработка с усреднением полученных результатов проводилась по 20 измерениям. В результате исследований установлено, что наиболее перспективным при анализе состава кормовых смесей является использование возбуждения фотолюминесценции излучением с длинами волн 362 и 424 нм. По ранее измеренным и вычисленным характеристикам потока фотолюминесценции можно определить массовые доли силоса и комбикорма в смеси, а также степень их смешивания.

Abstract

The purpose of the research is to determine the spectral ranges of photoluminescent control of the composition and nutritional value of the most commonly used components of the feed mixture for cattle. The composition of the studied materials included corn silage and concentrated compound feed, consisting of grinding of grain corn, beet pulp, corn bard (waste from the production of ethyl alcohol) and rapeseed meal (waste from oilseed production). Due to the fact that, in terms of its structure, grown corn has heterogeneous elements both in terms of color properties and nutritional value, the spectral characteristics of the leaf part, shell of the cob, stalked part, shell of the grain part, inner part of the grain and inner part of the cob were determined separately, then the total spectrum of all materials in the aggregate was determined. To assess the optical properties of the compound feed, studies of each component were also carried out separately. For a representative assessment of the spectral characteristics of the components of the feed mixture and the formation of theoretical prerequisites for the development of an optical system for determining the quality of mixing of the components of the feed mixture in trailed feed mixers and robots, a Fluorat-02-Panorama diffraction spectrofluorimeter and a computer with special software were used. The excitation (absorption) spectra were measured during synchronous scanning by the monochromators of the spectrofluorimeter and, based on them, the luminescence spectra. Statistical processing with averaging of the obtained results was carried out over 20 measurements. As a result of the research, it was found that the most promising in the analysis of the composition of feed mixtures is the use of excitation of photoluminescence by radiation with wavelengths of 362 and 424 nm. According to the previously measured and calculated characteristics of the photoluminescence flux, it is possible to determine the mass fractions of silage and feed in the mixture, as well as the degree of their mixing.



УДК 621.797:629.114.41

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-37-40

Обеспечение точности технологического оборудования предприятий технического сервиса

В.А. Комаров,д-р техн. наук, проф.,
komarov.v.a2010@mail.ru**П.А. Аняйкин,**аспирант
(ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»);**С.П. Бурланков,**д-р экон. наук, проф.,
spburl1@mail.ru
(ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»)

Аннотация. Получены зависимости параметров точности технологического оборудования. С точки зрения прогнозирования параметров долговечности станка описывается процесс нагружения узла и характеристик жесткости, полученных в результате исследования его напряженно-деформированного состояния. Результаты исследований позволяют прогнозировать изменение параметров узлов технологического оборудования.

Ключевые слова: надежность, жесткость, прогнозирование, износ, точность, напряженно-деформированное состояние.

Постановка проблемы

Управление показателями долговечности технологического оборудования предприятий технического сервиса АПК при его эксплуатации осуществляется с помощью системы контрольно-диагностических (КДР) и ремонтно-обслуживающих работ (РР) [1]. Качество и правила проведения данных работ определяют уровень надежности оборудования и затраты на поддержание его в работоспособном состоянии [2-4].

Повышение гибкости и эффективности цикла контрольно-диагностических и ремонтно-обслуживающих работ достигается [5-7]: назначением двух и более видов текущего ремонта (ТР) с различными объемами разборки при КДР и РР; ликвидацией капитального ремонта (КР), попутным

проведением КР с ТР и различной степенью восстановления ресурсных параметров; оптимизацией межремонтного периода; использованием вариантов поэтапного принципа исполнения разнообразных типов планово-предупредительных работ путем совместного проведения их в периоды высокой загруженности технологического оборудования с плановыми техническими обслуживаниями и ремонтом (ТОР) [8-9].

Представленные тенденции определяют необходимость углубления научных исследований по обоснованию цикла контрольно-диагностических и ремонтно-обслуживающих работ перспективного отечественного технологического оборудования в связи с качественными изменениями его свойств – конструктивных особенностей, показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности [10, 11].

Цель исследования – сформулировать положения, реализующие с помощью системы моделей комплекс управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности технологического оборудования предприятий технического сервиса в процессе производственной эксплуатации и планового обслуживания [12-14].

Материалы и методы исследования

Рассмотрим некоторые предпосылки формирования комплексной системы моделей для обеспечения заданного уровня показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности технологического оборудования в процессе производственной эксплуатации и планового обслуживания.

Основными элементами технологического оборудования, обеспечивающими высокую точность обработки поверхностей заготовок, являются суппортная часть и станина станка. Данным узлам технологического оборудования постоянно ужесточаются требования по параметрам точности, безотказности и долговечности. Обеспечение высоких рассматриваемых показателей зависит от большого количества весомых параметров, в том числе и от возможностей использования на стадии проектирования узлов технологического оборудования результатов компьютерного анализа [6-8]. Для обеспечения качественного выходного параметра точности необходима разработка модели формирования показателей безотказности и долговечности технологического оборудования на основании методики определения комплекса управляющих параметров, приведенной в работах [11-13].

Большое влияние на качество обрабатываемых поверхностей заготовок оказывают систематические и случайные погрешности, возникающие в сборочных единицах и узлах технологического оборудования. Достижение высокого качества обработки внешних и внутренних поверхностей заготовок определяется заданным набором физико-механических свойств и шероховатостью поверхностных слоев. Важнейшими характеристиками качества работы суппортного узла и станины станка являются параметры их жесткости и температурные диапазоны работы. Данные параметры с наибольшей достоверностью характеризуют качество конструкционной и технологической доработки процессов изготовления и сборки.

Систематические погрешности обработки заготовок на станках воз-

никают вследствие: деформации обрабатываемых заготовок; неточности, износа и деформации сборочных единиц технологического оборудования, приспособлений и инструмента; погрешностей технологического процесса обработки заготовки; тепловых процессов, происходящих в технологической модели.

Для подробного и детального рассмотрения влияния износов поверхностей деталей на работоспособность технологического оборудования были смоделированы параметры продольных макроперемещений суппорта станка на основе комплекта обрабатываемых элементов средствами Solid Works/Simulation. При этом усилия резания определялись на основе анализа эксплуатационных данных и проведенных предыдущих исследований [2-8].

Результаты исследований и обсуждение

В результате моделирования параметров продольных макроперемещений суппорта станка получено следующее. На рис. 1 показаны два варианта предварительного искажения формы поверхности одной из продольных граней направляющих суппорта станка – грани выемки слева и справа, приведены эпюры процесса изнашивания направляющих суппорта и станины.

Вследствие неравномерности процесса изнашивания направляющих станины технологического оборудования по всей длине возникает изменение пространственной траектории перемещения суппортного механизма оборудования.

При этом в результате процесса изнашивания изменяются динамические свойства оборудования, и этот фактор непосредственно влияет на точность обработки заготовок. Поэтому при создании нового технологического оборудования, особенно при его проектировании и изготовлении, необходимо использовать методы прогнозирования потери точности в результате процесса изнашивания направляющих станины станка.

В настоящее время с развитием современных технологий изменились

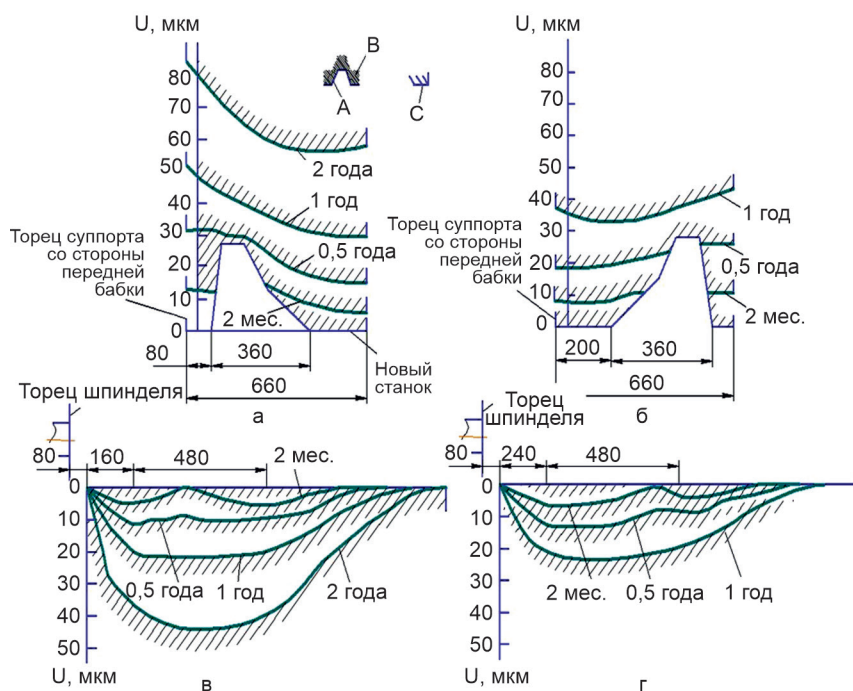


Рис. 1. Зависимости между вогнутостью граней В направляющих суппорта станка

и износом направляющих суппорта и станины:

- а – эпюра вогнутости левой грани направляющих суппорта;
- б – эпюра вогнутости правой грани направляющих суппорта;
- в – эпюра износа левой грани направляющих суппорта и станины;
- г – эпюра износа правой грани направляющих суппорта и станины

способы и методы прогнозирования. Поэтому целесообразно использовать средства программного обеспечения ПЭВМ для прогнозирования параметров безотказности и долговечности технологического оборудования.

В результате проведенных исследований была спроектирована твердотельная параметрическая модель, которая исследовалась средствами Solid Works/Simulation. В работах [9-12] были получены три формы проявления процесса изнашивания направляющих станины станка модели 1А616: эпюра перемещений (рис. 2а); эпюра напряжений (рис. 2б); эпюра деформации (рис. 2в).

Результат процесса изнашивания обуславливает увеличение систематических погрешностей обрабатываемых заготовок и проявляется в виде упругих перемещений узлов станка (рис. 2а).

Это связано главным образом с тем, что процесс изнашивания рабо-

чих поверхностей базовых деталей технологического оборудования происходит неравномерно. Данный фактор определяет изменение взаимных расположений поверхностей отдельных деталей узлов станка. При этом возникают дополнительные погрешности при обработке поверхностей заготовок.

Износ направляющих станины и суппорта станка, а также их деформация (см. рис. 2б) приводят к нарушениям формы и расположения поверхностей направляющих и, следовательно, снижает точность обработки поверхностей заготовок. Допускаемый износ направляющих станины и суппорта технологического оборудования будет определяться функциональным назначением и требуемой точностью обработки заготовок на станке, режимами работы и качеством технического обслуживания. Неравномерное распределение внутренних напряжений (см. рис. 2в) позволяет судить о неравномерном

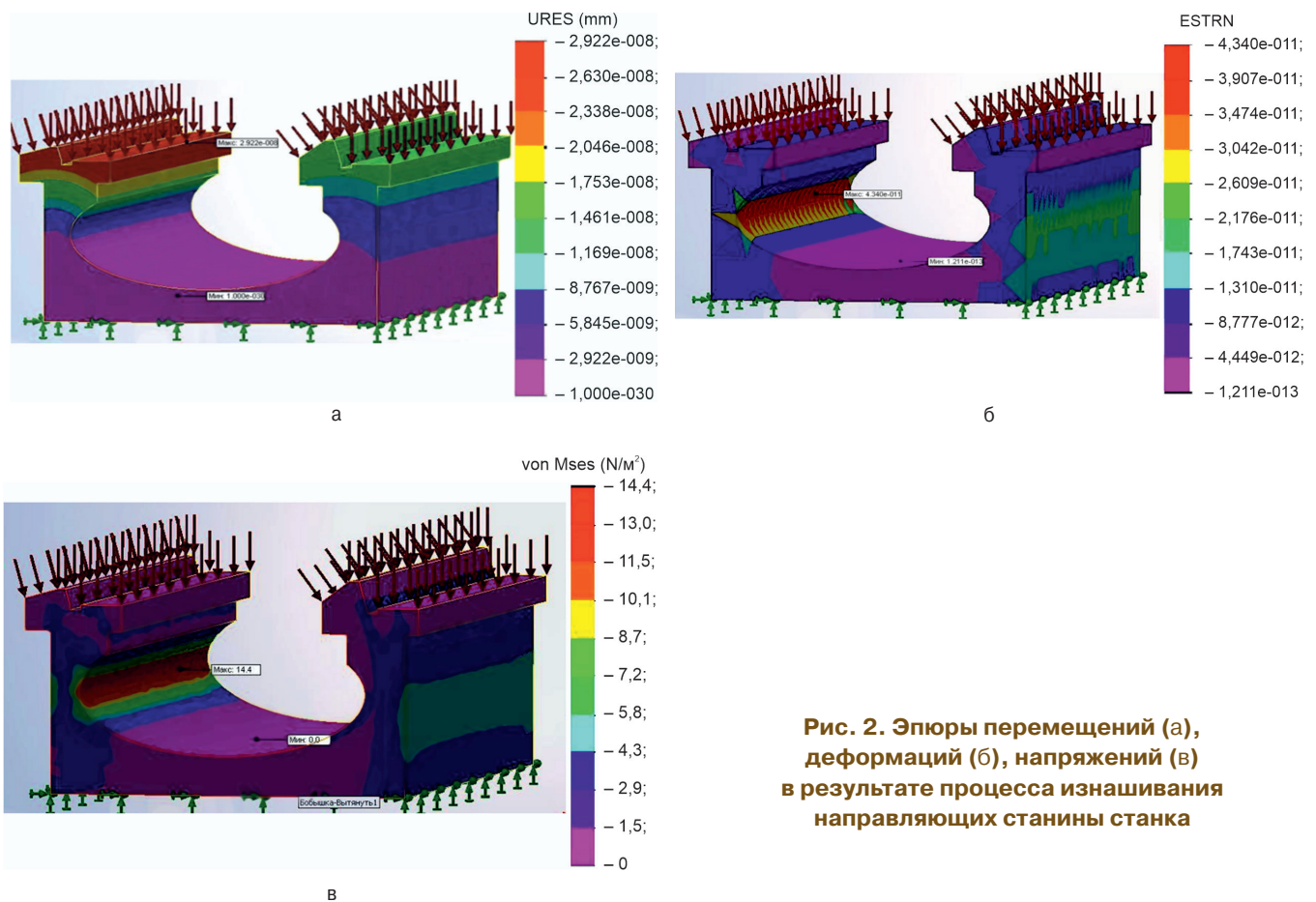


Рис. 2. Эпюры перемещений (а), деформаций (б), напряжений (в) в результате процесса изнашивания направляющих станины станка

характере процесса изнашивания передней и задней частей направляющих узла станины технологического оборудования. Причем такой характер процесса изнашивания приводит к наклону суппортного узла станка и смещению рабочей кромки обрабатывающего инструмента в пространстве относительно горизонтальной плоскости. Как следствие, увеличивается радиус обрабатываемой поверхности заготовки.

Выводы

1. Неравномерный характер процесса изнашивания направляющих станины технологического оборудования по всей длине является основной причиной возникновения группы систематических погрешностей и приводит к нарушению правильной формы обрабатываемых поверхностей заготовок изделий.

2. Полученные различные параметры изнашивания рабочих поверхно-

стей, относящихся к направляющим станины технологического оборудования, подтверждают динамический характер процесса, который включает в себя систему, состоящую из суппорта, задней бабки, заготовки и других сборочных единиц технологического оборудования. Кроме того, на рассматриваемые поверхности действует неравномерная как по направлению, так и по величине рабочая нагрузка.

3. На основании проведенных исследований можно прогнозировать изменение параметров безотказности и долговечности узлов технологического оборудования. Полученные зависимости позволяют своевременно спланировать мероприятия по восстановлению ответственных поверхностей деталей и узлов технологического оборудования и разработать рациональную структуру планово-предупредительных работ по их техническому обслуживанию и ремонту [14].

Список

использованных источников

1. **Сергеев А.А.** Обеспечение точности и стабильности технологических процессов на основе корректной стратегии восстановления оборудования // Интеллек. Инновации. Инвестиции. 2016. № 5. С. 117-124.
2. **Горшков Б.М., Ремнева О.Ю., Рубцов М.А.** Методика исследования точности обработки на прецизионном технологическом оборудовании // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. № 4. С. 152-155.
3. Анализ точности методов определения геометрических параметров технологического оборудования / В.А. Скрипников [и др.] // Итерэкспо Гео-Сибирь. 2018. № 1. С. 18-25.
4. **Горбунов В.П., Григорьев В.Ф., Давыдов Ю.А.** Прогнозирование ресурса технологического оборудования с ЧПУ по параметрам точности обработки // Вестник Брестского гос. техн. ун-та. Машиностроение. 2017. № 4. С. 2-4.
5. **Неволин А.Г., Медведская Т.М.** К вопросу о влиянии ошибок исходных данных на точность определения геоме-

трических параметров технологического оборудования // Вестник Сибирского гос. ун-та геосистем и технологий. 2019. Т. 24, № 1. С. 16-27.

6. **Гречухин А.Н., Куц В.В., Олешицкий А.В.** Теоретическое исследование влияния геометрической точности узлов технологического оборудования с гибридной компоновкой на погрешность аддитивного формообразования // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2019. № 12. С. 42-49.

7. **Кольцов А.Г.** Методика построения математической модели оценки точности технологического оборудования на базе многооперационного станка // Вестник Уфимского гос. авиац. техн. ун-та. 2013. Т. 17, № 8. С. 106-116.

8. Обеспечение точности позиционирования рабочих органов технологического оборудования / Ю.В. Максимов [и др.] // Вестник машиностроения. 2013. № 10. С. 49-53.

9. **Комаров В.А., Григорьев А.В., Мартышкин А.П.** Целевые функции оптимизации параметров точности технологического

оборудования // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 7. С. 44-47.

10. **Комаров В.А., Григорьев А.В.** Прогнозирование параметрической надежности узлов технологического оборудования по выходным параметрам точности // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 8. С. 51-53.

11. **Комаров В.А., Григорьев А.В.** Моделирование контролируемых параметров точности узлов технологического оборудования в зависимости от износа базовых деталей // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 12. С. 16-19.

12. **Комаров В.А., Мачнев В.А., Григорьев А.В.** Формирование надежности ремонтно-технологического оборудования на сервисных предприятиях // Техника и оборудование для села. 2015. № 5. С. 33-36.

13. **Комаров В.А.** Исследование предприятий технического сервиса для обеспечения показателей надежности машин (на примере агропромышленного комплекса Республики Мордовия) // Вестник Мордовского ун-та. 2018. Т. 28, № 2. С. 222-238.

14. **Комаров В.А., Курашкин М.И.** Оценка уровня технологической оснащен-

ности предприятий технического сервиса в Приволжском федеральном округе // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 338-354.

Ensuring the Accuracy of Technological Equipment of Technical Service Enterprises

V.A. Komarov, P.A. Anyaykin
(National Research Mordovia State University)

S.P. Burlankov
(Plekhanov Russian University of Economics)

Summary. The dependences of the accuracy parameters of technological equipment are obtained. From the point of view of predicting the durability parameters of the machine, the process of loading the assembly and the stiffness characteristics obtained as a result of studying its stress-strain state is described. The research results make it possible to predict the change in the parameters of the technological equipment nodes.

Keywords: reliability, rigidity, prediction, wear, accuracy, stress-strain state.

КРУПНЕЙШАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ВЫСТАВКА В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

15-16 марта 2023

ВОЛГОГРАД АРЕНА

33-я межрегиональная выставка с международным участием

АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС



ВЦ «ЦАРИЦЫНСКАЯ ЯРМАРКА»
Выставочный центр

ВЦ «ЦАРИЦЫНСКАЯ ЯРМАРКА» Волгоград, ул. М. Еременко 42
Тел./факс: (8442) 26-50-34
 e-mail: nastya@zarexpo.ru, www.zarexpo.ru

УДК 621.316

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-41-44

Повышение надежности электроприводов канализационных станций

С.В. Оськин,д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
kgauem@yandex.ru**А.А. Кумейко,**ст. препод.,
el-mash@kubsau.ru**З.Х. Нагучев,**аспирант,
el-mash@kubsau.ru
(ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ»);**М.М. Украинцев,**канд. техн. наук, декан,
rostmax@rambler.ru
(Азово-Черноморский инженерный
институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»)

Аннотация. Выявлена проблема перегрева электродвигателей насосов канализационных станций при внедрении частотных преобразователей тока. Моделирование теплового состояния при различных частотах вращения ротора электродвигателя в программном комплексе Comsol позволило определить места возможной установки датчиков температуры на внешней оболочке электрической машины. Экспериментальные исследования подтвердили адекватность полученных моделей и предполагаемые позиции расположения термодатчиков.

Ключевые слова: насос, моделирование, надежность, температура, регулируемый электропривод.

Постановка проблемы

Особенностью системы водоотведения и очистных сооружений на сельских территориях является работа оборудования с большими нагрузками и наличием запредельного срока эксплуатации. Для изменения такой ситуации необходима скорейшая модернизация, для которой часто нет достаточных финансовых ресурсов в местных управляющих компаниях. В то же время наблюдаются частые аварии в системах водоотведения, что приводит к нанесению техноло-

гического и экологического ущерба. В состав системы отведения входит канализационная насосная станция (КНС) с соответствующим оборудованием. Электрические насосы размещают в специальных колодцах, глубина которых зависит от уровня подводящего коллектора, состояния грунтов, типа применяемых насосов. В одну станцию входят несколько насосов, что связано с большой неравномерностью поступающих стоков. Несмотря на то, что насосные установки канализационных систем имеют систему автоматики, при высоком уровне нагрузок и сложных условиях окружающей среды происходят частые отключения и выходы из строя оборудования. Из-за тяжелых условий эксплуатации (рис. 1) и низкой надежности работы автоматики аварийность электродвигателей сохраняется высокой.

В сельской местности уровень автоматизации ниже, чем в городах. Тем не менее в селах и малых городах внедряется регулируемый электропривод. Опыт внедрения преобразователей частоты тока в составе электропривода насосов доказал энергосберегающий эффект в системах водоотведения, что послужило основанием для дальнейшего расширения использования данного оборудования. Особенностью внедрения регулируемого привода

в сельской местности является частое отсутствие специалистов, способных правильно настроить частотный преобразователь. Работа системы управления при заводских настройках преобразователя иногда приводит не только к повышенному потреблению энергии, но и к перегреву электрической машины с последующим выходом ее из строя. Для защиты электродвигателя могут устанавливаться специальные устройства – защитные аппараты от аварийных режимов работы типа УВТЗ-5М, ОВЕН, РТ и др. В состав этих устройств входят датчики температуры, в том числе позисторы, которые устанавливаются на опасные места защищаемого объекта. Для электрических машин такими местами являются обмотки статора. В реальных условиях часто невозможно разобрать электрическую машину и правильно установить датчики температуры. Более актуально было бы определить на корпусе критические точки по температуре с соответствующим пересчетом на реальную температуру изоляции обмотки статора и установить там контрольные датчики. Опыт тепловизионных съемок работающего электродвигателя показывает, что наиболее нагретыми являются передний подшипниковый щит, оболочка около коробки выводов, середина внутренней части вентиляционного канала (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид насосов в колодцах малых населенных пунктов

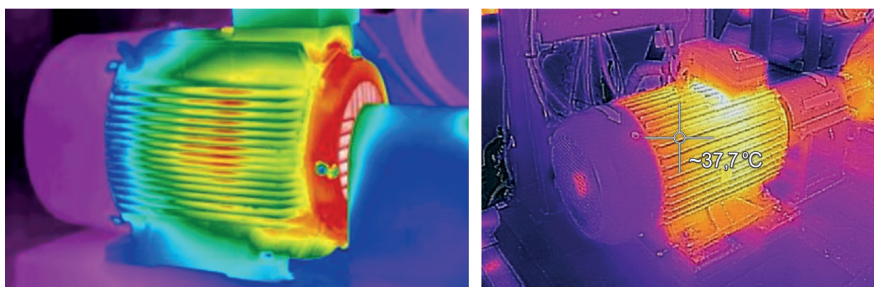


Рис. 2. Кадры тепловизионной съемки электродвигателей насосов

Для исследований температурного режима электродвигателя используют различные методы [1, 2], применение которых связано с множеством допущений, облегчающих расчёты. Тем не менее, судя по публикациям, наблюдается повышенный интерес к таким исследованиям. Так, в отдельных статьях [3-5] уже учитываются уровень нагрузки, класс изоляции обмотки статора, температура окружающего воздуха, частота вращения электродвигателя. Для получения более адекватных данных приходится вводить эмпирические данные, например, скорость воздуха в вентиляционных каналах и в кожухе вентилятора и др. Появление высокоскоростных компьютеров и современных программных продуктов приводит к получению более точных результатов и возможности увидеть динамику температурных полей в сложных объектах, в том числе в электрических машинах. Использование такого ПО, как Autodesk Simulation CFD [6, 7] и Comsol Multiphysics [8, 9], для решения подобных моделей приводит к получению качественных изображений физических полей в высокодетализованном виде.

Цель исследований – выявление проблемы перегрева электродвигателей насосов канализационных станций при внедрении частотных преобразователей тока и определение места возможной установки датчиков температуры на внешней оболочке электрической машины.

Материалы и методы исследования

Для определения критических мест в электродвигателе с точки зрения тепловой нагрузки решено провести моделирование основных

физических процессов в электрической машине с использованием ПО Comsol. Геометрические и физические параметры взяли на примере машины АИР63А2. Первоначально моделировались движения воздушных потоков как внутри электродвигателя, так и снаружи. Для анализа скоростей потоков использовался интерфейс Turbulent Flow с применением качества расчетной модели Algebraic yPlus, которая основана на теории смешивания Прандтля. Расчёты проводились по трем воздушным областям: наружная, под кожухом вентилятора, внутри электрической машины – в зазорах между статором и ротором, под подшипниковыми щитами. Принималось, что в начальный момент времени скорости воздушных потоков равны нулю.

Исследования тепловых процессов в электродвигателе проводились в интерфейсе Heat Transfer. Так как электродвигатель представляет собой неоднородное тело и одна часть его составляющих находится в статике, а другая – в динамике, то машина была разбита в модели на несколько частей. В качестве таких составляющих в интерфейсе были следующие: «Solid 1» – рабочий вал с подшипниковыми узлами, «Solid 2» – сердечник статора из электротехнической стали, «Solid 3» – катушки статора из обмоточного провода в пазах, «Solid 4» – часть обмотки статора, выходящая из пазов – лобовые части, «Solid 5» – сердечник ротора из электротехнической стали со стержнями. В качестве источников тепловыделений в машине приняты следующие: «Heat Source 1» – стержни обмотки ротора, «Heat Source 2» – провода в катушках статора, «Heat Source 3» – электротехническая сталь сердечника

статора, «Heat Source 4» – замыкающие кольца в роторе, «Heat Source 5» – подшипники качения, «Heat Source 6» – электротехническая сталь ротора. Тепловые мощности рассчитывались по принятым методикам с учетом схемы замещения электродвигателя. В итоге обобщенное математическое описание тепловых процессов было представлено в укрупненном виде:

$$\sum_{i=1}^{i=5} \rho_i \cdot c_i \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \sum_{i=1}^{i=5} \rho_i \cdot c_i \cdot u_{air} \cdot \nabla T + \sum_{i=1}^{i=5} \nabla q_{soli} = \sum_{j=1}^{j=6} Q_j, \quad (1)$$

где ρ_i – плотность материалов, входящих в состав электродвигателя, кг/м³;

c_i – теплоемкость основных составляющих машины, Дж/кг·К;

u_{air} – поля скоростей воздушных потоков, м/с;

$\sum_{i=1}^{i=5} \nabla q_{soli}$ – сумма плотностей тепловых потоков за счет теплопроводности пяти составляющих машины, Вт/м²;

$\sum_{j=1}^{j=6} Q_j$ – сумма интенсивностей тепловыделения, Вт/м³.

Результаты исследований и обсуждение

По результатам моделирования были получены температурные поля электрической машины при различных режимах работы. Первоначально анализировались результаты в номинальном режиме работы. Так, на рис. 3 представлены изображения температурных полей внешней оболочки электродвигателя. Исследование полученных полей показывает, что наиболее нагретыми частями являются оболочка электродвигателя со стороны рабочего вала и межреберное пространство в центре статора. Были выделены наиболее нагретые части машины с точки зрения удобства монтажа датчиков температуры (рис. 4), к которым отнесли и заднюю часть коробки выводов.

Исследования распределения температуры внутри электродвига-

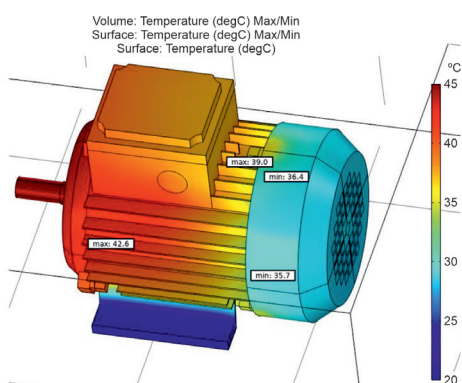


Рис. 3. Вид температурного поля модели электродвигателя при температуре окружающей среды +20 °С и номинальной угловой скорости вала

теля подтвердили известное утверждение: наиболее нагретой частью машины являются лобовые части обмотки статора (рис. 5). На рис. 5 также можно наблюдать области воздушных потоков с высокой температурой под крышками подшипниковых щитов. Видна и разница температур лобовых частей обмоток вдоль электродвигателя: со стороны рабочего вала ротора – 112 °С, со стороны обдувающего вентилятора – 110 °С.

Проводилось моделирование теплового состояния электродвигателя и на других частотах вращения ротора. Анализ показал, что наиболее нагретыми частями остаются те же, но с более высокими значениями температуры. Определив перепад температуры между корпусом и лобовыми частями обмоток статора, можно установить значение классификационной температуры для позисторов, которые будут монтироваться на внешнюю оболочку электрической машины.

Для подтверждения полученных результатов моделирования был проведен эксперимент с использованием тепловизора и датчиков температуры. В качестве реальной электрической машины использовался электродвигатель АИР63А2, который приводил во вращение водяной насос. Измерение температуры проводилось через встроенные термопары с выводом на модуль аналоговых сигналов. Опрос датчиков темпе-

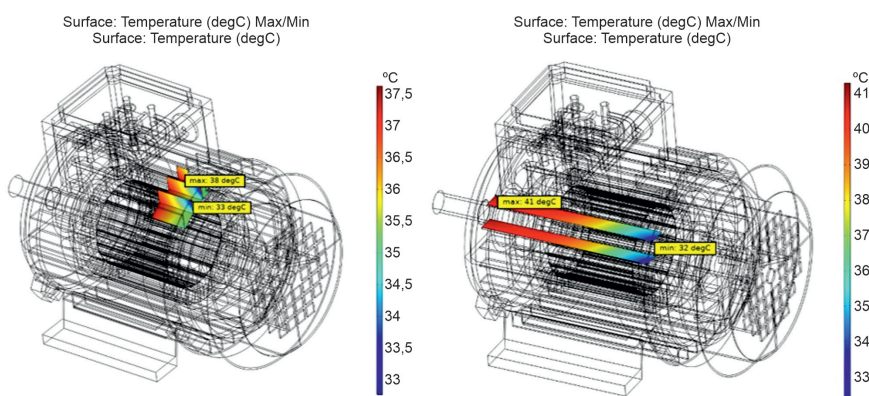


Рис. 4. Вид температурного поля выделенных частей электрической машины

ратуры осуществляется через преобразователь интерфейсов RS485/USB OPC – сервером, архивация данных и построение графиков – системой MasterSCADA 3.6.

Полученные экспериментальные данные показали достаточно хорошее совпадение с результатами моделирования. Так, в установившемся тепловом режиме экспериментальная температура отличалась от температуры модели: по лобовым частям обмотки статора со стороны рабочего вала – на 2 °С, по лобовым частям со стороны вентилятора – на 10 °С, по внешней оболочке корпуса электродвигателя – на 4 °С, по пазам корпуса статора – на 2 °С. Тепловизионная съемка также подтвердила установленные ранее наиболее нагретые области внешней оболочки машины. На основе проведенных исследований

рекомендовано для защиты электродвигателей использовать встроенные устройства температурной защиты типа УВТЗ-5М с соответствующим подбором позисторов для установки на корпус машины [10].

Выводы

1. Внедрение преобразователей частоты тока в электроприводах канализационных насосных станций привело к необходимости повышения качества защиты электродвигателей в аварийных тепловых режимах. Для защиты электрических машин от перегрева можно использовать различные устройства с выносными датчиками температуры, которые в эксплуатационных условиях лучше устанавливать на внешнюю оболочку статора электродвигателя.

2. Для определения места установки датчиков температуры была разработана геометрическая модель электродвигателя малой мощности в программном комплексе Comsol Multiphysics. Используя интерфейсы программного обеспечения, были исследованы течения воздушных потоков в отдельных частях машины и тепловое состояние основных составляющих электродвигателя.

3. Моделирование теплового режима электродвигателя насоса подтвердило литературные данные о том, что наиболее нагретой внутренней структурой являются лобовые части обмотки статора. При эксплуатации трудно установить датчики температуры

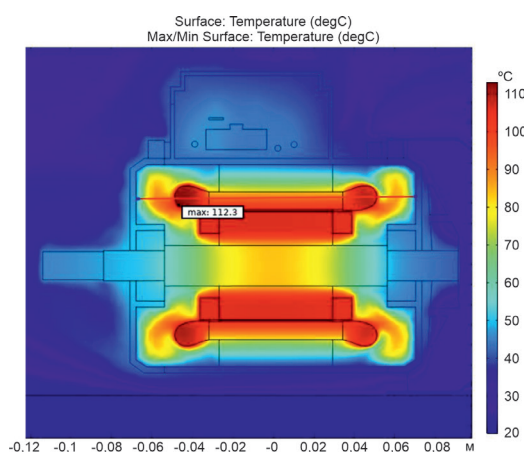


Рис. 5. Изображение температурного поля внутренней части электродвигателя

во внутрь электрической машины в связи с ограничениями в окружающем пространстве или невозможностью разбора электродвигателя. Конечно, лучше найти более удобные места на внешней стороне ее корпуса, но нужно знать наиболее нагретые части. Поэтому при моделировании на основе анализа температурных полей были определены места возможного расположения термодатчиков: в пазах вентиляционных каналов в середине статора или за коробкой выводов электродвигателя.

Экспериментальные исследования температурного состояния электродвигателя насоса доказали адекватность полученных моделей.

Список использованных источников

1. **Осташевский Н.А.** Исследование теплового состояния асинхронного частотно-управляемого двигателя с помощью

метода конечных элементов / Н.А. Осташевский, В.П. Шайда, А.Н. Петренко // Электротехника и Электромеханика. 2011. № 5. С. 39-42.

2. **Петушков М.Ю.** Тепловая модель асинхронного двигателя / М.Ю. Петушков // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Электромеханика и энергетика. Технические науки. 2011. № 4. С. 48-50.

3. **Жадан В.А.** Методика расчета температуры ребристых обдуваемых корпусов электрических машин / В.А. Жадан, Д.И. Санников // Известия Томского политехнического института. Т.190. 1968. С. 106-111.

4. **Жадан В.А.** Несимметрия нагрева корпуса электрических машин с внешним обдувом / В.А. Жадан, Д.И. Санников // Известия Томского политехнического института. Т.172. 1967. С. 104-111.

5. **Miroshnikov A.V.** Defining Acceptable Motor Reduction in Variable-Speed Drives of Agricultural Machinery, / S.V. Oskin and A.V. Miroshnikov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications

and Manufacturing (ICIEAM), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111949.

6. **Madej J., Będkowski B.** Air flow analysis for electrical motor's cooling system with Autodesk simulation CFD 2013 program. Acta Mechanica et Automatica 7(2), 2013. Pp. 89-92.

7. **Park J.M., Heo M.W., Kim K.Y.** Effects of Inlet Vent Shape on Aerodynamic Performance of a Low-Voltage Electric Motor Cooling Fan. The KSFM Journal of Fluid Machinery 19(5), 2016. Pp. 42-49.

8. **Miroshnikov A.V.** Investigation of the Aerodynamic Characteristics of Electric Motors when Regulating Their Speed in the Comsol Package / S.V. Oskin, A.V. Miroshnikov and D.S. Tsokur // 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2021, pp. 585-590, doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537420.

9. **Miroshnikov A.V.** Studying the Aerodynamic Characteristics of Electric Motors in COMSOL Multiphysics / S.V. Oskin, A.V. Miroshnikov and D.S. Tsokur // 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2021, pp. 350-354, doi: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446429.

10. **Мирошников А.В.** Защита двигателей в регулируемых электроприводах насосов водоотводящих систем / С.В. Оськин, А.В. Мирошников // Сельский механизатор. 2020. № 2. С. 24-25.

Increasing Reliability of Electric Drives of Sewer Stations

S.V. Oskin, A.A. Kumeiko,

Z.Kh. Naguchev

(Kuban SAU)

M.M. Ukraintsev

(Azov-Chernomorsk Engineering Institute – Don SAU)

Summary. The problem of overheating of electric motors of pumps of sewerage stations during the introduction of frequency converters of current is revealed. Modeling of the thermal state at different speeds of the rotor of the electric motor in the Comsol software package made it possible to determine the places for the possible installation of temperature sensors on the outer shell of the electric machine. Experimental studies have confirmed the adequacy of the obtained models and the proposed position of the temperature sensors.

Keywords: pump, simulation, reliability, temperature, variable speed drive.

ОРГАНИЗАТОРЫ
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЧУВАШИИ
КАЗЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ЧУВАШИИ
«АГРО-ИННОВАЦИИ»
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР КАРТОФЕЛЯ ИМЕНИ А.Г. ЛОРХА

Технологии

Идеи

Опыт

Иновации

XV МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА
КАРТОФЕЛЬ
2-3 марта 2023

СОРТА КАРТОФЕЛЯ, СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ,
ПИТАНИЯ, МОНИТОРИНГА

КОНФЕРЕНЦИЯ, КРУГЛЫЕ СТОЛЫ
ПО АКТУАЛЬНЫМ ВОПРОСАМ
РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ, ПРЕЗЕНТАЦИИ

СОПУТСТВУЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ,
НАПРАВЛЕННЫЕ НА УКРЕПЛЕНИЕ
ДЕЛОВЫХ СВЯЗЕЙ ОТРАСЛИ

ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ,
МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ АПК

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

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

6+

УДК 631.15:636.5.033(470)

DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-45-48

Снижение импортозависимости мясного птицеводства России

В.Н. Кузьмин,

д-р экон. наук, гл. науч. сотр.,
kwn2004@mail.ru

Т.Е. Маринченко,

науч. сотр.,
9419428@mail.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

Аннотация. Рассмотрены вопросы снижения импортозависимости отечественного мясного птицеводства. Проанализированы его состояние в мире и в России, а также динамика производства продукции подотрасли. Выявлено, что в основном мясное птицеводство представлено выращиванием бройлеров мясных кур, при этом существует значительная зависимость от зарубежного племенного материала. Сформулированы мероприятия, позволяющие снизить эту зависимость.

Ключевые слова: АПК, птицеводство, мясо, бройлер, подпрограмма, ФНТП, состояние, развитие.

Постановка проблемы

Обеспечение населения мясом и мясопродуктами является одним из важных показателей продовольственной безопасности страны. Большую роль в этом играет мясное птицеводство, которое сегодня основано преимущественно на выращивании бройлеров (скороспелых кроссов (гибридов) мясных кур) и стало, по существу, промышленным производством, наукоемкой высокотехнологичной отраслью АПК [1].

Для успешной конкуренции на рынке предприятия должны иметь высокие экономические показатели, на которые влияют условия содержания, рацион кормления бройлеров, качество племенного поголовья и финишного гибрида. Обеспечение первых факторов возможно внутри товарных предприятий, обеспечение последнего обусловлено качеством племенной продукции репродукторов. Мировые лидеры мясного птицеводства, имея большие материальные

и производственные ресурсы, ведут интенсивную селекцию на повышение эффективности потребления корма, скороспелость и другие критерии, которые позволяют снизить издержки производства [2]. Достигнутые ими высокие показатели продуктивности позволили занять лидирующие позиции среди поставщиков племенной продукции, в том числе в России. Птицеводческие предприятия России после кризисного состояния в 90-х годах, несмотря на существенное наращивание производства мяса птицы, в настоящее время преимущественно функционируют с использованием импортного оборудования и племенного материала [3]. В связи с этим актуален анализ состояния мясного птицеводства, выявление основных факторов риска его развития и разработка предложений по снижению их влияния.

Цель исследования – анализ состояния мясного (бройлерного) птицеводства в мире и России, выявление сдерживающих факторов и разработка предложений по снижению их влияния на развитие отрасли.

Материалы и методы исследования

Теоретической базой проведения исследований послужили научно-исследовательские работы [1-4], посвященные технологическим и экономическим аспектам функционирования подотрасли мясного пти-

цеводства. Для анализа состояния российского мясного птицеводства, роли и перспектив в обеспечении продовольственной безопасности использованы данные зарубежных и российских статистических служб, научных организаций Российской академии наук и Минсельхоза России. В качестве методологической основы проведения исследований использовались общенаучные методы исследования, такие как методы экспертных оценок, комплексного, структурно-динамического анализа, экстраполяции и др.

Результаты исследований и обсуждение

Мясо птицы является одним из основных продуктов питания населения практически всех стран мира. В 2021 г. производство мяса в мире превысило 260 млн т, объем мяса птицы остался на уровне 2020 г. – 99,1 млн т, занимая второе место после свинины (табл. 1) [4, 5].

Первое место в мире по производству мяса бройлеров занимают США, второе – Китай, третье – Бразилия [6] (табл. 2).

Россия занимает пятое место (если считать ЕС как единое государство) с показателем более 4,7 млн т в год.

В 2021 г. в России производство птицы на убой (бройлеры, куры яичного направления и другие виды птицы) в хозяйствах всех категорий составило 6,7 млн т, или 42,9% в структуре общих объемов произ-

Таблица 1. Производство мяса в мире в убойной массе, млн т [5]

Вид мяса	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2021 г. к 2020 г., %
Свинина	110,3	111,1	111,9	101	95,8	106,1	10,8
Мясо птицы	89,5	91,1	92,8	97,2	99,1	99,1	-
Говядина и телятина	55,2	56,3	57,7	58,6	57,7	57,8	0,2
Всего	255	258,5	262,5	256,9	252,5	263	4,2

водства мяса основных видов [4, 7] (табл. 3).

Доля мяса птицы снизилась в связи с возросшей долей свинины.

Прогнозируется, что в 2022 г. на фоне общего небольшого роста производства мяса всех видов мясо птицы покажет небольшое снижение, что связано с неблагоприятной эпизоотической ситуацией в начале 2021 г., сложностями с импортом инкубационного яйца и другими причинами [4].

Наибольшую долю в структуре производства мяса птицы занимают бройлеры (88,3%), на втором месте – индейка (7,5%), далее следуют выбраковка яичных кур (3,3%), утки (0,8%) и гуси (0,1%) [8]. Для наращивания производства птицы на убой перспективными являются утки, гуси, цесарки и перепела.

Мясное птицеводство сегодня – конкурентоспособный сектор мясного комплекса отечественного АПК: проведенная комплексная технико-технологическая модернизация позволила увеличить производство продукции, снизить затраты, обеспечить производственные показатели на уровне лучших зарубежных предприятий [9]. Это уменьшило импортные поставки мяса птицы, повысило уровень продовольственной безопасности страны по этому виду продукции [10].

При этом высокий уровень развития бройлерного производства, определяющий лидирующее положение птицеводства по отношению к другим подотраслям животноводства, основан на зависимости от импортного племенного материала. Российские предприятия преимущественно используют зарубежные кроссы кур с высокими показателями продуктивности: 35-дневный откорм позволяет получить бройлеров со средней живой массой 2,1 кг при конверсии 1,55-1,60 кг/кг прироста [11]. Для достижения высоких показателей необходимы сбалансированность рационов по питательным веществам, соблюдение всех технологических параметров, зоогигиенических нормативов содержания и ветеринарно-санитарных правил, использование современных технологий и оборудования для выращивания птицы, соответствие

Таблица 2. Мировые лидеры производства мяса бройлеров, млн т [4]

Страна	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
США	18,21	18,51	18,94	19,36	19,94	20,24	20,47
Китай	13,56	12,45	11,60	11,70	13,75	14,60	15,30
Бразилия	13,55	13,52	13,61	13,36	13,69	13,88	14,18
ЕС	10,89	11,56	11,91	12,26	12,56	12,20	12,60
Россия	4,22	4,33	4,68	4,68	4,67	4,72	4,71
Индия	3,26	3,46	3,76	4,06	4,35	4,00	4,20
Мексика	3,18	3,28	3,40	3,49	3,60	3,70	3,78
Таиланд	2,69	2,81	2,99	3,17	3,30	3,25	3,34
Турция	1,91	1,88	2,14	2,16	2,14	2,20	2,25
Аргентина	2,09	2,12	2,15	2,07	2,17	2,19	2,22

Таблица 3. Структура производства скота и птицы на убой (в живой массе) в России, в хозяйствах всех категорий, %

Вид мяса	2016 г.	2021 г.	2021 г. по сравнению с 2016 г., п.п.
Мясо птицы	44,5	42,9	-1,6
Свинина	31,2	35,1	+3,9
Говядина	20	18,3	-1,7
Баранина	3,4	2,9	-0,5
Прочие виды	0,9	0,8	-0,1
Всего	100	100	

Источник: составлено авторами на основе работы [7].

прародительского и родительского племенного поголовья потребностям товарного птицеводства [2].

В настоящее время подавляющую долю импорта инкубационных яиц (яичного и мясного направлений продуктивности) составляет яйцо финального гибрида, при этом в 2021 г. импорт снизился по сравнению с 2020 г. (рис. 1) [12].

Для снижения импортозависимости мясного птицеводства от импортной племенной продукции и технологий реализуется подпрограмма «Создание отечественного конкурентоспособного мясного кросса кур бройлерного типа» (далее – Подпрограмма) Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на

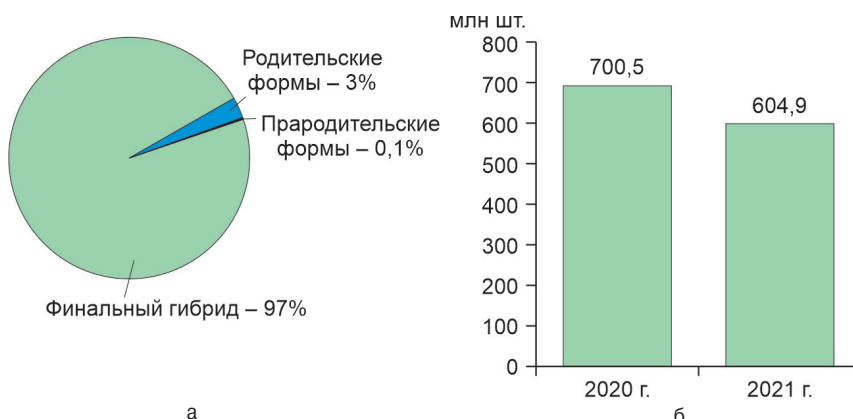


Рис. 1 Структура (а) и объемы (б) импорта инкубационных яиц (яйца домашних кур яичного и мясного направлений, оплодотворенных для инкубации), 2021

Источник: Авельцов, 2022.

2017-2030 годы (далее – ФНТП).

Для достижения высоких производственных показателей, как правило, применяется четырехлинейная схема. Чистые линии пород на репродукторах I порядка дают прародительские стада, скрещивание которых на репродукторах II порядка позволяет получить родительские стада, которые дают инкубационное яйцо финишного гибрида – бройлера (рис. 2) [13].

Для достижения запланированного объема товарного производства мяса бройлеров необходимо соответствие прародительского и родительского племенного поголовья потребностям товарного птицеводства: для производства 4,55 млн т мяса бройлеров в год необходимо около 4 млрд инкубационных яиц (3,2 млрд суточных цыплят бройлеров при выводе 80% и сохранности – 94%). Это количество яиц возможно получить от 25 млн голов кур родительских форм (при выходе 135 цыплят на начальную несушку родительских форм и сохранности кур родительских форм – 95%). Такое количество родительских форм возможно получить от 610 тыс. кур голов прародительского стада (при 55 цыплятах на начальную несушку по материнской линии) [10].

Племенная база отечественного мясного птицеводства для комплектования родительских стад представлена двумя репродукторами I порядка, что не обеспечивает потребности птицефабрик, поставляющих в товарные предприятия финальный гибрид, и обуславливает высокий уровень ежегодного импорта инкубационных яиц финального гибрида [3]. Поэтому, в первую очередь, необходимо создание репродукторов I порядка, достаточное предложение продукции которых будет способствовать формированию репродукторов для родительских форм.

Создание отечественного конкурентоспособного мясного кросса кур с высокими производственными показателями в рамках ФНТП снизит

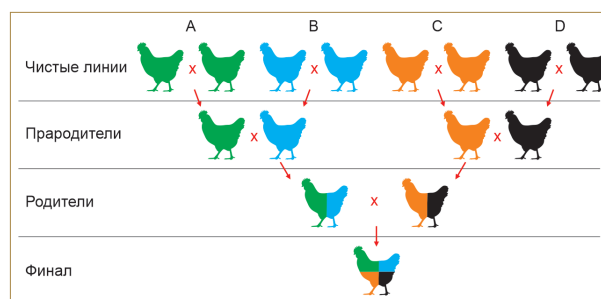


Рис. 2. Схема получения финишного гибрида при четырехлинейном скрещивании [13]

зависимость от зарубежной племенной продукции.

Срок реализации подпрограммы – 2019-2025 годы, в два этапа:

I этап (2019-2020 гг.):

- выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по селекции птицы, направленных на создание отечественного высокопродуктивного кросса мясных кур с аутосексной родительской формой с применением методов классической селекции по фенотипу, а также включением блока генетических исследований с целью более точного отбора особей с заданными продуктивными признаками;

- строительство новых ферм для размещения селекционного стада (ферма ремонтного молодняка, две фермы взрослой селекционной птицы, ферма-испытатель родительских форм, ферма-испытатель бройлеров, карантинная ферма, инкубаторий);

- создание селекционно-генетической лаборатории для разработки новых научных методов ведения оценки и отбора птицы по заданным продуктивным параметрам.

II этап (2021-2025 гг.):

- государственная регистрация нового отечественного высокопродуктивного кросса мясных кур «Смена»;

- коммерциализация проекта путем привлечения партнеров с целью создания репродукторов первого порядка для производства племенной продукции (родительских форм). Обеспечение товарных бройлерных птицефабрик отечественным племенным материалом.

Плановыми результатами реализации Подпрограммы являются достижение доли птицы на убой в живой

массе от кросса «Смена 9» на внутреннем рынке – 1,7% и доли птицефабрик, использующих птицу нового кросса при производстве мяса бройлеров – 6,6%, обеспечение функционирования и развития одного селекционно-племенного центра, разработка трех технологий по селекции и разведению кроссов мясных кур. Реализуются четыре комплексных научно-технических проекта (КНТП) [14].

Научной базой создания отечественного конкурентоспособного мясного кросса кур бройлерного типа являются ФНЦ ВНИТИП РАН и его филиал – селекционно-генетический центр «Смена», в котором сохранен ценный генетический материал, создан конкурентоспособный отечественный мясной кросс кур «Смена 9» [2, 14]. Работа велась по 70 хозяйственно-полезным признакам с применением методов биоинформатики и геномной селекции, что позволило получить кросс со следующими характеристиками: количество снесенных яиц на начальную курицу-несушку – 177 шт., средняя живая масса бройлеров за 42 дня – 2749 г, индекс продуктивности бройлеров – 366, сохранность – 95%, конверсия корма – 1,6-1,85. Среди плюсов также – приспособленность птицы к местным кормам, устойчивая репродукция при стабильной скорости роста, вес тушки после разделки – 1600-2450 г, в среднем – 1800-1900 г. Однако для сопоставления коммерческих показателей с кроссами *Cobb 500* и *Ross 308* (основные зарубежные конкуренты российского кросса) требуется более масштабный анализ ежедневного привеса, конверсии корма, производства яйца и множества других параметров [4, 14, 15].

Для формирования необходимого поголовья племенной птицы родительских форм с целью комплектования птицефабрик на базе ФНЦ ВНИТИП РАН строится центр, на который выделено 5 млрд руб., заключены также договоры на строительство репродукторов I и II порядков с предприятиями из ряда регионов России [14].

Для ускорения модернизации отрасли в рамках реализации Госу-

дарственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в 2016-2021 гг. осуществлялись реконструкция и модернизация производственных мощностей в птицеводстве, введены 62 новые птицефабрики, реконструировано и модернизировано 77, дополнительное производство птицы на убой в них доведено до 1308,2 тыс. т [5, 7].

Такие меры в комплексе будут способствовать модернизации племенных хозяйств для обеспечения оптимальных условий содержания родительских стад, а реализация подпрограммы – способствовать развитию отрасли, снижению импортозависимости и повышению рентабельности.

Выводы

1. Мясо птицы по объему производства занимает второе место в мире среди других видов мяса (в России – первое), мясное птицеводство, основанное преимущественно на выращивании бройлеров (скороспелых гибридов мясных кур) превратилось в наукоемкую высокотехнологичную отрасль АПК. На конкурентоспособность продукции влияют условия содержания, рацион кормления бройлеров, качество племенного поголовья и финишного гибрида. Птицеводческие предприятия России в последние годы увеличили производство мяса птицы, однако, для его производства используют импортные кроссы кур с высокой продуктивностью родительского стада и финишного гибрида.

2. Для снижения уровня импортозависимости утверждена подпрограмма «Создание отечественного конкурентоспособного мясного кросса кур в целях получения бройлеров» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, в рамках которой на базе ФНЦ ВНИТИП РАН строится центр, реализуются четыре комплексных научно-технических проекта, предусматривающие апробацию нового кросса кур мясного направления продуктивности, создание новых отечественных репродукторов I и II порядков.

3. ФНЦ ВНИТИП РАН создан новый кросс «Смена 9» с продуктивными характеристиками: количество снесенных яиц на начальную курицу-несушку – 177 шт., средняя живая масса бройлеров за 42 дня – 2749 г, индекс продуктивности бройлеров – 366, сохранность – 95%, конверсия корма – 1,6-1,85. Птица приспособлена к местным кормам, имеет устойчивую репродукция при стабильной скорости роста.

Реализация мероприятий подпрограммы позволит снизить импортозависимость, повысить конкурентоспособность отечественной продукции птицеводства.

Список используемых источников

1. Feasibility study on innovative energy-saving technologies in poultry farming / I.P. Saleeva, A.V. Sklyar, M. V. Postnova, et al. // E3S Web Conf. 2019. 124. С. 05070.
2. **Фисинин В.И.** Создание высокопродуктивных пород и кроссов животных и птицы // Вестник Российской академии наук. 2017. № 4. С. 333-336.
3. Современные технологии выращивания мясных кроссов кур бройлерного типа / Т.Н. Кузьмина, А.И. Тихомиров, В.А. Гусев и др. М. ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 96 с.
4. **Кравченко В.** Птицеводство в России: тренды, проблемы, перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://specagro.ru/news/202103/pticevodstvo-v-rossii-trendy-problemy-perspektivy> (дата обращения: 10.01.2023).
5. Production of meat worldwide from 2016 to 2021, by type [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/statistics/237632/production-of-meat-worldwide-since-1990/#main-content> (дата обращения: 12.01.2023).
6. ФАО. 2020. Продовольственный прогноз. Краткий обзор рынков. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/3/cb0606ru/cb0606ru.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).
7. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2021 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/60d/60d8f2347d3eb724ab9b57c61a9ac269.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).
8. **Буяров А.В., Буяров В.С., Воронцова Е.В.** Развитие мясного птицеводства России в современных экономических условиях // Вестник аграрной науки. 2022. № 2.

9. **Kuzmin V.N., Korolkova A.P.** Mechanism for increasing innovative activity in agriculture in Russia using programming // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. 723.(3). 032055.

10. Организация и техническое обеспечение производства мясных кроссов кур / В.А. Гусев, Л.А. Зазыкина, А.В. Скляр, Т.Н. Кузьмина // Техника и оборудование для села. 2018. № 4. С. 28-33.

11. В России вывели самую плодovitую породу кур [Электронный ресурс]. URL: <http://biotech2030.ru/v-rossii-vyveli-samuyu-plodovituyu-porodu-kur/> (дата обращения: 12.01.2023).

12. **Авельцов Д.** Рынок мяса: ситуация на продовольственном рынке и факторы ее определяющие [Электронный ресурс]. URL: <https://specagro.ru/news/202010/d-avelcov-rasskazalo-sostoyanii-i-vozmozhnostyakh-rossiyskogo-rynka-myasa> (дата обращения: 18.01.2023).

13. Зарубежный и отечественный опыт разработки и применения мер и инструментов поддержки создания отечественных конкурентоспособных кроссов мясной птицы / Мишунов Н.П., Кузьмин В.Н., Голубев И.Г. и др. // [Электронный ресурс]. URL: https://rosinformagrotech.ru/images/pdf/otchet_pticevodstvo_2018.pdf (дата обращения: 18.01.2023).

14. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы. Подпрограмма «Создание отечественного конкурентоспособного кросса мясных кур в целях получения бройлеров» [Электронный ресурс]. URL: <https://specagro.ru/ftp/subprograms/broilers> (дата обращения: 18.01.2023).

15. Пришла «Смена»: сможет ли российский бройлер вытеснить американских кур [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20220818/krossy-1810255573.html> (дата обращения: 18.01.2023).

Decrease in Import Dependence of Meat Poultry Farming in Russia

V.N. Kuzmin, T.E. Marinchenko
(Rosinformagrotekh)

Summary. The issues of reducing the import dependence of the domestic poultry meat industry are considered. The state of meat poultry farming in the world and in Russia, the dynamics of production of products of the sub-sector are analyzed. It was revealed that meat poultry farming is represented mainly by the cultivation of broilers of meat chickens, while there is a significant dependence on foreign breeding material. Measures have been formulated to reduce this dependence.

Keywords: agribusiness, poultry farming, meat, broiler, subprogram, FSTP, state, development.