АГРОЭКОИНЖЕНЕРИЯ 2(111)

Прежнее название –ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МЕХАНИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА И ЖИВОТНОВОДСТВА

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-78977 от 14.08.2020

В номере:

- ✓ Рассмотрены современные подходы решения проблемы по антропогенному азоту при производстве сельскохозяйственной продукции;
- ✓ Представлена концептуальная модель для разработки базы данных и блока интеллектуальной аналитической программной платформы по оценке диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты;
- ✓ Приведены результаты исследований по возможным решениям в биоиндикации агроэкосистем;
- ✓ Рассмотрены технологические приёмы и технические решения для растениеводства и садоводства;
- ✓ Представлены результаты использования интернет-ресурса погодного сервиса в сельскохозяйственном производстве;
- ✓ Получены модели расхода корма и прироста живой массы молодняка кроликов, содержащихся в технологических модулях.

Главный редактор:
Брюханов А.Ю.чл.-кор. РАН, д-р. техн. наук
Зам.главного редактора:
Максимов Д.А., канд. техн. наук;
Редакционная коллегия:
Попов В.Д., акад. РАН; д-р техн. наук
Вторый В.Ф. д-р техн. наук;
Ракутько С.А.д-р техн.наук;
Джабборов Н.И. д-р техн. наук;
Трифанов А.В. канд. техн. наук,
Гордеев В.В. канд. техн. наук;
Перекопский А.Н., канд. техн. наук;
Каледин Г.В. канд.техн. наук;
Папушин Э.А. канд. техн. наук
Васильев Э.В. канд. техн. наук;
Миронов В.Н. канд.техн. наук.
Смелик В.А., д-р техн.наук
Иностранные члены редакционной коллегии:
Валкама(Костина) Елена,Финляндия
Корнел Салаи, Венгрия
Андрес Аннук, Эстония

Над номером работали:
Плеханова Ю.В. редактор;
Левченко Л.В. перевод;
Научные редакторы номера:
Смелик В.А., Ракутько С.А.

Учредитель и издатель:
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства-филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ"

Адрес редакции:
196625, Санкт-Петербург, Тярлево
Фильтровское шоссе, 3.
Телефон (812) 466-83-08
E-mail: nii@sznii.ru

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
Полные тексты статей размещены на сайтах электронных библиотек: elibrary.ru; КиберЛенинка; ЭБС «Лань».

Отпечатано в ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Подписано в печать 16.06.2022
Формат 84×108 $^{1}/_{16}$.
Объем 17,64 усл.печ.л.
Тираж 300 экз

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ АГРОСИСТЕМ……3

Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Козлова Н.П., Шалавина Е.В. Азот и цели устойчивого развития сельского хозяйства……3

Папушин Э.А., Васильев Э.В., Матейчик С.Н. Концептуальная модель предметной области оценки диффузного загрязнения водных экосистем……..13

Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. Исследование возможности биоиндикации агроэкосистем по растениям со спиральным филлотаксисом……...22

Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н., Су Цзянь. Опыт применения фрактального анализа при биоиндикации агроэкосистем на примере листьев свеклы (BETA VULGARIS L.)……...42

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА……....61

Безух Е.П., Егорова К.И., Зыков А.В., Юнин В.А. Выращивание кронированных саженцев плодовых культур с помощью длинных черенков……61

Захаров А.М., Мурзаев Е.А., Иванов Д.Ю. Обоснование конструктивных параметров дозирующей системы машины для внесения компостов……....73

Джабборов Н.И., Добринов А.В., Сергеев А.В., Шамонин В.И., Семенова Г.А, Чугунов С.В. Перспективные рабочие органы для обработки почвы в биологизированных технологиях производства сельскохозяйственной продукции……83

Семчук Н.Н., Перекопский А.Н., Балун О.В., Гладких С.В. Травмируемость клубней картофеля в процессе перегрузки и закладки на хранение……..96

Валге А.М., Сухопаров А.И. Выбор грузоподъёмности транспортных средств при заготовке кормов из подвяленных трав……107

Смелик В.А., Савиных П.А., Киприянов Ф.А. Практическое применение интернет-ресурса погодного сервиса в сельскохозяйственном производстве……116

Минин В.Б., Захаров А.М., Мельников С.П., Мурзаев Е.А. Особенности продуктивности и качественного состава картофеля возделываемого по биологизированной технологии в засушливых условиях 2021 года……...126

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА……...……137

Вторый С.В. Совершенствование дискового дозатора для сухого заменителя цельного молока……..137

Иванов С.И., Соловьев С.В., Герасимова О.А., Базыкин В.И. Автоматизированная система осушения воздуха в свинарнике……146

Трифанов А.В., Базыкин В.И., Плаксин И.Е., Соколов А.М. Математические модели расхода кормов и прироста живой массы молодняка кроликов при выращивании в технологическом модуле……...156

ЭКОЛОГИЯ АГРОСИСТЕМ

УДК 636.2 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-3-13

АЗОТ И ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

А.Ю. Брюханов, д-р, техн. наук; Н.П. Козлова, канд. техн. наук;
Э.В. Васильев, канд. техн. наук; Е.В. Шалавина, канд. техн. наук;

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время усилия многих международных организаций, правительств и научного сообщества направлены на создание системы эффективного использования питательных веществ. Целью исследований являлось обобщение современных подходов к проблеме антропогенного азота при производстве сельскохозяйственной продукции. В исследовании использовали материалы конференции Международной Азотной Инициативы (International Nitrogen Initiative INI2021) на тему «Азот и цели устойчивого развития, выдвинутые Организацией Объединенных Наций». Основные блоки программы конференции рассматривали связанные с азотом проблемы, решение которых способствовало бы достижению целей устойчивого развития. На конференции был представлен Руководящий документ по комплексному устойчивому управлению азотом, который определяет основы управления азотом в замкнутом цикле, принципы обоснования принятия решений и оценки эффективность мер по снижению негативного влияния различных форм азота на окружающую среду. ИАЭП принял участие в конференции INI2021 в блоке 2 «Сельское хозяйство и продовольствие» с постером «Оценка потоков азота на местном и региональном уровне при разработке системы управления навозом на крупных животноводческих предприятиях» в разделе 2а «Производство продукции животноводства и баланс азота и круговорот питательных веществ». В качестве показателей использовали значения эффективности использования азота (NUE), рассчитанных на уровне региона и муниципальных районов. На региональном уровне NUE составил 34%, а избыток азота – 103 кг N га$^{-1}$год$^{-1}$. В одиннадцати муниципальных районах среднее значение NUE составило 59%, средний избыток азота − 39,6 кг N га$^{-1}$ год$^{-1}$. Четыре района были определены как «горячие точки» с NUE от 1 до 37% и избытком азота от 87 до 3082 кг N га$^{-1}$ год$^{-1}$. Разработка и реализация научно обоснованной стратегии управления азотом с целью минимизации экологической нагрузки на природу при максимуме экономического и социального эффекта является актуальной для российских условий, особенно в свете задач обеспечения продовольственной безопасности, модернизации промышленности, интеграции в мировое экономическое сообщество, выполнения международных обязательств по защите окружающей среды.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, цели устойчивого развития, эффективность использования азота

Для цитирования: Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Козлова Н.П., Шалавина Е.В. Азот и цели устойчивого развития сельского хозяйства // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.3-13

NITROGEN AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS FOR AGRICULTURE

A. Yu. Briukhanov, DSc (Engineering); N. P. Kozlova, Cand. Sc. (Engineering);
E.V. Vasilev, Cand. Sc. (Engineering); E.V. Shalavina, Cand. Sc. (Engineering);
Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

From the literature review, the current efforts of many international organisations, governments, and academic community pursue to create a system for efficient use of nutrients, nitrogen, in particular. The study purpose was to summarise the state-of-the art approaches to the issue of anthropogenic nitrogen in agricultural production. The source material was the presentations on the International Nitrogen Initiative Conference (INI2021) “Nitrogen and the United Nations Sustainable Development Goals”. The main conference programme blocks considered the nitrogen-related problems, the solution of which should contribute to achieving the set goals. The presented Guidance document on integrated sustainable nitrogen management outlined the framework for nitrogen management in a closed cycle, identified the principles of decision-making and evaluating the effectiveness of measures to reduce the environmental impacts of various forms of nitrogen. The institute participated in the INI2021 conference in Theme 2 “Agriculture and food” with a poster “Assessment of nitrogen flows at farm and regional level when developing the manure management system for large-scale livestock enterprises” in sub-session 2a. “Livestock production and nitrogen balance and nutrient cycle”. The assessment indicators were nitrogen use efficiency (NUE) values calculated for the region and municipal districts. At the region level, NUE was 34% and N surplus was 103 kg N ha^{-1} yr^{-1}. Eleven municipal districts had an average NUE of 59% and an average N surplus of 39.6 kg N ha^{-1} yr^{-1}. Four districts were identified as “hot spots”, with NUE being from 1% to 37% and N surplus being from 87 to 3082 kg N ha^{-1} yr^{-1}. An important issue for Russia is to develop and introduce a scientifically sound nitrogen management strategy, which would aim at minimising the environmental pressure while maximising the economic and social effect, especially in the light of the tasks to ensure the food security, to upgrade the industry, to integrate into the world economic community, and to fulfill the international obligations associated with environment protection.

***Key words*:** agricultural production, sustainable development, nitrogen use efficiency

For citation: Briukhanov A. Yu., Vasilev E.V., Kozlova N. P., Shalavina E.V. Nitrogen and sustainable development goals for agriculture. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 3-13 (In Russian)

Введение

Азот – источник жизни на земле, ключевой ресурс для производства продуктов питания. В то же время – азотосодержащие соединения - являются основными загрязнителями окружающей среды при производстве сельскохозяйственной продукции.

Образование форм химически активного азота при производстве удобрений, в растениеводстве, животноводстве, природных экосистемах показано на рис.1. Химически активный азот – это все азотосодержащие вещества, кроме азота воздуха N_2 [1].

Нежелательные последствия, связанные с азотом, поступающим в биосферу:

- Подкисление озер, рек и почвы из-за осаждения NH_3 и NOx;
- Загрязнение грунтовых вод и питьевой воды из-за NO_3- выщелачивания;
- Эвтрофикация поверхностных вод из-за обогащения азотом и активного развития токсичных водорослей;
- Снижение биоразнообразия флоры и фауны;
- Ухудшение здоровья людей вследствие образования в воздухе дисперсных частиц ($PM_{2.5}$) и аэрозолей из-за NH_3 и NOx и смога;
- Повреждение растений из-за NH_3 и NOx, вызывающих образование озона;
- Глобальное потепление из-за эмиссии парникового газа N_2O;
- Разрушение стратосферного озона.

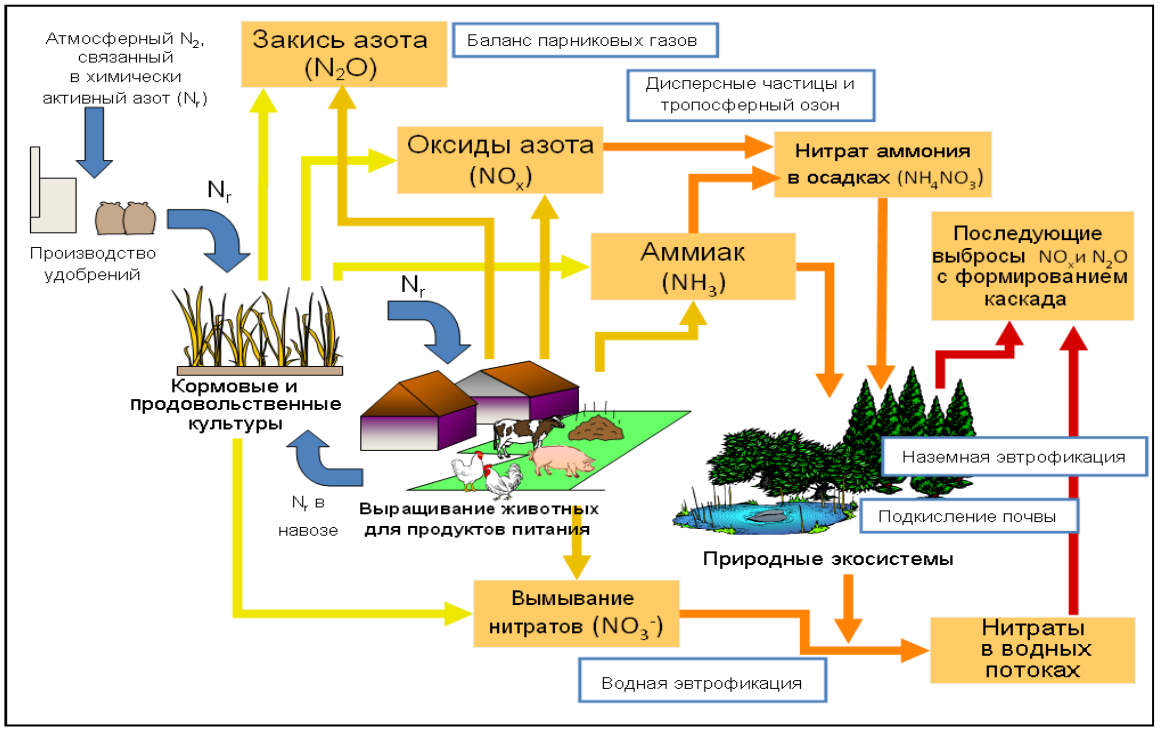

Рис. 1. Упрощенная схема N-каскада, иллюстрирующая улавливание атмосферного азота (N_2) и образование форм химически активного азота [1]

Вопросы мониторинга, управления, мер по снижению отрицательного воздействия на окружающую среду химически активного азота становятся все более актуальными.

Женевская Конвенция 1979 года о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской Экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН) – один из важных международных договоров по контролю загрязнения воздушной среды, который ратифицировала Россия. В рамках Конвенции разработан ряд документов, посвященных химически активному азоту, которые отражают текущее состояние научных исследований в Европе и мире в данном направлении и представляют интерес с точки зрения информации по низко эмиссионным технологиям в сельском хозяйстве, по комплексной оценке технических решений при выборе наилучших доступных технологий:

- Руководящий документ по национальным бюджетам[1] содержит рекомендации по созданию азотных бюджетов на национальном уровне для определения точек вмешательства для регулирования выбросов азота в окружающую среду и оптимизации использования азота.
- Руководящий документ по предотвращению и сокращению выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников[2]. В документе обобщены текущие знания о методах и стратегиях борьбы с выбросами NH_3, приведена экономическая оценка методов в пересчете на евро за кг снижения NH_3 .
- Рамочный кодекс надлежащей сельскохозяйственной практики Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций по сокращению выбросов аммиака[3] предоставляет Сторонам Конвенции легко понятную информацию о передовой практике, необходимой для сокращения выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников.

Важность проблемы азота в мире подтверждается принятием Резолюции по устойчивому управлению азотом четвертой сессией Ассамблеи ООН по окружающей среде (UNEA-4, март 2019 года), которая признала многочисленные угрозы антропогенного химически активного азота, включая загрязнение воздуха, с неблагоприятным воздействием на наземную, пресноводную и морскую среду и поддержала достижение Целей устойчивого развития[4].

Цель исследования – обобщить современные подходы к проблеме антропогенного азота при производстве сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы

В статье использованы материалы международной конференции INI2021. Конференции Международной Азотной Инициативы INI (International Nitrogen Initiative) проводятся каждые три года на разных континентах начиная с 1998 года; предыдущая конференции INI состоялась в 2016 году в Австралии. INI2020 из-за пандемии перенесена на 2021 год. Организатором INI2021 выступило Федеральное агентство по охране окружающей среды Германии при поддержке Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности. На конференции, которая проходила в Берлине в течение

---

[1] Руководящий документ по национальным бюджетам. https://unece.org/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE_EB.AIR_119_RUS.pdf

[2] Руководящий документ по предотвращению и сокращению выбросов аммиака из сельскохозяйственных источников. https://unece.org/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE_EB.AIR_120_RUS.pdf

[3] Рамочный кодекс надлежащей сельскохозяйственной практики Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций по сокращению выбросов аммиака. https://unece.org/DAM/env/documents/2015/AIR/EB/ECE_EB.AIR_129_RUSS.pdf

[4] Резолюция, принятая Ассамблеей Организации Объединенных Наций по окружающей среде 15 марта 2019 года. 4/14. Устойчивое регулирование азота https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28478/Russian.pdf?sequence=5&isAllowed=y

4х дней в режиме онлайн в конце мая 2021, было зарегистрировано более 1000 участников из 64 стран, было представлено 174 доклада, 81 постер.

Объявленная тема конференции – «Азот и цели устойчивого развития Организации Объединенных Наций». Цели устойчивого развития (ЦУР) были сформулированы и приняты на генеральной сессии ООН в 2015году [2]. 17 целей носят комплексный характер и обеспечивают сбалансированность всех трех компонентов устойчивого развития: экономического, социального и экологического. Основные блоки программы INI2021 https://ini2021.com/program/ предусматривают рассмотрение связанных с азотом проблем, решение которых способствует достижению почти всех целей устойчивого развития – ЦУР.

1. Питание и образ жизни:

ЦУР 2 - Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства;

ЦУР 11 - Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и устойчивости городов и населенных пунктов;

ЦУР 12 - Обеспечение рациональных моделей потребления и производства

2. Устойчивое сельское хозяйство и системы питания. Оптимизация эффективности использования азота в растениеводстве и животноводстве:

ЦУР 2, ЦУР3 - Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте

3. Угрозы для здоровья, окружающей среды:

ЦУР 3, ЦУР 11;

ЦУР 6 - Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех

4. Угрозы биоразнообразию и решения для борьбы с этими воздействиями азота:

ЦУР 14 - Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития:

ЦУР15 - Защита, восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное управление лесами, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия

5. Глобальные проблемы, потоки азота и взаимодействие между различными движущими силами и давлением

ЦУР 13 - Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями

6. Замыкание азотного цикла за счет инноваций для устойчивого управления N

ЦУР 9 - Создание прочной инфраструктуры, содействие обеспечению всеохватной и устойчивой индустриализации и внедрению инноваций (технологии и утилизация питательных веществ, эффективное управление системами животноводства и растениеводства)

7. Интегрированные научные и политические подходы по азоту, от науки к политике (экономические вопросы, образовательные аспекты, осведомленность общественности, информирование о рисках):

ЦУР 4 - Обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех;

ЦУР17 - Укрепление средств достижения устойчивого развития и активизация работы механизмов глобального партнерства в интересах устойчивого развития

Специальные сессии конференции были посвящены вопросам азотного следа и эффективности использования азота, устойчивому управлению питательными веществами. Наибольший интерес вызвали сообщения по следующим направлениям:

- построение моделей процессов преобразования азота и углерода на планетарном, региональном и местном уровне;
- экспериментальные работы по уточнению эмиссионных факторов современных машин и технологий;
- применение спутниковых данных для оценки воздействия и мониторинга выбросов.

Результаты и обсуждение

На конференции был представлен проект (Towards the Establishment of an International Nitrogen Management System (INMS) - создание международной системы управления азотом. ИАЭП – один из 60 партнеров проекта (https://www.inms.international). Идея проекта - объединить исследования, ведущиеся в рамках различных международных организаций (по воде, воздуху, биоразнообразию, глобальному потеплению). Конечным результатом проекта INMS должна стать публикация в 2022 году книги по глобальной оценке азота, куда войдут результаты исследований, охватывающие по содержанию все блоки программы конференции INI. Аналогичный по структуре труд о европейской оценке азота опубликован в 2011 году [1].

Директор проекта INMS Марк Саттон представил руководящий документ по комплексному устойчивому управлению азотом[5], который демонстрирует, как действия по борьбе с загрязнением воздуха приносят сопутствующие выгоды для климата, водных ресурсов, биоразнообразия, здравоохранения и экономики. В документе представлены основы устойчивого управления азотом в замкнутом цикле круговорота азота, определены принципы, которые помогают обосновать решения, и оценить эффективность мер для борьбы с различными формами азота, см. рисунок 2.

[5] Руководящий документ по комплексному устойчивому управлению азотом https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE_EB.AIR_149-2104922R.pdf

Рис. 2. Ключевые положения принципов комплексного устойчивого управления азотом[5]

Сформулированы ключевые действия по управлению азотом для разных отраслей:

Сельское хозяйство

1. Повышение эффективности использования азота в растениеводстве
2. Повышение эффективности использования азота в животноводстве
3. Повышение эквивалента азота в органических удобрениях на основе навоза

Транспорт и промышленность

4. Низкоэмиссионные системы сжигания и энергоэффективные системы
5. Технология улавливания и утилизации NO

Отходы и утилизация отходов

6. Повышение эффективности снабжения продуктами питания и сокращение пищевых отходов
7. Переработка азота (и фосфора) из систем сточных вод.

Структуры общественного потребления

8. Энергосбережение и экономия транспортных затрат
9. Снижение потребления человеком животного белка

Специальная сессия конференции была посвящена эффективности использования азота как индикатора воздействия на окружающую среду, определяющего потенциальный экологический риск рассматриваемого объекта. Эффективность использования азота Nitrogen use efficiency (*NUE*) определяется как соотношение количества азота, поступающего на вход системы (машина, ферма, регион), и количества азота в получаемых продуктах на выходе системы.

Рис. 3. Схема трансформации *N*

NUE=Nвых/Nвх может определяется на разных уровнях – на планетарном, национальном, региональном и на уровне фермы; для растениеводства, животноводства, для всей продовольственной цепочки (ферма, транспортировка, торговля, потребление). На конференции были представлены результаты исследований в рамках специальной группы исследователей по NUE [3, 4, 5]. Повышение эффективности использования питательных веществ критически важно, требует не только технологического прогресса, но и улучшения социально-экономических условий. Управление азотом сталкивается с проблемами «слишком много» в развитых странах Европы и Северной Америки и «слишком мало», главным образом в развивающихся странах. Достижение цели в области продовольствия и окружающей среды требует глобального увеличения эффективности использования азота в растениеводстве с 40% до 70%; при этом системные изменения необходимы во всей системе питания.

ИАЭП принимал участие в конференции INI2021 в блоке мероприятий «Устойчивое сельское хозяйство и системы питания», выступив с постером «Оценка потоков азота на местном и региональном уровне при разработке системы управления навозом на крупных животноводческих предприятиях». Организация эффективного использования навоза является основной экологической проблемой животноводства в Ленинградской области, при этом азот навоза считается основным источником загрязнения [6, 7, 8]. Исследование было направлено на определение исходных данных для принятия комплексных решений по управлению навозом животных и птицы, создания централизованной системы управления с целью снижения потерь азота. В качестве показателей использовали значения эффективности использования азота, рассчитываемых на уровне региона и муниципальных районов. На региональном уровне *NUE* составил 34%, а избыток азота - 103 кг *N* га$^{-1}$ год$^{-1}$. В одиннадцати муниципальных районах средний *NUE* составил 59%, средний избыток азота - 39,6 кг *N* га$^{-1}$ год$^{-1}$. Четыре района были определены как «горячие точки» с *NUE* от 1 до 37% и избытком азота от 87 до 3082 кг *N* га$^{-1}$год$^{-1}$. Предложен сценарий перераспределения органических удобрений между «горячими точками» и «экологически чистыми» районами. По результатам исследования опубликована статья в журнале Sustainability [9].

На конференции принята Берлинская декларация об устойчивом управлении азотом для достижения целей устойчивого развития ЦУР (Berlin Declaration on Sustainable Nitrogen Management for the SDG) [10]. Поставлена задача - сократить вдвое азотные отходы из всех источников к 2030 году, что позволит ежегодно экономить 100 миллиардов долларов. Основные рекомендации (выводы):

- Усиление роли научного сообщества в политических процессах, связанных с азотом всех уровней, увеличение финансирования на научные исследования;
- Интегрированный между конвенциями подход; общая, но дифференцированная ответственность;

- Содействие сокращению, восстановлению, повторному использования азота;
- Содействие здоровому питанию, увеличению потребления растительного белка

Выводы

Анализ литературных источников и материалов международной конференции INI2021 показывает, что в настоящее время усилия многих международных организаций, правительств, научного сообщества направлены на создание системы эффективного использования питательных веществ, в частности азота для достижения целей устойчивого развития. Показано, что азот является важнейшим ресурсом для жизнедеятельности человека и одновременно источником загрязнения окружающей среды, в том числе и при производстве сельскохозяйственной продукции.

Главная задача «Глобальной азотной инициативы» - показать как улучшение управления азотом на разных уровнях, разных масштабах всего азотного цикла соответствует требованиям обеспечения качества воды, воздуха, почвы, снижение влияния на климат и биоразнообразие, а также показать социальный и экономических эффект внедрения мер по улучшению питания и обеспечения энергетической безопасности

Подсчитано, что улучшение коэффициента эффективности использования азота на 20% на всей планете приведет к ежегодной экономии около 20 млн. тонн азота, а выгоды за счет улучшения здоровья человека, климата и биоразнообразия оценивается в 170 млрд $ в год.

Разработка и реализация научно обоснованной стратегии управления азотом с целью минимизации экологической нагрузки на природу при максимуме экономического и социального эффекта является актуальной для российских условий, особенно в свете задач обеспечения продовольственной безопасности, модернизации промышленности, интеграции в мировое экономическое сообщество, выполнения международных обязательств по защите окружающей среды.

Для научного обоснования такой стратегии требуются междисциплинарные исследования с целью создания моделей интегральной оценки азота во всей продовольственной цепочке во взаимосвязи воздуха, земли, воды, продуктов питания, энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *The European Nitrogen Assessment* (Sutton. M.A., Ed.). Cambridge University Press: Cambridge, NY, USA, 2011. 664 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.inms.international/european-nitrogen-assessment-ena (дата обращения 20.04.2022)

2. *Sustainable Development Goals*. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sdgs.un.org/goals (дата обращения 20.04.2022 г.)

3. Quemada M., Lassaletta L., Jensen L.S., Godinot O., Brentrup F., Buckley C., Foray, S., Hvid S.K., Oenema J., Richards K.G., Oenema O. Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. *Agric. Syst.* 2020, vol. 177, 102689. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102689.

4. Oenema, O.; Brentrup, F.; Lammel, J.; Bascou, P.; Billen, G.; Dobermann, A.; Erisman, J.W.; Garnett, T.; Hammel, M.; Haniotis, T.; et al. *Nitrogen Use Efficiency (NUE) – Guidance*

Document for Assessing NUE at Farm Level. EU Nitrogen Expert Panel; Wageningen University: Wageningen, the Netherlands, 2016, 49 p.

5. Oenema O., Brentrup F., Lammel J., Bascou P., Billen G., Dobermann A., Erisman J.W., Garnett T., Hammel M., Haniotis T. et al. *Nitrogen Use Efficiency (NUE) – Guidance Document for Assessing NUE at Farm Level.* EU Nitrogen Expert Panel; Wageningen, the Netherlands: Wageningen University, 2016, 49 p.

6. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Минин В.Б. Анализ экологических рисков сельского хозяйства Ленинградской области // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 3 (100). С. 114-121.

7. Зильберман М.В., Черепанов М.В., Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е., Дьяков М.С. Комплексная оценка влияния сбросов загрязняющих веществ объектов негативного воздействия на состояние гидросферы // *Экология урбанизированных территорий*. 2021. №3. Раздел 3.

8. Alyoshin M.A. Evaluation of the effect of biological nitrogen of winter vetch on the background of the aftereffect of nitrogen fertilizer on spring wheat // *Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft (DIZWW).* 2022. №26.

9. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E. Assessment of nitrogen flows at farm and regional level when developing the manure management system for large-scale livestock enterprises in North-West Russia. *Sustainability*, 2021, vol, 13(12), 6614; DOI: 10.3390/su13126614

10. Berlin Declaration on Sustainable Nitrogen Management for the SDGs [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ini2021.com/wp-content/uploads/2021/07/INI2021_Berlin_Declaration.pdf (Дата обращения: 28 04. 2022)

REFERENCES

1. The European Nitrogen Assessment (Sutton M.A., Ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011, 664 p. Available at: https://www.inms.international/european-nitrogen-assessment-ena (accessed 20.04.2022)

2. *Sustainable Development Goals*. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. 2015. Available at: https://sdgs.un.org/goals (accessed 20.04. 2022)

3. Quemada M., Lassaletta L., Jensen L.S., Godinot O., Brentrup F., Buckley C., Foray, S., Hvid S.K., Oenema J., Richards K.G., Oenema O. Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. *Agric. Syst.* 2020, 177: 102689. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102689.

4 Oenema O., Brentrup F., Lammel J., Bascou P., Billen G., Dobermann A., Erisman J.W., Garnett T., Hammel M., Haniotis T. et al. Nitrogen Use *Efficiency (NUE) – Guidance Document for Assessing NUE at Farm Level*. EU Nitrogen Expert Panel; Wageningen, the Netherlands: Wageningen University, 2016, 49 p.

6. Shalavina E.V., Vasil'ev E.V., Minin V.B. Analiz ekologicheskikh riskov sel'skogo khozyaistva Leningradskoi oblasti [Analysis of environmental risks from agriculture in Leningrad Region].

Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2019. No. 3 (100): 114-121 (In Russian)

7. Zilberman M.V., Cherepanov M.V., Pichugin E.A., Shenfeld B.E., Dyakov M.S. Kompleksnaya otsenka vliyaniya sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ob"ektov negativnogo vozdeistviya na sostoyanie gidrosfery [Comprehensive assessment of the influence of discharges of pollutants from objects of negative impact on the state of the hydrosphere]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2021. No. 3, Section 3 (In Russian)

8. Alyoshin M.A. Evaluation of the effect of biological nitrogen of winter vetch on the background of the aftereffect of nitrogen fertilizer on spring wheat // *Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft (DIZWW)*. 2022. No. 26 (In English)

9. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E. Assessment of nitrogen flows at farm and regional level when developing the manure management system for large-scale livestock enterprises in North-West Russia. *Sustainability*, 2021, 13(12): 6614 (In English) DOI: 10.3390/su13126614

10. Berlin Declaration on Sustainable Nitrogen Management for the SDGs. Available at: https://ini2021.com/wp-content/uploads/2021/07/INI2021_Berlin_Declaration.pdf (accessed 28.04.2022)

УДК 631.171 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-13-22

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Э.А. Папушин, канд. техн наук; С.Н. Матейчик
Э.В. Васильев, канд. техн наук;

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

В статье представлена концептуальная модель предметной области оценки диффузного загрязнения водных объектов от сельскохозяйственной деятельности. Это первый этап разработки базы данных и интеллектуальной аналитической программной платформы (ИАПП) экологической безопасности, прогнозирования и управления агроэкосистемами. Анализ предметной области проведен на основе методики оценки биогенной нагрузки от сельскохозяйственных предприятий на неконтролируемые водосборы, разработанной в

ИАЭП-филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. В качестве основного объекта базы данных выступает сущность «Административный район». Эта сущность связана с семью основными группами объектов (сущностей): «Организации», «Технологии воздействия», «Методы регулирования», «Информация для расчета», «Почвы», «Водные объекты», «Точечные контролируемые источники загрязнения». Первые три сущности можно отнести к справочной информации. Показатели, содержащиеся в этих сущностях, необходимы для проведения расчета и полноценного анализа его результатов. Разработанная концептуальная модель позволяет в дальнейшем определить таблицы базы данных, связи между таблицами и требования поддержки целостности данных. На основании диаграммы «сущность-связь» будет разработана логическая структура системы в виде набора связанных таблиц, что необходимо для дальнейшей разработки базы данных и ИАПП для автоматизации расчетов, связанных с оценкой диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты в зависимости от размера рассматриваемого сельскохозяйственного поля, характеристик почвы, объёмов поступления азота и фосфора с удобрениями, уровня используемых технологий, направления сельхозпроизводства и расстояния между полем и ближайшим водным объектом.

Ключевые слова: концептуальная модель; визуальное моделирование; водный объект; диффузное загрязнение.

Для цитирования: Папушин Э.А., Васильев Э.В., Матейчик С.Н. Концептуальная модель предметной области оценки диффузного загрязнения водных экосистем // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.13-23

CONCEPTUAL MODEL OF THE SUBJECT DOMAIN OF DIFFUSE POLLUTION ASSESSMENT OF WATER ECOSYSTEMS

E. A. Papushin, Cand.Sc (Engineering) S.N. Mateichik
E.V. Vasilev, Cand. Sc. (Engineering),

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The article presents a conceptual model of the subject area for assessing the diffuse pollution of water bodies by agricultural activities. This is the first stage in the development of a database and an intelligent analytical software platform for environmental safety, forecasting and management of agroecosystems. The subject area was considered following the methodology for assessing the nutrient load from agricultural enterprises on uncontrolled catchment areas, developed at IEEP - branch of FSAC VIM. The entity “Administrative District” acts as the main object of the database. This entity is associated with seven key groups of objects (entities): “Organizations”, “Influencing technologies”, “Regulation methods”, “Data for calculations”, “Soils”, “Water bodies”, and “Point pollution sources under control”. The first three entities can be attributed to reference information. The indicators they contain are needed for calculations and a whole analysis of the results. The developed conceptual model allows for future defining the database tables, relationships between

tables, and requirements for maintaining the data integrity. Based on the “entity-relationship” diagram, the logical structure of the system will be developed in the form of a set of linked tables. This is a precondition for further development of the database and the analytical software platform for automatic calculations related to the assessment of diffuse pollution from agriculture to water bodies, depending on the size of the considered agricultural field, soil characteristics, nitrogen and phosphorus inputs with fertilisers, the level of technology used, the direction of agricultural production, and the distance between the field and the nearest water body.

Key words: conceptual model; visual UML modelling; water body; diffuse pollution.

For citation: Papushin E.A., Vasilev E. V., Mateichik S.N. Conceptual model of the subject domain of diffuse pollution assessment of water ecosystems. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 13-23 (In Russian)

Введение

Диффузное загрязнение водных экосистем – это рассредоточенное по водосборной территории загрязнение от неточечных источников. Наиболее распространёнными неточечными источниками диффузного загрязнения являются сельскохозяйственные угодья, а веществами загрязнителями – азот и фосфор [1]. Загрязнение азотом и фосфором зависит от многих факторов: климатических условий, типа почв, удалённости сельскохозяйственных полей от водных объектов и агротехнических факторов [2,3]. Управление возможно только агротехническими факторами, поэтому их влияние на загрязнение представляет наибольший практический интерес.

Исследуемые процессы диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты [4]- это, прежде всего, совокупность поступления в водный объект биогенных веществ от диффузных источников:□поверхностный сток;□эрозия;□грунтовые воды;□почвенные воды;□дренажные воды;□осаждение из атмосферы. Многообразие информации, характеризующей и описывающей диффузное загрязнения и их протекание, требует ее детализации.

До начала разработки программных продуктов для оперативной аналитической обработки данных необходимо представить модель предметной области для разрабатываемой базы данных и определить ее границы. Это позволит более полно использовать в дальнейшем необходимую информацию для поддержки принятия решений.

База данных является составной частью ИАПП, предполагающей не только хранение данных, но и их обработку.

Цель исследования – исследовать информационную структуру предметной области диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты и построить концептуальную модель его оценки.

Материалы и методы

Перед разработкой концептуальной модели оценки диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты необходимо выполнить следующие задачи:

- обследовать предметную область, изучить ее информационную структуру;
- выделить информационные объекты и связи между ними;

По окончании этапа концептуального проектирования базы данных получена концептуальная модель, инвариантная к структуре базы данных.

Предметная область разрабатываемой базы данных достаточно обширная, поэтому ее необходимо разбить на ряд локальных предметных областей. В данной статье рассматривается та область, которая связана с оценкой (обработкой данных).

Анализ предметной области оценки диффузного загрязнения проведен на основе методики биогенной нагрузки на неконтролируемые водосборы, сформированной сельскохозяйственными предприятиями разработанной в ИАЭП [1].

Нагрузка, сформированная на полях сельхозпредприятий L_{agr} (т/год), рассчитывается отдельно по азоту и фосфору по формуле:

$$L_{agr} = \sum_i A_i (M_{soili} K_1 + (\alpha_1 M_{\min i} + \alpha_2 M_{orgi}) K_6) K_2 K_3 K_4 K_5 / 100 \quad (1)$$

– где A_i - площадь угодий i–го сельхозпредприятия [га]; α_1 – коэффициент, учитывающий усвоение минеральных удобрений сельхозкультурами; α_2 – коэффициент, учитывающий усвоение органических удобрений сельхозкультурами; K_1 – коэффициент, учитывающий эмиссию азота (фосфора) из почвенных запасов; K_2 – коэффициент, учитывающий удалённость сельскохозяйственных угодий от водных объектов и водность года; K_3 – коэффициент, учитывающий тип почв; K_4 – коэффициент, учитывающий механический состав почв; K_5 - коэффициент по типу сельхозпредприятия, учитывающий структуру сельхозугодий (соотношение площадей пашни, многолетних травы, лугов, пастбищ и т.д.); K_6 - коэффициент, учитывающий соответствие технологий применения органических и минеральных удобрений наилучшим доступным технологиям; M_{soili} – общее содержание азота (фосфора) в почве, кг/га; M_{mini} - масса азота (фосфора), поступившая с мин. удобрениями, кг/га; M_{orgi} - масса азота (фосфора), поступившая с орг. удобрениями, кг/га

Выход навоза, а также содержание общего азота и фосфора в нём определяется в соответствии с РД-АПК 1.10.15.02-17 «Методическими рекомендациями по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета», утвержденных Министерством сельского хозяйства и с учётом методики оценки выхода навоза, разработанной в ФГБНУ ИАЭП [4 - 6].

Требования к разрабатываемому блоку интеллектуальной аналитической платформы преобразованы в форму, которую можно легко понять и реализовать. На основе этих требований будет сгенерирован код. Формально преобразование требований в код гарантирует их соответствие друг другу, а также предоставляет возможность в любой момент вернуться от кода к породившим его требованиям. Этот процесс называется моделированием.

При разработке концептуальной модели «Оценки диффузного загрязнения водных экосистем» использован метод визуального моделирования.

Визуальное моделирование – это процесс графического представления модели с помощью некоторого стандартного набора графических элементов.

Унифицированный язык моделирования (UML) - своего рода вариант чертежа принятый в индустрии информационных технологий. Это метод детального описания архитектуры системы. С помощью такого чертежа легче создавать и сопровождать систему, вносить в нее требуемые изменения.

Rational Rose представляет собой один из немногих инструментов, обеспечивающих быструю разработку приложений с использованием языка UML. В нем отражен универсальный стандартизированный подход к построению моделей, позволяющий моделировать логику приложений, моделировать взаимодействие между пользователем и системой, взаимодействие объектов внутри системы [7-9].

Результаты и обсуждение

В результате изучения информационной структуры предметной области диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты был определен перечень сущностей (таблица 1).

В качестве основного объекта базы данных выступает сущность «Административный район». Эта сущность связана с 7 основными группами объектов (сущностей): «Организации», «Технологии воздействия», «Методы регулирования», «Информация для расчета», «Почвы», «Растительный покров», «Водные объекты», «Точечные контролируемые источники загрязнения». Первые три сущности можно отнести к справочной информации. Показатели, содержащиеся в этих сущностях необходимы для проведения расчета и полноценного анализа его результатов.

Таблица 1

Перечень сущностей

№	Название сущности	Данные
1	«Угодья»	Список и структура сельхозугодий в организации
2	«Технологии воздействия»	Данные о применяемых технологиях
3	«Севооборот»	Данные о возделываемых культурах
4	«Методы ведения хозяйственной	Данные о методах ведения хозяйственной деятельности
5	«Организации»	Список сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств, личные подсобные
6	«Точечные источники загрязнения»	Перечень точечных источников загрязнения
7	«Водные объекты»	Список водоемов расположенных в административных районах
8	«Почвы»	Данные по почвам
9	«Расчет»	Расчет текущих значений различных параметров диффузного загрязнения водных объектов
10	«Административный	Перечень административных районов

Таким образом, результат исследования предметной области диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты представлен в виде укрупненной концептуальной

модели предметной области - диаграммы вариантов использования высокого уровня, на которой указаны только пакеты (группы) вариантов использования (рис. 1).

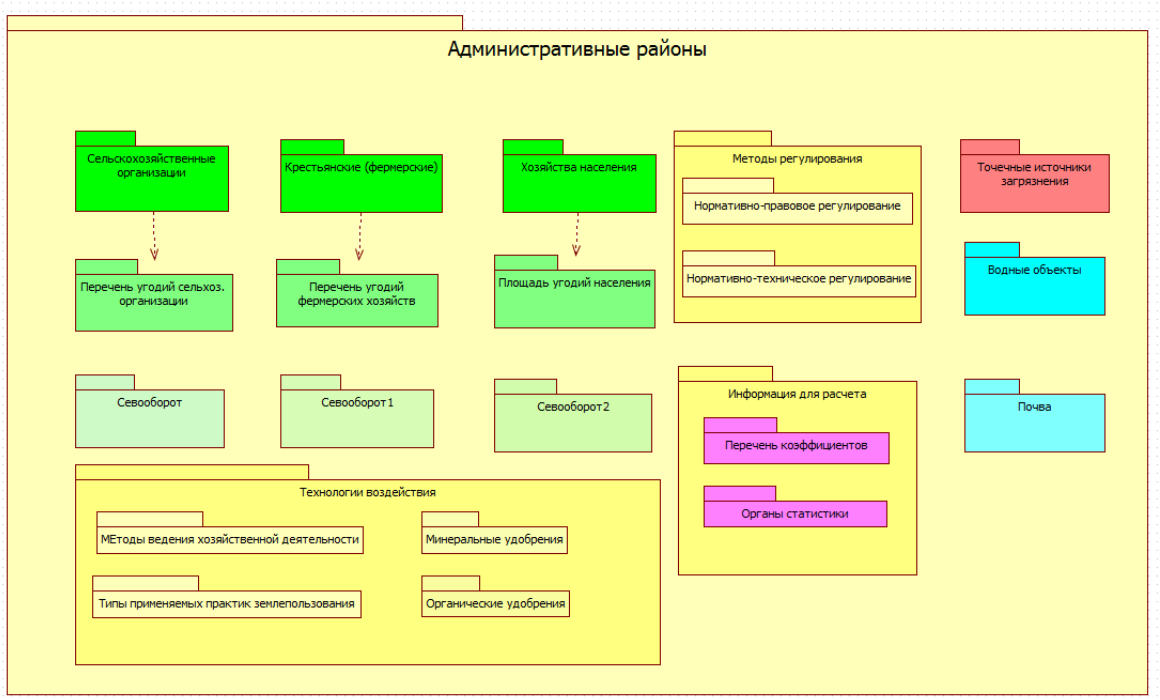

Рис. 1. Концептуальная модель предметной области оценки диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты.

Модель является основой для разработки информационной системы «Оценки диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты». База Данных «Диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты» является ее составной частью.

На основании исследуемых данных была разработана «Диаграмма вариантов использования» для оценки диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты. Вариант использования - это последовательность действий, которые выполняет система в ответ на событие, инициируемое некоторым внешним объектом. Действующее лицо – это роль, которую пользователь играет по отношению к системе. Действующие лица представляют собой роли, а не конкретных людей или наименования работ. Действующее лицо может также быть внешней системой, которой необходима некоторая информация от данной системы. Чтобы наглядно представить варианты использования в процессе разработки программного обеспечения применяют диаграммы вариантов использования. На такой диаграмме человеческие фигурки обозначают действующих лиц, линии и стрелки – различные связи между действующими лицами и вариантами использования. Отдельный вариант использования обозначается на диаграмме эллипсом, под которым содержится его краткое название или имя в форме глагола с пояснительными словами (рисунок 2).

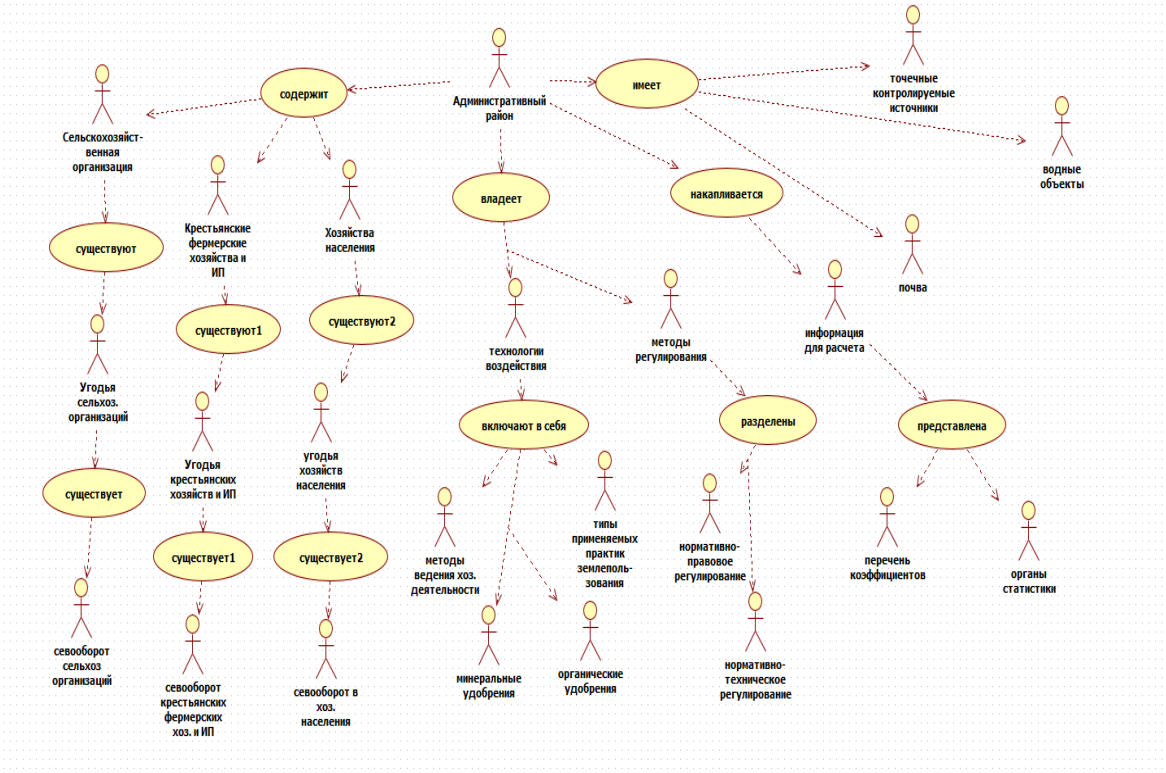

Рис. 2. Диаграмма вариантов использования оценки диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты

Варианты использования предназначены для моделирования процессов и требований к создаваемой системе, и дают возможность понять, что будет делать система. Вариант использования, по сути, основной элемент разработки и планирования проекта. Конкретная цель Диаграмм Вариантов Использования – это документирование вариантов использования (все, входящее в сферу применения системы), действующих лиц (все вне этой сферы) и связей между ними.

Перечень связей между объектами (варианты использования).

1. В административном районе содержатся сельскохозяйственные предприятия.
2. В административном районе содержатся крестьянские (фермерские) хозяйства и ИП.
3. В административном районе содержатся личные подсобные хозяйства.
4. В сельскохозяйственной организации существуют угодья.
5. В крестьянских (фермерских) хозяйствах и ИП существуют угодья.
6. В личных подсобных хозяйствах существуют угодья.
7. В сельскохозяйственном предприятии существует севооборот.
8. В крестьянских (фермерских) хозяйствах и ИП существует севооборот.
9. В личных подсобных хозяйствах существует севооборот.
10. В административном районе существуют технологии воздействия.
11. В административном районе существуют методы регулирования.
12. Технологии воздействия включают в себя методы ведения хозяйственной деятельности.
13. Технологии воздействия включают в себя типы применяемых практик землепользования.
14. Технологии воздействия включают в себя минеральные удобрения.

15. Технологии воздействия включают в себя органические удобрения
16. Методы регулирования разделены на нормативно-правовое регулирование.
17. Методы регулирования разделены на нормативно-техническое регулирование.
18. В административном районе накапливается информация для расчета диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты.
19. Информация для расчета представлена перечнем коэффициентов.
20. Информация для расчета представлена органами статистики.
21. Административный район имеет водоемы.
22. Административный район имеет почвы.
23. Административный район имеет точечные (контролируемые) источники.

Выводы

Разработанная концептуальная модель позволяет в дальнейшем определить:

- таблицы базы данных;

-связи между таблицами;

-требования поддержки целостности данных.

На основании диаграммы вариантов использования будет разработана логическая структура будущей ИАПП в виде набора связанных таблиц.

Предложенная концептуальная модель имеет практическую значимость и будет использована в дальнейшем для разработки базы данных и ИАПП, реализующей оценку диффузного загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты и использования в целях инженерной экологии для оценки и прогнозирования биогенного загрязнения от сельскохозяйственных полей, для выбора наиболее рациональной технологии внесения удобрений, для определения влияния доз внесения удобрений на уровень загрязнения водных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С., Огуздин А.С., Субботин И.А. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2016. № 89. С. 175-183.

2. Минакова Е.А., Шлычков А.П., Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю. Влияние сельского хозяйства на формирование биогенной нагрузки Куйбышевского водохранилища / *Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития*. Сб. науч. тр. по материалам Международной научной экологической конференции (24-26 марта 2020 г., Краснодар). Сост. Л. С. Новопольцева. Под ред. И.С. Белюченко. Краснодар: КубГАУ. 2020. С. 61-63.

3. Поздняков Ш.Р., Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Игнатьева Н.В., Шмакова М.В., Минакова Е.А., Расулова А.М., Обломкова Н.С., Васильев Э.В., Терехов А.В. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших

доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования). *Водные ресурсы*. 2020. Т. 47. № 5. С. 588-602.

4. Barrows H.L., Kilmer V.J. Plant nutrient losses from soil by water erosion // *Advances in Agronomy* 1963. Vol.15, pp. 303-316.

5. Брюханов А.Ю. Рекомендации по обоснованию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий // *Перспективы инновационного развития агропромышленного комплекса и сельских территорий”*. Материалы для обсуждения Международного Агропромышленного конгресса. СПб: ООО “ЭФ-Интернэшнл”. 2014. С. 48-49.

6. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета // *Молочнохозяйственный вестник*. 2014. № 1 (13). С. 78-85.

7. Вендров А. М. *Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем*: учебник. М.: Финансы и статистика, 2005. 543 с.

8. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. М., СПб.: ДМК Пресс, ПИТЕР, 2004. 432 с.

9. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж. UML. Серия «Классика CS». 2-е изд. / Под общей редакцией проф. С. Орлова. СПб: ПИТЕР, 2006. 736 с.

REFERENCES

1. Briukhanov A.Yu., Kondratiev S.A., Oblomkova N.S., Oguzdin A.S., Subbotin I.A. Metodika opredeleniya biogennoi nagruzki sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva na vodnye ob"ekty [Calculation method of agricultural nutrient load on water bodies]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produk-tsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2016. No. 89: 175-183 (In Russian)

2. Minakova E.A., Shlychkov A.P., Kondratyev S.A., Bryukhanov A.Yu. Vliyanie sel'skogo khozyaistva na formirovanie biogennoi nagruzki Kuibyshevskogo vodokhranilishcha [Influence of agrolandscapes on formation of biogenic load of the Kuibyshev Reservoir]. *Agrarnye landshafty, ikh ustoichivost' i osobennosti razvitiya* [Agrarian landscapes, their sustainability and features of development]. Coll.of Sci. Papers of Int, Sci. Ecol. Conf. (24-26 March 2020, Krasnodar). Sost. L. S. Novopol'tseva. Pod red. I.S. Belyuchenko. Krasnodar: KubGAU. 2020. S. 61-63.

Agrarian landscapes, their sustainability and features of development. Sat. scientific tr. Based on the materials of the International Scientific Ecological Conference (March 24-26, 2020, Krasnodar). Complier L. S. Novopoltseva. Ed. I.S. Belyuchenko. Krasnodar: KubSAU. 2020: 61-63 (In Russian)

3. Pozdnyakov Sh.R., Bryukhanov A.Yu., Kondrat'ev S.A., Ignat'eva N.V., Shmakova M.V., Minakova E.A., Rasulova A.M., Oblomkova N.S., Vasilev E.V., Terekhov A.V. Perspektivy sokrashcheniya vynosa biogennykh elementov s rechnykh vodosborov za schet vnedreniya nailuchshikh dostupnykh tekhnologii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva (po rezul'tatam

modelirovaniya) [Perspectives of the reduction of nutrient export from river watersheds through the introduction of best available technologies for agricultural production: based on modeling results]. *Water Resources*. 2020. Vol. 47. No. 5: 771-784 (In English)

4. Barrows H.L., Kilmer V.J. Plant nutrient losses from soil by water erosion. *Advances in Agronomy* 1963. Vol.15: 303-316.

5. Bryukhanov A.Yu. Rekomendatsii po obosnovaniyu ekologicheski bezopasnogo razmeshcheniya i funktsionirovaniya zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh predpriyatii [Recommendations for justifying the environmentally friendly placement and operation of livestock and poultry enterprises]. *"Perspektivy innovatsionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i sel'skikh territorii".* Materialy dlya obsuzhdeniya Mezhdunarodnogo Agropromyshlennogo kongressa [Prospects for innovative development of agro-industrial complex and rural territories. Materials for discussion of Int. Agro-Industrial Cong.]. Saint Petersburg: EF- International Publ. 2014: 48-49 (In Russian)

6. Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasil'ev E.V. Metodika ukrupnennoj ocenki sutochnogo i godovogo vyhoda navoza/pometa [Methodology of integrated estimation of daily and annual output of animal/poultry manure]. *Molochnohozyajstvennyj vestnik*. 2014; 1 (13): 78-85 (In Russian)

7 Vendrov A. M. *Proektirovanie programmnogo obespecheniya ekonomicheskikh informatsi-onnykh sistem: uchebnik* [Designing software for economic information systems: textbook]. Moscow: Finansy i statistika, 2005. 543 p. (In Russian)

8 Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I. *The Unified Modeling Language User Guide*. Reading, Mass., USA: Addison-Wesley, 1999, 512 p. [Russ. ed: Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I.. *Yazyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya* . Moscow, Saint Petersburg: DMK Press Publ., Piter Publ., 2004. 432 p.]

9. Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. UML. Seriya «Klassika CS» [The unified modelling language. Classical Computer Science Series]. (Ed. S. Orlov). Saint Petersburg: PITER, 2006. 736 p. (In Russian)

УДК 58.02: 573.7 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-22-41

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БИОИНДИКАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ ПО РАСТЕНИЯМ СО СПИРАЛЬНЫМ ФИЛЛОТАКСИСОМ

С.А. Ракутько, д-р техн.наук; Е.Н. Ракутько;
А.П. Мишанов; А.Е. Маркова, канд.с.–х. нау
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Важной задачей биомониторинга является определение качества среды, показателем которого может служить стабильность развития растений в агроэкосистеме. Как

чувствительные биоиндикаторы, растения позволяют оценивать состояние агроэкосистемы в целом, с позиции целенаправленно выращиваемых культур. Численной оценкой стабильности развития является величина флуктуирующей асимметрии. Проведенный аналитический обзор показал, что метод флуктуирующей асимметрии с успехом находит применение для исследования стабильности развития широкого круга видов растений. По данному методу из пространственно-разнесенных органов (или их частей) растения выбирается билатеральная структура, геометрическая симметричность которой дает основание полагать равенство значений измеряемых билатеральных признаков. В исследовании в качестве билатеральной структуры принята вторая пара настоящих листьев перца в возрасте 30 дней после всходов. Листья имеют расположение в спиральном филлотаксисе близкое к оппозитному. В качестве билатеральных признаков принимали длину и ширину листьев, и содержание в них хлорофилла. Исследования проводили по четырем выборкам растений: с правой и левой изомерией, получивших или нет стрессовое воздействие. Обнаружено, что направленность асимметрии отсутствует только у ширины листьев растений с правосторонней спиралью. Выявлена размер–зависимость ряда признаков. Для признака содержания хлорофилла выявлена антисимметрия. Все признаки существенно коррелированы между собой. Различия средних величин вычисленной флуктуирующей асимметрии статистически значимо только у изомеров по содержанию хлорофилла в листьях. Исследование подтвердило необходимость тщательного выбора билатеральной структутры. Пары листьев, находящиеся в филлотаксисе даже практически оппозитно, формируются достаточно различными, и их использование в биоиндикации может быть затруднено.

Ключевые слова: агроэкосистема, растение, биоиндикация, лист, филлотаксис, билатеральная структура, билатеральные признаки, зеркальная симметрия, флуктуирующая асимметрия, стабильность развития

Для цитирования: Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. Исследование возможности биоиндикации агроэкосистем по растениям со спиральным филлотаксисом // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.22-42

STUDY INTO THE FEASIBILITY OF BIOINDICATION OF AGROECOSYSTEMS BY PLANTS WITH SPIRAL PHYLLOTAXIS

S.A. Rakutko, DSc (Engineering); A.E. Markova Cand. Sc. (Agriculture)
A.P. Mishanov, E.N. Rakutko,

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

An important task of biomonitoring is to determine the environmental quality, with the developmental stability of plants in the agroecosystem as a potential indicator. Being sensitive bio-indicators, the plants allow estimating the state of the agroecosystem as a whole with regard to the target-cultivated crops. A numerical measure of developmental stability is the value of fluctuating asymmetry. From the analytical review, researchers apply the fluctuating asymmetry method to

investigate the developmental stability of a wide range of plant species. According to this method, they select a bilateral structure from the plant organs or their parts separated in space, with their geometric symmetry suggesting that the values of the measured bilateral traits are equal. In this study, we took the second pair of true pepper leaves at the age of 30 days after emergence as a bilateral structure. The arrangement of leaves was in spiral phyllotaxis close to the opposite. The bilateral traits were the leaf length, width, and chlorophyll content. The study regarded four samplings of plants: with right and left isomerism, with or without stress. The study found that the direction of asymmetry was not in place only in the leaf width of plants with a right-handed spiral. The study revealed the size-dependence of some features and the antisymmetry for the chlorophyll content trait. All traits significantly correlated with each other. Differences in the average values of the calculated fluctuating asymmetry were statistically significant only for isomers in terms of the leaf chlorophyll content. The study confirmed the need for careful selection of the bilateral structure. Pairs of leaves that are in phyllotaxis, even almost opposite, are formed quite different, and their use in bioindication can be difficult.

Keywords: agroecosystem, plant, bioindication, leaf, phyllotaxis, bilateral structure, bilateral traits, mirror symmetry, fluctuating asymmetry, developmental stability

For citation: Rakutko S.A., Mishanov A.P., Rakutko E.N., Markova A.E. Study into the feasibility of bioindication of agroecosystems by plants with spiral phyllotaxis. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2 (111): 22-42(In Russian).

Введение

Агроэкосистемы являются источником получения необходимой для населения сельскохозяйственной продукции с требуемым уровнем урожайности. Концепция активного противодействия внешним воздействиям или возмущениям реализуется в понятии устойчивости агроэкосистем. Составной частью явления устойчивости является стабильность развития складывающейся в агроэкосистеме популяции как способность ее членов к адаптации в онтогенезе. Актуальным вопросом здесь является влияние аграрных технологии на стабильность развития, при обеспечении достаточно высокой продуктивности, обеспечению экологичности производства и энергоэффективности технологических процессов [1]. Определение стабильности развития растений как ответной приспособительной реакции при изменении условий среды естественного или антропогенного происхождения является одной из задач биомониторинга. Стабильность развития характеризует способность организма поддерживать траекторию развития в определенных границах, возможность нейтрализации внешних и внутренних стрессовых воздействий.

Растения ассимилируют вещества одновременно из двух сред (почвы и воздуха). В закрытых агроэкосистемах (теплицы, сити–фермы) происходит трансформация потоков энергии. Поэтому растения являются весьма чувствительными биоиндикаторами состояния окружающей среды, позволяющими оценивать весь комплекс воздействий, состояние агроэкосистемы в целом, интегрально, с позиции целенаправленно выращиваемых культур.

Сельскохозяйственные культуры наиболее адекватно индицируют экологический эффект производимых в агроэкосистеме мероприятий, с возможностью выделения на фоне общего воздействия конкретного фактора, влияющего на качество среды. Такие воздействия

оказывают влияние на строение морфологических структур (билатеральных структур, БС), в норме обладающих билатеральной симетрией, что проявляется в отклонении их от видовой нормы. Сельскохозяйственные культуры характеризуются чистотой генотипа и гомозиготностью, что делает их удобным обьектом исследования по влиянию стресса на стабильность развития.

Изменения качества среды влияют на стабильность развития растений, численной оценкой которой может служить величина флуктуирующей асимметрии (ФА). Последняя отражает незначительные, ненаправленные отклонения от строгой симметрии под воздействием комплекса факторов.

Частотная гистограмма величины ФА представляет собой нормальное распределение встречаемости величин разностей между размерами правого и левого признаков. Направленная асимметрия и антисимметрия в целях биоиндикации используются меньше, т.к. они проявляют свойства, определяемые генотипом. Поэтому необходимо проведение ряда статистических проверок выбранного набора признаков, что бы определить флуктуирующий характер наблюдаемой асимметрии.

Несмотря на противоречивость мнений, стабильность развития на основе величины ФА продолжает оставаться интересной популяционной характеристикой, объединяющей свойства генотипа и его реакции на факторы внешней среды [2].

Цель работы – экспериментально получить исходные данные об асимметрии признаков листьев, имеющих расположение в спиральном филлотаксисе близкое к оппозитному и проверить гипотезу о флуктуирующем характере асимметрии таких листьев.

Работа вносит вклад в создание банка данных по флуктуирующей асимметрии сельскохозяйственных культур и в определение возможности использовать коэффициент флуктуирующей асимметрии для оценки применяемых агротехнологических приемов по стабильности развития культур.

Аналитический обзор используемых билатеральных структур

Итак, ФА характеризуется статистически значимым ненаправленным отклонением от строгой билатеральной симметрии парных симметричных признаков – билатеральных признаков (БП). У растений ими являются проводящие сосуды в листовой пластине, линейные расстояния или углы между различными элементами листовой пластины, количественные признаки. В набор таких признаков могут входит параметры, характеризующие физиологическое состояние ткани листа. Определение состава признаков в каждом конкретном случае является важнейшей задачей рассматриваемого метода. В экологических исследованиях накоплено достаточно материала в области стабильности развития дикорастущих, главным образом древесных растений, как биоиндикаторов стресса. Фактически стандартом стал набор измеряемых БП у листа березы повислой (*Betula pendula*). Это вид повсеместно встречается, обладает чёткими признаками листовой пластинки и широко используется в работах отдельных исследователей. Учитываемыми БП являются: 1) ширина левой и правой половинок листа; 2) расстояние от основания до конца жилки второго порядка, второй от основания листа; 3) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4) расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка; 5) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой

второго порядка. Все эти БП обычно удовлетворяют требованиям статистических проверок на классификацию наблюдаемой асимметрии листа как флуктуирующей [3].

Все или большинство признаков набора часто используются и для других биоиндикаторов. Так, аналогичная система БП использовалась для листа яблони (*Malus*) при оценке состояния популяций отдельных видов растений. Статистический анализ показал соответствие требованиям статистических проверок для всех БП. Использование возможности метода ФА листа яблони различных генотипов и происхождения позволило выявить ответные реакции изучаемых сортов на действие ряда экологических факторов окружающей среды. Разработанная на основании показателей ФА листа пятибалльная шкала оценки состояния яблони может служить для мониторинга экологического благополучия определенной территории возделывания культуры, а культуру яблони считать биоиндикатором для ее многочисленных сортов [4].

Те же БП использовали для листа липы мелколистной (*Tilia Cordata L.*) при определении уровня ФА в зависимости от состояния окружающей среды района произрастания. Показаны особенности флуктуирующей асимметрии листа липы. Выявлены особенности распределения количественных показателей пяти признаков листа. Анализ изменчивости признаков листовой пластинки выявил высокую степень близости результатов, однотипность выборок в пределах популяции и их отличия в межпопуляционном плане [5].

Близкий к стандартному набор БП использовали для листа клена белого (*Acer Pseudoplatanus L.),* при исследовании уровня ФА в зависимости от интенсивности движения автотранспорта в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации. Набор БП включал: 1) расстояние между точками начала и окончания первой жилки (нумерацию и измерения жилок проводили, начиная с базальной части листовой пластинки); 2) то же, второй жилки; 3) расстояние между точками окончания первой и второй жилок; 4) то же, второй и средней жилок; 5) расстояние от середины средней жилки до края листовой пластинки (по линии, перпендикулярной средней жилке); 6) угол между первой и второй жилками; 7) угол между второй и средней жилками. Не прошли статистическую проверку первый и пятый признаки. Максимальное значение показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена белого характерно для придорожных территорий с максимальной интенсивностью движения автотранспорта. В значение интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластинок различные признаки вносят различный долевой вклад: максимальное долевое участие в результирующее значение вносят флуктуации значений шестого признака [6].

При изучении вопросов антропогенного стресса использовали лист клена остролистного (*Acer Platanoides*). Это широко распространенное в европейской части России растение, требовательное к почве и иным условиям факультативный гелиофит. Несмотря на то, что он используется как биоиндикатор реже других древесных пород, морфологическая изменчивость его листовых пластинок становится все более привлекательной для биоиндикационных исследований. Для популяций клена остролистного характерна высокая доля генотипической изменчивости в виде направленной асимметрии и ассоциированное с ней проявление фенотипической изменчивости в виде флуктуирующей асимметрии. Использовали следующие БП: 1) расстояние от вершины максимальной лопасти до средней жилки; 2) расстояние от верхней впадины максимальной лопасти до средней жилки; 3)

длина максимальной лопасти; 4) расстояние между верхней и нижней впадинами максимальной лопасти; 5) расстояние от нижней впадины максимальной лопасти до средней жилки; 6) угол между главной жилкой (центральной) и основной жилкой максимальной лопасти. Все они прошли статистическую проверку [7].

Для выявления влияния степени экологической загрязненности исследовали морфометрические (методом ФА) и физиологические (функциональная активность фотосистемы II фотосинтетического аппарата листьев) показатели листьев древесного растения – каштанолистного дуба (*Quercus castaneifolia C. A. Mey*). На основе полученных результатов сделан вывод о том, что растение может быть использовано для экспресс–диагностики качества среды, так как исследуемые морфо–физиологические параметры проявляют чувствительность к стрессовым воздействиям среды. В качестве БП (прошедшего статистическую проверку) использовали максимальные расстояния от главной жилки до края листовой пластинки [8].

Проведена оценка комфортности среды методом биоиндикации по значению флуктуирующей асимметрии листовых пластин дуба черешчатого (*Quercus Robur* L.) по стандартному набору БП. Выявлено, что только асимметрия ширины правой и левой частей листа является флуктуирующей. Разработана шкала оценки комфортности среды обитания, рекомендованная при проведении мониторинга состояния геосистем [9].

Использовали листья представителей рода черемуха (*Padus)* при исследовании влияния автотранспорта. Ширину левой и правой половинок листовой пластинки измеряли дважды, на расстоянии половины ее длины и на уровне основания третьей жилки второго порядка. В систему признаков включены расстояния между основанием второй и третьей жилок второго порядка до вершины листовой пластинки. Дополнительно измеряли расстояние между основанием третьей жилки второго порядка до вершины листовой пластинки. Длины жилок второго порядка и расстояние между их концами не учитывали, так как данные показатели четко не фиксировались. Статистическая оценка асимметрии как флуктуирующей не проводилась, однако выявлено, что величина ФА возрастает с уменьшением расстояния до транспортного потока и повышением его интенсивности [10].

С целью усовершенствования метода биоиндикации загрязнения окружающей среды проведено сравнительное исследование ФА отдельных листьев и пар супротивных листьев сирени венгерской (*Syringa josikaea Jacq*).

Авторы отмечают, что негативное влияние неблагоприятных факторов на стабильность развития минимально пространственно разделенных БС (пары веточек верхушки) было наименьшим, а реакция на стрессор самой большой пары веточек, пространственно наиболее отдаленных друг от друга в организме, была максимальной. Авторы рекомендуют использование ширины целых супротивных листьев пары [11].

Использовали ФА листьев осины обыкновенной (*Populus Tremula)* как показателя изменения гомеостаза. В качестве БП использовали длины вторых жилок второго порядка. Отмечается, что при действии исследуемого фактора у листьев осины менялся тип симметрии признака, т.е. появилась направленная асимметрия [12].

Кроме лиственных растений, предложено использовать в качестве дополнительного критерия в биоиндикационной оценке качества среды индекс ФА хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.).* Большой интерес экологов к этому растению в качестве биоиндикатора вызывает и ряд ее особенностей: большая продолжительность жизни, площадь контакта с окружающей средой, высокая чувствительность к элементам–токсикантам. В качестве БП используют длины хвоинок в паре. Анализ корреляций показал, что значение ФА увеличивается по мере усиления антропогенной нагрузки, связанной с уровнем автотранспортной нагрузки и наличием промышленного объекта. Величина ФА имеет тесные положительные связи с интегральными показателями полиметаллического загрязнения системы «почва — растение», которое связано с высокой антропогенной нагрузкой (выбросами автотранспорта и промышленных объектов). Не выявлено статистически значимых корреляционных связей между ФА и климатическими показателями — среднегодовой температурой и среднегодовыми осадками [13].

Использования ФА в биоиндикации не ограничивается древесными растениями. Проведено исследование ФА листьев сныти (*Aegopodium Podagraria*), произрастающей в естественных условиях при различной освещенности. В качестве БП использовали площади отдельных листочков сложного листа, симметричные относительно его главной жилки. Все три пары листочков демонстрировали асимметрию флуктуирующего характера. Выявлено, что исследуемые БС по–разному реагируют на условия освещенности. Для растений, выросших в тени и на открытой площадке ФА площадей отдельных пар листочков различались в пределах 14…28% [14].

Традиционно биоиндикационный анализ при оценке качества среды по стабильности развития растений используется для природных экосистем. Информации о применении таких методик для агроэкосистем значительно меньше. Так, исследовали воздействие, оказываемое сельскохозяйственной деятельностью на стабильность развития озимой и яровой пшеницы (*Triticum*). В качестве БП принимали ширину левой и правой половинок листа от главной жилки в средней части листа. Было показано, что при оценке значений ФА следует учитывать сортовые особенности сельскохозяйственных культур. Для менее пластичных и с более коротким сроком вегетации сортов пшеницы отклонения от средних могут доходить до 20% [15].

При определении ФА различных сортов картофеля (*Solanum Tuberosum*) в полевых условиях в качестве БП использовали первую и вторую от верхушечного листа пары листочков. Асимметрия длин листочков обоих пар обладала флуктуирующим характером. Установлена различная стабильность развития сортов картофеля и ее изменение под действием исследуемого органо –минерального комплекса [16].

Исследовали стабильность развития клевера лугового (*Trifolium Praténse L.*) в условиях агроэкосистем. У среднего и бокового листочков определяли: 1) длину хорды на среднем листочке; 2) длину супротивных боковых листочков; 3) ширину супротивных боковых листочков; 4) длину хорды на каждом из боковых листочков; 5) ширину хорды на каждом из боковых листочков. Флуктуирующий характер показала асимметрия всех, кроме пятого, признаков. Отмечена повышенная асимметрия в условиях противоэрозионного типа обработки почвы с глубоким рыхлением, а так же при комбинированной энергосберегающей обработке почвы [17].

По ФА листьев фасоли обыкновенной (*Phaseolus Vulgaris* L.) исследовали влияние тяжелых металлов на стабильность развития растения. В качестве БП принимали длины центральных жилок двух боковых листочков всех сложных листьев растений. Все БП удовлетворяли статистической проверке на ФА. Показатели ФА не различались для растений, выращенных в почве содержащей и не содержащей избыточные концентрации ионов свинца или кадмия [18].

У гороха посевного (*Pisum sativum L.*) по сравнению со стандартным набором БП у правого и левого листочков третьего листа производили угловые измерения между центральной жилкой и нижним краем листа, а так же первой снизу жилкой второго порядка. Найдено, что признаки правого листочка имеют асимметрию флуктуирующего характера. Найдено, что при действии свинца на горох в условиях эксперимента уменьшение ФА обусловлено процессами фенотипической адаптации у гороха. Вероятно, использованная доза свинца приводила к повышению активности защитных систем растения, которое не только компенсировало токсическое действие металла, но и увеличивало стабильность морфогенеза листа [19].

Практически не представлены в научной литературе исследования по оценке стабильности развития растений в закрытых агроэкосистемах. Ряд исследований в этой области проведен в лаборатории энергоэкологии светокультуры ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Санкт–Петербург).

Так, исследовали стабильность развития взрослых растений томата (*Solanum Lycopersicum*) в теплице под источниками света с различным спектром. Определяли уровень ФА в зависимости от спектра (натриевые лампы и светодиоды) и сорта томата (Бользано и Энкоре). В качестве БП использовали ближние к верхушке сложного листа томата листочки. Измеряли длины листочков и содержание хлорофилла в них. Выявлено, что их асимметрия носит флуктуирующий характер. Тип источника света практически не оказал влияния на флуктуирующую асимметрию по содержанию хлорофилла для томата сорта Бользано. Однако для этого же сорта флуктуирующая асимметрия по длине листа имела статистически значимое различие. Под натриевыми лампами для этих двух сортов большее различие по уровню флуктуирующей асимметрии наблюдалось для содержания хлорофилла в листьях. Для длины листьев это различие было меньше [20].

У выгоночной петрушки (*Petroselinum*) исследовали уровень ФА в зависимости от спектра излучения источников света по длинам черешков первого порядка, отходящих от рахиса и черешков второго порядка, отходящих от первого черешка первого порядка. Выявлено, что их асимметрия носит флуктуирующий характер. Статистически достоверно у растений, выращенных под светодиодами, по сравнению с натриевыми лампами наблюдалась меньшая масса и длина листьев. Уровень ФА при этом был больший [21].

Исследовали зависимость ФА от спектра и его корреляцию с продуктивностью растения ювенильных растений кабачка (*Cucurbita pepo*). В качестве БП измеряли длины и ширины семядолей, а так же их оптические плотности в RGB диапазонах. Выявлено, что асимметрия носит флуктуирующий характер только для длин семядолей. Статистически достоверно при увеличении доли дальне-красного излучения с 3,0% до 26,7% от энергии ФАР величина ФА

уменьшается на 29,3%. При этом наблюдается увеличение биометрических показателей – массы растения на 1,3%, длины настоящего листа на 18,4% [22].

У ювенильных растений перца (*Capsicum Annuum L.)* исследовали зависимость уровня ФА от спектрального состава излучения. В качестве БП использовали длины центральной жилки и оптические плотности в RGB диапазонах у первой пары настоящих листьев, асимметрия которых проявила флуктуирующий характер. Меньшим значениям флуктуирующей асимметрии, т.е. большей стабильности развития растения, соответствовала большая сырая масса растений. При увеличении соотношения красного к синему излучению в 2,2 раза величина флуктуирующей асимметрии уменьшилась на 22–45 %, в зависимости от диапазона, в котором определялась оптическая плотность листа. При этом наблюдалось увеличение массы растения на 26,2 %. На примере растений перца экспериментально доказано, что показатели флуктуирующей асимметрии могут быть использованы для оценки качества световой среды выращивания растений [23].

Исследовали зависимость уровня ФА длины и ширины семядолей и их оптических плотностей в RGB диапазонах от спектрального состава излучения для микрозелени дайкона (*Rhaphanus Sativus*). Асимметрия всех признаков носила флуктуирующий характер. Растения, выращенные под излучением с различным спектральным составом, имели различные биометрические показатели и величину ФА. Так, под источниками с увеличенной долей зеленого излучения формировались растения с меньшей сырой массой. Выявлено, что в качестве информативного показателя стабильности развития целесообразно использовать ФА, определяемую по оптической плотности семядолей. Большая стабильность развития проростков дайкона (меньшие значения ФА) наблюдалась под спектром, при котором и продуктивность растения по сырой массе семядолей также большая [24].

Исследовали влияние загрязнения почвы ионами кадмия на ФА листьев огурца посевного (*Cucumis sativus*). В качестве БС использовали лист и семядоли. В качестве БП определяли площади левой и правой половины настоящих листьев; число жилок третьего порядка, отходящих слева и справа от жилки второго порядка настоящего листа, соединяющей черешок и верхушку листа; длину жилок семядольных листьев. Асимметрия всех признаков носила флуктуирующий характер. Выращивание огурца в присутствии кадмия не влияло на флуктуирующую асимметрию выбранных метрических признаков – площади левой и правой половины настоящего листа и длину семядольных листьев [25].

Выращивали сеянцы огурца (*Cucumis sativus*) при различном спектре источников вета. В качестве БС использовали семядоли и половинки первого настоящего листа. Измеряли содержание хлорофилла в семядолях и половинках настоящего листа; массу, оптические плотности в RGB диапазонах, толщину, длину семядолей; длину второй жилки настоящего листа. Флуктуирующий характер носила только асимметрия оптической плотности семядолей в синем диапазоне. Отмечено, что полученный результат может найти применение при проведении энергоэкоаудита светокультуры для оценки качества световой среды при выращивании растений огурца в рассадном периоде [26].

Предложен способ определения стабильности развития растений в заданных условиях окружающей среды, в соответствии с которым в качестве БП используют значения вегетационных индексов в симметричных относительно центральной жилки точках листовой

пластинки. Комплексный показатель ФА вычисляют по предварительно сформированному набору индексов, асимметрия которых носит флуктуирующий характер. Приведены численные значения для растения огурца (*Cucumis sativus*), выращиваемого в теплице. На примере вегетационного индекса *NDVI* показано, что спектральные характеристики листьев растений могут быть использованы как источник информации о стабильности развития растений. Для определения коэффициентов отражения, необходимых для вычисления вегетационных индексов, используют гиперспектральную камеру [27].

Таким образом, перечень видов растений, на которых апробирован метод биоиндикации по ФА, весьма велик. Соответственно виду растения производится выбор БС и исследуемых БП.

Материалы и методы

В данном исследовании растительным материалом служили растения перца *(Capsicum Annuum L.)* [28]. Изначально было посажено более двухсот растений (с запасом), половина из которых была подвергнута действию стрессового фактора (ультрафиолета с длиной волны 254 нм) в ювенильном возрасте (Y), другая часть – нет (N). На 30–й DAE (*Day After Emergence*) у растений в качестве морфологического признака измеряли слева и справа длины (A_L, A_R) и ширины (B_L, B_R) третьего и четвертого листьев (линейкой с точностью 1 мм), а в качестве физиологического – относительное содержание хлорофилла (C_L, C_R) (прибором ССМ–200 с точностью 0,1 отн.ед.). В каждой из групп определили количество растений с левой (L) и правой (R) спиралью филлотаксиса, получив таким образом четыре выборки для статистического анализа – LY, LN, RY и RN.

Рис. 1. Растения на стеллажах для эксперимента

Измеряли БП у второй пары листьев. Третий лист считали левой, а четвертый – правой стороной предполагаемой БС пары.

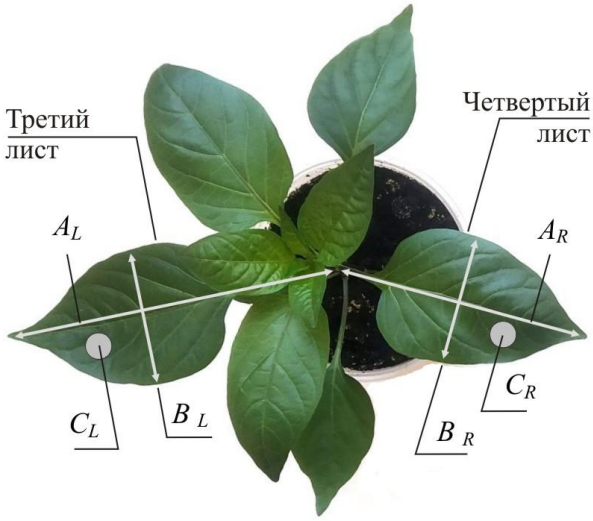

Рис. 2. Измеряемые признаки

Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики ($p<0.05$) с использованием пакетов программ *Microsoft Office Excel 2003* и *Statistica 6.0*.

Результаты и обсуждение

Из всех полученных экземпляров сформировали четыре выборки по направлению генетической спирали (L, R) и фактору стрессового воздействия (Y, N) нормально развитых растений, объемы которых показаны в таблице 1.

Таблица 1

Распределение количества растений в выборках

Изомер	Итого	Стрессовое воздействие	
		Y	N
L	96	43	53
R	101	53	48
Итого	197	96	101

По точному критерию Фишера p=0.0637 > 0.05, что означает отсутствие взаимосвязи между влиянием стрессового фактора и направлением спирали филлотаксиса.

Несмотря на кажущуюся симметричность листьев первой пары, измерения параметров филлотаксиса показали, что разница их углов дивергенции составляет в среднем 151° (16% от максимального оппозитного), разница высот узлов – 4 мм (8% от общей высоты стебля растения).

На рисунке 3 показаны средние значения измеряемых признаков у отдельных листьев растения. Согласно общей тенденции изменения параметров листьев в филлотаксисе, по мере приближения к верхушке, геометрические размеры листа монотонно увеличиваются,

достигают максимума у третьего листа и далее уменьшаются. Симбатно происходит изменение содержания хлорофилла в листе.

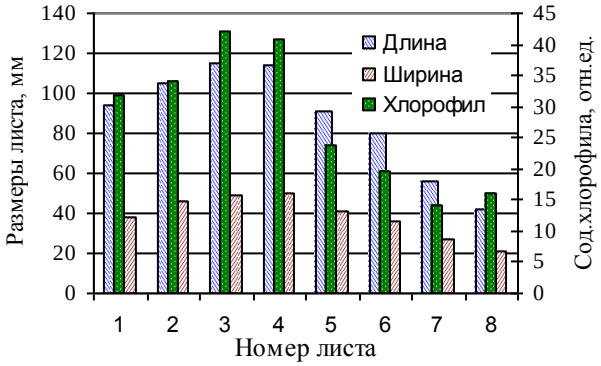

Рис. 3. Средние значения признаков
у отдельных листьев растения

Для выяснения, возможно ли при таких отклонениях в пространственном расположении органов от идеально зеркального принять признаки листьев как билатеральные, проведен статистический анализ.

Проанализирована частота встречаемости асимметричности отдельных признаков (таблица 2). Значения признака с правой и левой стороны считались не равными, если их разница превосходила точность применяемого измерителя. Анализ таблицы свидетельствует о высокой частоте встречаемости асимметрии отдельных признаков. Наиболее часто асимметрия встречается у признака содержание хлорофилла в листе (С). Наименьшие значения наблюдаются у признака ширина листа (В).

Таблица 2

Частота встречаемости асимметричных признаков в выборках растений

При знак	L – изомер		R – изомер	
	Y	N	Y	N
A	81,4%	86,8%	92,5%	89,6%
B	67,4%	69,8%	50,9%	68,8%
C	100,0%	98,1%	98,1%	100,0%

Статистический анализ закона распределения значений асимметрии был выполнен с использованием критериев согласия Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уилка и Лиллиефорса (В пакете *Statistica 6.0: Статистика/ Основная статистика/ Normality*). В ряде выборок найдены отличия от нормального распределения, поэтому были применены непараметрические методы статистического анализа.

Первым признаком флуктуирующего характера асимметрии является отсутствие ее направленности, которое выражается в том, что распределение различий БП является

статистически однородным и приблизительно симметрично расположенным относительно нулевого значения. Проверку направленности асимметрии проводили с использованием одновыборочного критерия Уилкоксона (*Nonparametric Statistics / Comparing two dependent samplec (variables) / Wilcoxon matched pair test*). Обнаружено, что направленность асимметрии отсутствует только у ширины листьев растений с правосторонней спиралью (p_Y=0,0558, p_N=0,1136)

Вторым признаком флуктуирующего характера асимметрии является отсутствие размер–зависимости. Для выявления связи между величиной асимметрии признака |L–R| от его средним размером (L+R)/2 использовали непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена r_S. (*Nonparametric Statistics/ Correlations*). Поскольку ряд абсолютных значений асимметрии заведомо отклоняется от нормальности (его распределение усеченное нормальное или полунормальное распределение [29]), то обязательно использование непараметрических методов. У ряда признаков в выборках (длина *A* в LN, ширина *B* в RY, содержание хлорофилла *C* в LY и RY) выявлена статистически значимая размер–зависимость. Это означает, что в онтогенезе структуры, имеющие бóльшие значения признака, проявляют и более выраженную асимметрию. В таких случаях в дальнейшем анализе нужно использовать прямое нормирование асимметрии на размер признака, либо использовать подразумевающие такое нормирование алгоритмы. Для выборок, в которых размер–зависимость у анализируемых признаков отсутствует, при анализе можно воспользоваться абсолютным значением асимметрии признака |L–R|. Для единства подхода использована формула для определения ФА=|L–R|/(L+R).

Третьим признаком флуктуирующего характера асимметрии является отсутствие антисимметрии. Индикатором антисимметрии является отрицательный эксцесс *k* распределения различий между сторонами (L–R). В тех случаях, когда $k>k_{кр}$ при положительном эксцессе принимается гипотеза об отсутствии антисимметрии у анализируемых признаков. Антисимметрия выявлена для признака содержания хлорофилла.

Для обоснования возможности включения изучаемого признака в систему признаков необходимо оценить скоррелированность отдельных признаков между собой. Меньшая степень корреляции величины асимметрии признаков, входящих в набор, позволяет дать более объективную оценку с помощью данного набора. Выявлено, что в выборках практически все признаки существенно коррелированы между собой, что не позволяет включить их в систему признаков.

Важное значение имеет вопрос о наличии различий в средней величине асимметричных признаков у выборок, отличающихся по виду изомерии (L, R) и наличию стрессового фактора (Y, N). При отсутствии таких различий можно использовать в анализе объединенную выборку. Проверка произведена по критерию Манна–Уитни (*Nonparametric Statistics / Comparing two independent samples (groups) / Mann–Whitney U test*). Проверка различий по фактору наличия стресса (Y, N) показало отсутствие различий. Растения, получившие (Y) и не получившие (N) стрессовое воздействие, для оценки ФА могут быть объединены в одну выборку. Проверка различий по фактору изомерии показала значимость различия ФА по содержанию хлорофилла.

По нормирующей формуле найдены значения ФА (таблица 2). Значимые различия помечены различными литерами.

Таблица 3

Значения ФА

Признак	L – изомер		R – изомер	
	Y	N	Y	N
A	0.0505[a]	0.0472[a]	0.0455[a]	0.0492[a]
B	0.0408[a]	0.0341[a]	0.0319[a]	0.0384[a]
C	0.0725[a]	0.0644[a]	0.1003[b]	0.1012[b]

Статистическая проверка показала, что отсутствуют значимые различий по ФА, определенной по длине и ширине листьев. Различия средних величины ФА статистически значимо у изомеров по содержанию хлорофилла в листьях. У этого признака так же обнаружены направленная асимметрия и антисимметрия, что подтверждает генетическую заданность направления филлотаксиса.

Заключение. Произведенный аналитический обзор показал, что метод ФА с успехом находит применение для исследования стабильности развития широкого круга видов растений. Сюда входят древесные растения (лиственные и хвойные), травы, полевые сельскохозяйственные культуры, а так же корнеплоды и овощи. Соответственно виду используемого в исследованиях растения выбирается БС из пространственно разнесенных органов (или их частей) растения, геометрическая симметричность расположения которой дает основание полагать равенство значений измеряемых БП. В качестве последних используют расстояния и углы, характеризующие расположение характерных точке БС, площади ее частей. Помимо морфологических имеется опыт применения физиологических параметров – содержания пигментов в листьях – определяемых по их оптическим свойствам. Соответственно, используют различные приборы, от простейших измерителей геометрических размеров до гиперспектральной камеры.

Проведенный обзор показал важность выбора набора БС и их признаков, поскольку после измерений проводится проверка асимметрии на флуктуирующий характер, включающая отсутствие направленности, размер–зависимости и антисимметрии. К анализу принимаются лишь те признаки, которые прошли проверку по всем трем критериям.

Оценена стабильность развития растений перца, выращенных в искусственных условиях, по величине ФА. В работе в качестве БС принята вторая пара настоящих листьев перца в возрасте 30 DAE, листья которой имеют расположение в спиральном филлотаксисе близкое к оппозитному. Исследования вели по четырем выборкам растений: с правой и левой изомерией; получивших или нет стрессовое воздействие.

Таким образом, отвечая на главный вопрос исследования, следует отметить, что выбор БС и измеряемых БП должен быть тщательным и подвергаться предварительной статистической проверке. Пары листьев, располагаемые в филлотаксисе даже практически

оппозитно, формируются достаточно различными и их использование в биоиндикации может быть затруднено.

Заявленный вклад соавторов:

С.А. Ракутько – научное руководство, статистический анализ, черновое написание статьи; А.П. Мишанов – инженерное обеспечение эксперимента, проведение измерений, редактирование текста; Е.Н. Ракутько – анализ научных источников, первичная обработка результатов измерений; А.Е. Маркова – агрономическое обеспечение эксперимента.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А., Перекопский А.Н., Соловьев Я.С., Устроев А.А. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации // *Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство*. Материалы международного проекта EFSOA. СПб: ИАЭП. 2021. 140 с.

2. Lens L.U., Van Dongen S., Kark S., Matthysen E. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: can we bridge the gap between studies? *Biological reviews*. 2002. No. 77 (1), pp. 27-38. DOI: 10.1017/S1464793101005796.

3. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России. 2000. 68 с.

4. Голышкин Л.В. Анализ внешней архитектоники листа яблони на основе метода флуктуирующей асимметрии (экологический принцип интегральной оценки стабильности развития растений–индикаторов и фоновый мониторинг окружающей среды) // *Селекция и сорторазведение садовых культур: сб. науч. работ*. Орёл: ВНИИСПК. 2014. Т. 1. С. 132-161.

5. Шарафутдинова М.С., Харитонцев Б.С. Особенности флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа популяций *Tilia Cordata L.* в условиях юга Тюменской области // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2015. Т. 1. № 2. С. 129-135.6. Глухов А.З., Штирц Ю.А., Демкович А.Е., Жуков С.П. Оценка проявления флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки *Acer Pseudoplatanus L.* в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере г. Донецка) // *Промышленная ботаника*. 2011. Т. 11. С. 90-96.

7. Баранов С.Г., Зыков И.Е., Федорова Л.В. Асимметрия листовых пластинок клена остролистного (*Acer Platanoides*): генотипическая и фенотипическая изменчивость // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 7-4. С. 659-663.

8. Мамедова Р.Н.К. Исследование параметров флуоресценции хлорофилла и флуктуирующей асимметрии листьев древесного растения – *Quercus Castanefolia C. A. Mey*. в

условиях города Баку, Азербайджа // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2020. Т. 20. № 2. С. 207-211.

9. Луговская Л.А., Землякова А.В., Межова Л.А., Луговской А.М. Оценка комфортности среды по флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus Robur L.*) // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2016. № 18 (239). С. 87-94.

10. Чернакова О.В., Чудновская Г.В. Влияние автомобильного транспорта на флуктуирующую асимметрию листьев представителей рода *Padus* // *Вестник ИрГСХА*. 2019. № 91. С. 92-100.

11. Полонский В.И. Использование флуктуирующей асимметрии супротивных листьев *Syringa Josikaea Jacq.* в биоиндикации загрязнения г. Красноярска // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016. № 1 (21). С. 77-82.

12. Белова Е.Е., Белопухов С.Л., Нефедьева Е.Э., Шайхиев И.Г. Влияние лесных пожаров на флуктуирующую асимметрию листьев осины обыкновенной *Populus Tremula* // *Вестник Технологического университета*. 2015. Т. 18. № 2. С. 412-415.

13. Коротченко И.С., Алексеева А.Н. Флуктуирующая асимметрия хвои *Pinus Sylvestris L.* как биоиндикационный показатель загрязнения природных сред города Красноярска // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета*. 2021. № 2 (38). С. 27-38. DOI: 10.32516/2303-9922.2021.38.3.

14. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков листьев сныти обыкновенной (*Aegopodium Podagraria*) при различных условиях освещения // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2018. № 51. С. 119-124.

15. Устюжанина О. А. Коэффициент флуктуирующей асимметрии для пшениц озимой и яровой в севооборотах с насыщенностью элементами питания в разной форме // *Проблемы региональной экологии*. 2014. № 6. С. 59-62.

16. Устюжанина О.А., Соколова Л.А., Стрельцов А.Б. Стабильность развития разных сортов картофеля как показатель направленного антропогенного воздействия // *Проблемы региональной экологии.* 2012. № 6. С. 110-112.

17. Баранов С.Г., Бибик Т.С., Винокуров И.Ю. Изучение стабильность развития клевера лугового в условиях агроэкосистем // *Современные здоровьесберегающие технологии*. 2018. № 4. С. 156-164.

18. Савельева Н.А., Белова Е.Е., Первова Н.Е., Колонцов А.А. Оценка влияния ионов свинца и кадмия на флуктуирующую асимметрию листьев фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris L.*) // *Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение*. 2013. № 4. С. 50-52.

19. Ерофеева Е.А. Влияние свинца на флуктуирующую асимметрию листа гороха посевного (*Pisum Sativum L.*) // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского.* 2014. № 1-1. С. 162-165.

20. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н. Оценка стабильности развития растений томата (*Solanum Lycopersicum L.*) в светокультуре по флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. № 95. С. 100-112.

21. Ракутько С.А., Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листьев петрушки (*Petroselinum Tuberosum*) при

выгонке под различным спектром излучения // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.* 2017. № 46. С. 253-260.

22. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Влияние различий в спектральном составе излучения на флуктуирующую асимметрию билатеральных признаков ювенильных растений кабачка (*Cucurbita Pepo var. Giromontina*) // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 3 (100). С. 33-47.

23. Ракутько Е.Н., Васькин А.Н., Новиков И.С., Ракутько С.А. Влияние различий в спектральном составе излучения на флуктуирующую асимметрию билатеральных признаков ювенильных растений перца (*Capsicum Annuum L.*) // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2020. № 1 (102). С. 35-49.

24. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А.Спектральный состав излучения влияет на стабильность развития микрозелени дайкона (*Rhaphanus Sativus*) // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 2 (99). С. 71-85.

25. Кузнецова Е.А., Челпанова О.М., Белова Е.Е., Хотулёва О.В., Колонцов А.А. Оценка влияния ионов кадмия на флуктуирующую асимметрию листьев огурца посевного (*Cucumis Sativus L.*) // *Вестник Московского государственного областного университета*. 2013. № 2. С. 7.

26. Мишанов А.П., Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. Анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков сеянцев огурца, выращенных под различным спектральным составом излучения // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2017. № 93. С. 19-27.

27. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Mishanov, A.P. Determination of plant developmental stability in plant lighting with hyperspectral imaging // *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021, No.15(1), pp. 4–8. DOI:10.22314/2073–7599–2021–15–1–4–8

28. Ракутько С.А, Мишанов А.П., Маркова А.Е. Ракутько Е.Н. Васькин А.Н. Влияние дозы УФ–С облучения на развитие ювенильных растений перца *(Capsicum Annuum L.)* // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 1 (110). С. 3-19.

29. Whitlock M. The heritability of fluctuating asymmetry and genetic control of developmental stability // *Proc. R. Soc. Lond. B.* 1996. Vol. 263, pp. 849-854.

REFERENCES

1. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A., Minin V.B., Murzaev E.A., Perekopskiy A.N., Solovev Ya.S., Ustroev A.A. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyai-stvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic crop production under conditions of the North-Western Region of the Russian Federation]. *Ekologicheski druzhestvennoe umnoe organicheskoe sel'skoe khozyaistvo. Materialy mezhdunarodnogo proekta EFSOA* [Environmentally friendly smart organic agriculture – EFSOA. Materials of the international project]. Saint Petersburg: IEEP. 2021. 140 p. (In Russian)

2. Lens L.U., Van Dongen S., Kark S., Matthysen E. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: can we bridge the gap between studies? *Biological reviews*. 2002. No. 77 (1), pp. 27-38. DOI: 10.1017/S1464793101005796.

3. Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetskii A.V. et al. Zdorov'e sredy: metodika otsenki [Health of the environment: assessment methodology]. Moscow: Tsentr ekologicheskoi politiki Rossii [Center for Environmental Policy of Russia]. 2000. 68 p. (In Russian)

4. Golyshkin L.V. Analiz vneshnei arkhitektoniki lista yabloni na osnove metoda fluktuiruyushchei asimmetrii (ekologicheskii printsip integral'noi otsenki stabil'nosti razvitiya rastenii–indikatorov i fonovyi monitoring okruzhayushchei sredy) [Analysis of the architectonics of an apple leaf based on the method of fluctuating asymmetry (environmental principle of integral estimation of the stability of development of plants-indicators and background monitoring of the environment)]. In: *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur: sb. nauch. rabot* [Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops. Coll. Sci. Papers]. Orel: VNIISPK, 2014. Vol. 1: 132-161 (In Russian)

5. Sharafutdinova M.S., Kharitontsev B.S. Osobennosti fluktuiruyushchei asimmetrii bilateral'nykh priznakov lista populyatsii *Tilia Cordata* L. v usloviyakh yuga Tyumenskoi oblasti [Features of fluctuating asymmetry in bilateral shapes of the leaf of *Tilia Cordata* L. in conditions of the South of Tyumen Region]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*. 2015. Vol. 1. No. 2: 129-135 (In Russian)

6. Glukhov A.Z., Shtirts Yu.A., Demkovich A.E., Zhukov S.P. Otsenka proyavleniya fluktuiruyushchei asimmetrii bilateral'nykh priznakov listovoi plastinki *Aser Pseudoplatanus L*. v usloviyakh pridorozhnykh ekosistem promyshlennogo goroda (na primere g. Donetska) [The assessment of the display of fluctuating asymmetry of bilateral features of *Acer Pseudoplatanus L.* leaves in conditions of roadside ecosystems in the industrial city (on the example of Donetsk)]. *Promyshlennaya botanika*. 2011. Vol. 11: 90-96 (In Russian)

7. Baranov S.G., Zykov I.E., Fedorova L.V. Asimmetriya listovykh plastinok klena ostrolistnogo (*Acer Platanoides*): genotipicheskaya i fenotipicheskaya izmenchivost' [*Acer Platanoides* leaf plates asymmetry: genotypic and phenotypic variability]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 7-4: 659-663 (In Russian)

8. Mamedova R.N. K. Issledovanie parametrov fluorestsentsii khlorofilla i fluktuiruyushchei asimmetrii list'ev drevesnogo rasteniya – *Quercus Castanefolia C. A. Mey* v usloviyakh goroda Baku, Azerbaidzhan [Investigation of chlorophyll fluorescence parameters and fluctuating asymmetry of leaves of woody plant – *Quercus Castanefolia C.A. Mey* in the city of Baku, Azerbaijan. Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya. 2020. Vol. 20. No. 2: 207-211 (In Russian)

9. Lugovskaya L.A., Zemlyakova A.V., Mezhova L.A., Lugovskoy A.M. Otsenka komfortnosti sredy po fluktuiruyushchei asimmetrii duba chereshchatogo (*Quercus Robur L.*) [Estimation of environmental comfort by the fluctuating asymmetry of pedunculate oak (*Quercus Robur L.*)] *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki.* 2016. No. 18 (239): 87-94 (In Russian)

10. Chernakova O.V., Chudnovskaya G.V. Vliyanie avtomobil'nogo transporta na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu list'ev predstavitelei roda *Padu*s [Influence of motor transport on fluctuating asymmetry of leaves of representatives of genus *Padus*]. *Vestnik IrGSHA*. 2019. No. 91: 92-100 (In Russian)

11. Polonskiy V.I. Ispol'zovanie fluktuiruyushchei asimmetrii suprotivnykh list'ev *Syringa Josikaea Jacq*. v bioindikatsii zagryazneniya g. Krasnoyarska [Using of fluctuating asymmetry of opposite leaves of *Syringa Josikaea Jacq*. in the bioindication of Krasnoyarsk city pollution]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. No.1(21): 77-82 (In Russian)

12. Belova E.E., Belopukhov S.L., Nefedeva E.E., Shaikhiev I.G. Vliyanie lesnykh pozharov na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu list'ev osiny obyknovennoi *Populus Tremula* [Influence of forest fires on fluctuating asymmetry of the leaves of the common aspen *Populus Tremula*. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. Vol. 18. No. 2: 412-415 (In Russian)

13. Korotchenko I.S., Alekseeva A.N. Fluktuiruyushchaya asimmetriya khvoi *Pinus Sylvestris L*. kak bioindikatsionnyi pokazatel' zagryazneniya prirodnykh sred goroda Krasnoyarska. [Fluctuating asymmetry of needles of *Pinus Sylvestris L*. as a bioindication mark of environmental pollution in the city of Krasnoyarsk]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta.* 2021. No. 2 (38): 27-38 (In Russian)

14. Rakutko E.N., Rakutko S.A. Fluktuiruyushchaya asimmetriya bilateral'nykh priznakov list'ev snyti obyknovennoi (*Aegopodium Podagraria*) pri razlichnykh usloviyakh osveshcheniya [Fluctuating asymmetry of bilateral traits of the common goutweed (*Aegopodium Podagraria*) leaves under different lighting conditions]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2018. No. 51: 119-124 (In Russian)

15. Ustyuzhanina O.A. Koeffitsient fluktuiruyushchei asimmetrii dlya pshenits ozimoi i yarovoi v sevooborotakh s nasyshchennost'yu elementami pitaniya v raznoi forme [The ratio of fluctuating asymmetry for winter and spring wheat in crop rotation with different forms of saturation with nutrients]. *Problemy regional'noi ekologii*. 2014. No. 6: 59-62 (In Russian)

16. Ustyuzhanina O.A., Sokolova L.A., Streltsov A.B. Stabil'nost' razvitiya raznykh sortov kartofelya kak pokazatel' napravlennogo antropogennogo vozdeistviya [Stability of development of various kinds of potato plant as a determinant of the intended anthropogenic exposure]. *Problemy regional'noi ekologii*. 2012. No. 6: 110-112 (In Russian)

17. Baranov S.G., Bibik T.S., Vinokurov I.Yu. Izuchenie stabil'nost' razvitiya klevera lugovogo v usloviyakh agroekosistem [Study of the developmental stability of *Trifolium Pratense* in agroecosystems]. *Sovremennye zdorov'esberegayushchie tekhnologii*. 2018. No. 4: 156-164 (In Russian)

18. Savelyeva N.A., Belova E.E., Pervova N.E., Kolontsov A.A. Otsenka vliyaniya ionov svintsa i kadmiya na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu list'ev fasoli obyknovennoi (*Phaseolus vulgaris L.*) [The effect of lead and cadmium on fluctuating asymmetry in leaves of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Vestnik MGU. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2013. No. 4: 50-52 (In Russian)

19. Erofeeva E.A. Vliyanie svintsa na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu lista gorokha posevnogo (*Pisum Sativum L.*) [Lead influence on leaf fluctuating asymmetry of *Pisum Sativum L.*]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo.* 2014. No. 1-1: 162-165 (In Russian)

20. Rakutko E.N., Rakutko S.A., Vaskin A.N. Otsenka stabil'nosti razvitiya rastenii tomata (*Solanum Lycopersicum L.*) v svetokul'ture po fluktuiruyushchei asimmetrii bilateral'nykh priznakov lista [Evaluation of developmental stability by fluctuating asymmetry of bilateral leaf traits in plants of tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) grown under indoor plant lighting]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. No. 95: 100-112 (In Russian)

21. Rakutko S.A., Vaskin A.N., Rakutko E.N. Statisticheskii analiz fluktuiruyushchei asimmetrii bilateral'nykh priznakov list'ev petrushki (*Petroselinum Tuberosum*) pri vygonke pod razlichnym spektrom izlucheniya [Statistical analysis of fluctuating asymmetry of bilateral features of parsley (*Petroselinum Tuberosum*) leaves during forcation under different radiation spectrum]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. No. 46: 253-260 (In Russian)

22. Rakutko E.N., Rakutko S.A. Vliyanie razlichii v spektral'nom sostave izlucheniya na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu bilateral'nykh priznakov yuvenil'nykh rastenii kabachka (*Cucurbita Pepo var. Giromontina*) [Influence of light quality on fluctuating asymmetry of bilateral traits of juvenile marrow plants (*Cucurbita Pepo var. Giromontina*). *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 3 (100): 33-47 (In Russian)

23. Rakutko E.N., Vaskin A.N., Novikov I.S., Rakutko S.A. Vliyanie razlichii v spektral'nom sostave izlucheniya na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu bilateral'nykh priznakov yuvenil'nykh rastenii pertsa (*Capsicum Annuum L.*) [Effect of different light quality on the fluctuating asymmetry of bilateral traits of juvenile pepper plants (*Capsicum Annuum L.*). *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2020. No. 1 (102): 35-49 (In Russian)

24. Rakutko E.N., Rakutko S.A. Spektral'nyi sostav izlucheniya vliyaet na stabil'nost' razvitiya mikrozeleni daikona (*Rhaphanus Sativus*) [Light quality from different lighting sources impacts the developmental stability of *Rhaphanus Sativus* microgreens]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 2 (99): 71-85 (In Russian)

25. Kuznetsova E.A., Chelpanova O.M., Belova E.E., Khotuleva O.V., Kolontsov A.A. Otsenka vliyaniya ionov kadmiya na fluktuiruyushchuyu asimmetriyu list'ev ogurtsa posevnogo (*Cucumis Sativus L.*) [The cadmium ions impact on fluctuating asymmetry of cucumber seedlings leaves (*Cucumis Sativus L.*)]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta*. 2013. No. 2: 7 (In Russian)

26. Mishanov A.P., Rakutko S.A., Rakutko E.N., Markova A.E. Analiz fluktuiruyushchei asimmetrii bilateral'nykh priznakov seyantsev ogurtsa, vyrashchennykh pod razlichnym spektral'nym sostavom izlucheniya [Analysis of fluctuating asymmetry of bilateral traits of cucumber seedlings grown under radiation with different light quality]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017. No. 93: 19-27 (In Russian)

27. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Mishanov, A.P. Determination of plant developmental stability in plant lighting with hyperspectral imaging. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021, No. 15(1): 4-8 (In English) DOI:10.22314/2073–7599–2021–15–1–4–8

28. Rakutko S.A., Mishanov A.P., Markova A.E. Rakutko E.N. Vaskin A.N. Vliyanie dozy UF–S oblucheniya na razvitie yuvenil'nykh rastenii pertsa (*Capsicum Annuum L.*) [Impact of UV-C dose on the development of juvenile pepper (*Capsicum Annuum L.*) plants]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 1 (110): 3-19 (In Russian)

29. Whitlock M. The heritability of fluctuating asymmetry and genetic control of developmental stability. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 1996. Vol. 263: 849-854.

УДК 57.087: 633.41 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-42-60

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ БИОИНДИКАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЛИСТЬЕВ СВЕКЛЫ (*BETA VULGARIS L.*)

Е.Н. Ракутько[1]; А.Н. Васькин [2]; Су Цзянь
С.А. Ракутько[1], д-р техн. наук.;

[1] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

[2] Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

[3] Институт механизации сельского хозяйства Синцзянской академии сельскохозяйственных наук, Синьцзян, КНР

Идеи и методы фрактального анализа, позволяющего упростить понимание сложных процессов, находят широкое применение в различных областях науки. Фрактальный подход представляет собой более высокий уровень анализа и понимания развития живых систем. Выполнен анализ возможности применения фрактального подхода при биоиндикации агроэкосистем. Цель работы – исследовать особенности биометрических параметров листьев растений свеклы, в том числе фрактальные свойства листа растения, и оценить их применимость для разработки метода биоиндикации. Апробацию метода провели на листьях свеклы трех сортов – Бона, Бордо 237 и Египетская плоская, выращиваемых в лабораторных условиях. На 37-й день после появления всходов измеряли биометрические параметры шести первых листьев: массу, толщину, геометрические размеры, оптическую плотность в отдельных диапазонах и содержание хлорофилла. Использовали программный пакет ImageJ и инструмент Fractal Box Counter для фрактального анализа жилкования листьев по показателю Херста. Результаты исследования свидетельствуют о значительных сортовых различиях фрактальной размерности и показателя Херста. В большей степени он стремится к единичному значению у сорта Бона (0.76), что интерпретируется как детерминированное развитие растения в данных условиях окружающей среды. У сортов Бордо 237 и Египетская плоская эти значения равны соответственно 0.40 и 0.52, что характерно для экологического оптимума, когда взаимодействие растения с внешней средой устойчиво. Выявлено, что величина показателя Херста может использоваться как важный диагностический признак характера взаимодействия растения с окружающей средой.

Ключевые слова: агроэкосистема, биоиндикация, растение, листовая пластина, жилкование, фрактальная размерность, показатель Херста

Для цитирования: Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н., Су Цзянь. Опыт применения фрактального анализа при биоиндикации агроэкосистем на примере листьев свеклы (*BETA VULGARIS L.*) // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.42-61

EXPERIENCE WITH FRACTAL ANALYSIS IN BIOINDICATION OF AGROECOSYSTEMS ON THE EXAMPLE OF BEET LEAVES (BETA VULGARIS L.)

E.N. Rakutko[1]; S.A. Rakutko1, DSc A.N. Vaskin[2]; Su Jian[3], senior researcher (Engineering);

[1] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

[2] Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

[3] Institute of Agricultural Mechanization, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Xinjiang, China

The ideas and methods of fractal analysis, which makes it possible to simplify the understanding of complex processes, are widely used in various fields of science. The fractal approach represents a higher level of analysis and understanding of the development of living systems. We have considered the possibility of fractal approach to bioindication of agroecosystems. The purpose of this work was to study special features of the biometric parameters of the beet leaves, including the fractal properties of a plant leaf, and estimate their applicability in developing a bioindication method. We tested the method on the leaves of three beet varieties – Bona, Bordeaux 237 and Flat Beet of Egypt grown in the laboratory conditions. On the 37th day after emergence the biometric parameters of the first six leaves were measured: the weight, thickness, geometric dimensions, optical density in certain ranges, and chlorophyll content. We used the ImageJ software package and the Fractal Box Counter tool for fractal analysis of leaf venation according to the Hurst exponent. The study results indicated the significant varietal differences in fractal dimension and the Hurst exponent. To a greater extent, this exponent tended to a single value in the Bona variety (0.76). That was interpreted as a deterministic development of the plant in these environmental conditions. Bordeaux 237 and Flat Beet of Egypt varieties had these values of 0.40 and 0.52, respectively. That was characteristic of the ecological optimum, when the interaction of the plant with the environment was stable. The study revealed that the value of the Hurst exponent could be an important diagnostic sign of the nature of plant-environment interaction.

Keywords: agroecosystem, bioindication, plant, leaf blade, venation, fractal dimension, Hurst exponent

For citation: Rakutko E.N., Rakutko S.A., Vaskin A.N., Su Jian. Experience with fractal analysis in bioindication of agroecosystems on the example of beet leaves (Beta Vulgaris L.). AgroEkoInzheneriya. 2022. No. 2 (111): 42-61 (In Russian).

Введение

Агроэкосистемой называется биотическое сообщество, искусственно, в отличие от естественных биогеоценозов и экосистем, созданное и регулярно поддерживаемое направленной деятельностью человека с целью получения сельскохозяйственной продукции (другое название - агроценоз, агробиоценоз, сельскохозяйственная экосистема). Ключевым звеном агроэкосистемы является совокупность организмов, обитающих на землях сельскохозяйственного использования. Для биологической и сельскохозяйственной науки вопросы разработки научно обоснованных методов производства продукции растениеводства являются приоритетными. Решение этой задачи обеспечит возможность

стабильного производства растительной продукции при глобальных изменениях климата и ухудшения экологической обстановки.

В последние годы по сравнению с традиционным сельским хозяйством одной из жизнеспособных альтернатив с точки зрения улучшения плодородия почвы, снижения уровня сокращения биоразнообразия и уменьшения воздействия на окружающую среду является органическое земледелие. Овощи, потребляемые человеком преимущественно в свежем виде, являются важнейшим источником витаминов, ферментов, углеводов, флавоноидов, пищевых волокон и минеральных веществ. Они так же имеют лечебное значение, как источники антиоксидантов, защищающих организм человека от многих болезней. Поэтому вопросы производства экологически безопасной органической продукции особенно актуальны для плодоовощной отрасли сельского хозяйства. Валовый сбор в Российской Федерации в 2020 г овощей открытого и закрытого грунта составил соответственно 2518 и 1428 тыс.т. (Росстат).

Диапазон возможностей интенсифицировать органическое производство изначально ограничен требованиями к органической продукции – запрет на использование генномодифицированных веществ, сортов и гибридов, синтетических минеральных удобрений и регуляторов роста, гидропонной технологии выращивания растений в теплицах, фертигации с использованием быстрорастворимых удобрений, применение синтетических средств обработки семян [ГОСТ 33980-2016. Межгосударственный стандарт. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. Минск. 2016].

Климатические условия России таковы, что период их производства в открытом грунте колеблется от 2-3 месяцев в северных районах до 4-6 месяцев в южных. В оставшийся период года производство свежих овощей происходит в защищенном грунте: теплицах, парниках, временных пленочных укрытиях и др. [1]. Разработан ряд агротехнических приемы получения экологически безопасной овощной продукции [2, 3]. В регулируемой агроэкосистеме (в специальных культивационных сооружениях с применением технологий светокультуры) возможно решение проблемы круглогодичного производства продукции многоцелевого назначения в районах с экстремальными природными условиями [4]. Для светокультуры как искусственной биоэнергетической системы обоснован параметр, характеризующий качество потока излучения как степень соответствия измеренного и оптимального для растений спектрального состава излучения [5]. Более глубоко вопросы оптимизации условий выращивания растений решаются в рамках концепций искусственной биоэнергетической системы (ИБЭС) и наилучших доступных технологии светокультуры. Последние представляют собой технологии производства продукции растениеводства в контролируемых условиях и выбираются для конкретных условий и требований из достигнутого уровня науки, техники и технологий по критерию минимальных удельных энергетических затрат и воздействия на окружающую среду при условии обеспечения экологически чистой конечной продукции [6].

Агропромышленный комплекс в целом (особенно его тепличная подотрасль - светокультура) являются высоко энерго- и ресурсоемкими производствами. Создание экологичных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания и продуктов лечебного назначения представляет собой важную современную проблему. Светокультура

является важнейшим способом получения таких продуктов в неблагоприятных климатических условиях. Высокая экономичность тепличного производства продукции достигается за счет его интенсификации. Однако этот же фактор определяет особые экологические угрозы от теплиц. Негативные воздействия на внешнюю среду теплицы заключаются в загрязнении воздуха, грунтовых и поверхностных вод, почвы. Внутренняя среда теплицы влияет на здоровье обслуживающего персонала и качество продукции. Обоснована необходимость применения интеллектуальных алгоритмов управления технологическими процессами создания контролируемых условий выращивания растений на основе иерархической модели ИБЭС светокультуры, обеспечивающих качественный скачек повышения энергоэффективности и экологичности производства [7].

Характерной особенностью агроэкосистем является пониженная экологическая надежность при повышенной урожайности культивируемых растений, что является следствием их упрощенной структуры и обедненного видового состава. В этих условиях актуальным является разработка методов оценки состояния агроэкосистем.

Наиболее эффективными инструментами аналитического контроля состояния агроэкосистем являются методы биотестирования и биоиндикации. Биоиндикацией называют процедуру обнаружения и определения экологически значимых нагрузок на среду обитания на основе реакции живых организмов. Биотестирование – это процедура установления токсичности среды с помощью биологических тест-обьектов, которые извлекаются из среды обитания и подвергаются анализу в лабораторных условиях. Два этих подхода весьма близки по конечной цели исследования, однако биоиндикация осуществляется на уровне организма, популяции и сообщества и характеризует, как правило, результат воздействия факторов на среду обитания, в то время как биотестирование осуществляется на уровне молекулы, клетки или организма и характеризует возможные последствия загряднения окружающей среды для биоты. Оба этих подхода пригодны для целей биомониторинга [8].

В прикладной экологии биоиндикация применяется в качестве одного из методов оценки качества природной среды и отдельных ее компонентов. Критерием является отклонения в развитии либо в их химическом составе растительных, водных, почвенных или наземных живых организмов. Такие организмы называются индикаторными или биоиндикаторами [9]. В отдельных исследованиях показано, что достаточно эффективным методом оценки состояния экосистем может служить продукция, целенаправленно выращиваемая для хозяйственных целей в условиях агроэкосистемы. Так, в работе [10] показана возможность использования растительно-овощной биоиндикации для широкого применения в агротехнической практике. Установлено, что растительная продукция обладает избирательной, иногда высокой способностью к накоплению химических элементов или соединений. На примере таких культур, чеснок (*Allium sativum*), лук репчатый (*Allium cepa*), редька черная (*Raphanus sativus*), свекла (*Beta vulgaris*) и морковь обыкновенная (*Daucus carota*) были получены достаточно интересные результаты, позволяющие проследить взаимосвязь географических, геоэкологических условий местности и биологических видовых особенностей растений.

Для оценки состояния агроэкосистем наиболее оптимальным является применение одного из разновидности методов биоиндикации – фитоиндикации. При этом в качестве тестовых целесообразно использовать растения, выращиваемые в агроэкосистеме для

получения хозяйственного эффекта. В качестве интегрального показателя состояние тестовых растений перспективным является использование стабильность их развития [11].

Данная работа выполнена в русле современного перспективного направления - фрактального анализа, широко используемого в различных отраслях науки. Например, в материаловедении выявлено, что структура вещества, образующегося в условиях, далеких от термодинамического равновесия, может быть описана при помощи математического аппарата фрактальной геометрии. Фрактальная поверхность пленок кремния тесно связана с условиями осаждения пленки и её структурой. Изучены основные закономерности в поведении фрактальной размерности поверхности при молекулярно – лучевом осаждении, динамическое развитие топологии поверхности в зависимости от количества осажденных атомов, ее фрактальная размерность и шероховатость. Показано, что фрактальная размерность определяется термодинамическими условиями роста пленки, а первоначальный рельеф поверхности влияет на фрактальную размерность только в течение конечного интервала времени осаждения [12]. Для строительного материаловедения характерно использование фрактальной размерности при конструировании композитов и для анализа концентрационных зависимостей свойств. Трещины обладают фрактальными свойствами и трещинообразование может быть описано как многоуровневый нелинейный процесс, точки бифуркации которого связаны с фрактальной размерностью. Найдено, что фрактальная размерность, определяемая по результатам экспериментальных исследований прочности композитов, позволяет получить дополнительную информацию об их структурообразовании. Выявлена прямо пропорциональная зависимость прочности композита от величины фрактальной размерности [13]

Фрактальную размерность использовали при анализе дисперсных систем. Образцы были подвергнуты облучению различной интенсивности. Известно, что облучение полимера приводит к возникновению трехмерной сетки и появлению внутри полимерного тела сжимающих напряжений. Найдено, что полученные двухфазные системы с взаимопроникающими структурами обладают свойством самоподобия (графики Ричардсона линейны). Выявлено, что при увеличении дозы облучения фрактальная размерность уменьшается, стремясь к своему максимуму. Авторы исследования сделали вывод, что фрактальная размерность дисперсных систем зависит не только от технологии их получения, но и от внешних воздействий уже после формирования дисперсной структуры [14].

Фрактальный анализ используют для раскрытия особенностей развития геосистем, в условиях сложного строения ландшафтов, в целях выявления скрытой регулярности и упорядоченность геосистем. Единый методический подход к расчету фрактальной размерности даёт возможность получить численное описание организации природных структур различного происхождения и сравнить их между собой. Применительно к водосборной территории фрактальная размерность одновременно является показателем степени извилистости рек, густоты речной сети и количества малых рек на водосборной территории [15]. Неразрушающий метод оптического оценивания фрактальной размерности изображения использовали для оценок прочности образцов композитного материала. Использовали фрактальную модель функции распределения дефектов в композите, основанную на анализе его изображений в каналах *RGB* снимка поверхности образца. Исследование показало, что параметры нагружения антикоррелируют с фрактальной

размерностью изображения – чем больше фрактальная размерность изображения, тем легче разрушается образец. Авторы делают вывод о возможности использования фрактальной размерности изображения для неразрушающего контроля и прогнозирования прочности композитов [16]

Подсчет фрактальной размерности оказался удобным математическим аппаратом при работе с биологическими объектами, когда часто требуется поставить в соответствие изображению объекта некоторое числовое значение. На примере популяции дрожжей выявили тесную корреляцию между морфологическими характеристиками популяции и фрактальной размерностью изображения [17]. Сложным биологическим объектом исследований является корневая система растения. При исследовании влияния агрофизических параметров обрабатываемого слоя почвы на развитие корневой системы кукурузы выявили, что величина показателя фрактальной размерности степени развития корневой системы зависит от принятой технологии основной обработки почвы [18]. Фрактальный подход использовали при количественной оценке формы листовых пластин у растений земляники различных сортов. Установлены связи между морфометрическими признаками, которые позволили предложить способ оценки существенных параметров листового аппарата в полевых и лабораторных условиях с малой погрешностью, позволяющие определять форму листовой пластинки как уникальный признак сорта и характеризовать его вариабельность [19].

Применение методов фрактального анализа позволяет успешно решать задачи кластеризации объектов мониторинга, оценивать их состояние, выявлять аномалии, имеющие последствия для экологической обстановки, а также оценивать развитие аномальных ситуаций [20].

Фрактальный анализ применяют не только к пространственным структурам, но и временным рядам, что позволяет оценить стабильность и прогнозировать дальнейшее направление развития физического и биологического процесса или агроэкосистемы в целом. В области агрофизики и земледелия показана возможность оценки динамики гумусного состояния почв методом определения фрактальной размерности временных рядов [21]. Имеется опыт применения фрактальной размерности временных рядов транспирации растений в светокультуре и естественных условиях. Выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза, о меньших (приближающихся к единице) значениях фрактальной размерности, т.е. более детерминированном процессе при исключении лимитирующих воздействий на биоэнергетические факторы. Чем интенсивнее действие лимитирующих факторов, тем более случайный характер следует ожидать от временного ряд транспирации, при этом его фрактальная размерность будет приближаться к значению 2,0 [22].

Предложен метод анализа признаков фрактальной размерности в спектральной области гиперспектрального изображения для классификации сельскохозяйственных культур. Представлен алгоритм вычисления фрактальной размерности в спектральной области вместе с алгоритмом быстрого вычисления значения фрактальной размерности с использованием метода ступенчатого измерения. Алгоритм и блок-схема классификации гиперспектральных изображений представлены на основе анализа признаков фрактальной размерности в спектральной области. Фрактальный анализ использовали для анализа прогноза характеристик листьев сои двух генотипов. Выявлена различная корреляция между

величиной фрактальной размерности и морфологическими показателями (размеры, форма, площадь листа, его периметр) [23].

Из-за случайных воздействий в процессе развития геометрия отдельных листьев различна, т.е. практически невозможно найти абсолютно одинаковые листья у растения одного вида. Флуктуация фрактальной размерности происходит в соответствии с физиологическими и климатическими изменениями. Разработана методика определения фрактальной размерности листьев растений по их изображению, являющаяся новым подходом к таксономическому изучению растений [24].

При биоиндикации экосистем предложено использовать значения фрактальной размерности левой и правой сторон листьев растений как билатеральных признаков, по которым производится определение их флуктуирующей асимметрии и оценка стабильности развития растений в экосистеме [25].

В настоящее время накопилось достаточно сведений, что в экологически эквивалентных условиях среды обитания могут реализоваться альтернативные биологические и экологические процессы у индивидуальных образцов растений. Давление окружающей среды на растения, способствует запуску индивидуальных, отличных от других растений данного сообщества, ответных адаптивных механизмов. В работе [26] показана возможность применения фрактального анализа для изучения степени стрессовой нагрузки у растений в различных местообитаниях и комбинациях факторов внешней среды.

Фрактальные, масштабно - инвариантные явлений встречаются на различных уровнях организации живого и широко распространены в биологии, от первичной структуры ДНК до экосистем. Их анализ возможен с применением показателя Херста как аналога фрактальной размерности для временных серий. Практически все биологические системы могут быть описаны с позиций синергетики как открытые неравновесные системы, существующие за счет проходящего через них потока вещества и энергии. Для таких диссипативных систем в самом общем виде характерно явление самоорганизации: поддержание потока энергии требует существования сложных структур, формирующихся спонтанно при наличии соответствующего градиента. В отношении эффективности распределения вещества и энергии оптимальными являются критические системы, формирующие в результате своей деятельности масштабно-инвариантные структуры, которые и являются своего рода каналами-распределителями. Таким образом, масштабная инвариантность биологических явлений – естественное следствие их диссипативной природы [27].

Цель работы – исследовать особенности биометрических параметров листьев растений свеклы, в том числе фрактальные свойства листа растения, и оценить их применимость для биоиндикации агроэкосистемы.

Материалы и методы

Растительный материал. В эксперименте использовали три сорта свеклы – *Бона, Бордо 237* и *Египетская плоская*. Розетка листьев свеклы сорта *Бона* полураскидистая. Это среднеспелый (100-120 дней от всходов до технической спелости) сорт. Посев в грунт производится в конце апреля – начале мая по схеме 15х30 см на глубину 2,0-2,5 см. Корнеплод округлый, красный, головка средняя, мякоть темно-красная, нежная, сочная, с

однородной окраской. Масса 250-280 г. Вкусовые качества хорошие. Урожайность 5,5-6,8 кг/м2. Ценность сорта: высокая урожайность и товарность, выравненность корнеплодов, хорошая лежкость. Рекомендуется для использования в свежем виде, для консервирования и хранения [28].

Листья свёклы сорта *Бордо 237* широкие, овальные, с волнистым краем. Цвет пластины зелёный, с ярко выраженными прожилками, окрашенными антоцианами. Поверхность глянцевая, слегка пузырчатая. Листовая розетка полустоячая, средней величины, выглядит компактно. Черешок длинный, с преобладанием антоциановой окраски, поэтому имеет яркий тёмно-розовый оттенок. Корнеплод округлой формы, с небольшой головкой, массой 200–500 г. Поверхность слегка шероховатая. Корнеплод погружен в почву на 1/2–1/3 длины. Мякоть интенсивно темно-красная. Вкусовые качества корнеплодов хорошие и отличные. Сорт относится к среднеранним. Период от полных всходов до технической спелости 62–116 дней. Урожайность составляет 3.5–8.0 кг/м^2. Урожай характеризуется хорошей лежкоспособностью при зимнем хранении. Сорт относительно устойчив к болезням корнеплодов. Склонен к поражению церкоспорозом и пероноспорозом. Рекомендуется для использования в кулинарии и для переработки [29].

Розетка листьев свеклы сорта *Египетская плоская* прямостоячая, высотой около 45 см. Черешки длинные 21–25 см, толщиной 0,6–1,2 см, окрашенные в розово-красный оттенок из-за большого содержания антоцианов, причём наибольшую интенсивность окраска приобретает ближе к концу вегетации. Листовая пластинка среднего размера (длина 16 – 22 см, ширина 12 – 14 см), удлинённая, с широко волнистым краем, зелёного цвета. Поверхность листовой пластинки слабоблестящая, слабопузырчатая, центральная и боковые жилки окрашенные. Корнеплод свеклы имеют плоскоокруглую форму, сильно сплюснут со стороны вершины и основания, выглядит очень аккуратно. Головка маленькая. Осевой корешок средней толщины, длинный. Поверхность гладкая, кожица и осевой корешок окрашены в тёмно-красный цвет. Мякоть сочная, средней нежности, достаточно плотная, тёмно-розово-красная, с фиолетовым оттенком, кольца не ярко выраженные, белых прожилок нет. Вкус очень хороший, сладковатый. Диаметр овоща от 6,5 до 12,5 см, высота – 6 – 8 см. Обычный вес 200 – 300 грамм. По срокам созревания сорт относится к среднеспелым разновидностям. С момента появления первых всходов до начала уборки проходит около 100 – 120 дней. Основной недостаток – плохая устойчивость к церкоспорозу и недостаточная лежкость [30].

Семена свёклы посеяли в торфяной субстрат 7 февраля 2022 г. Всходы появились 10 февраля. После появления первой пары настоящих листьев растения пикировали в контейнеры объёмом 1л с субстратом.

Рис. 1. Всходы свёклы

Параметры микроклимата в помещении поддерживали с помощью автоматической системы управления: температура воздуха днём составляла +23±1,5 С, в ночное время ее понижали на два градуса. Влажность воздуха составляла 55±5 %, субстрата – около 70%. Уровень облученности ФАР составлял 60 Вт·м$^{-2}$. Для освещения использовали светильники тепло-белого света.

Проведение эксперимента и обработка результатов.

Биометрические параметры измеряли 18 марта, на 37-й день после появления всходов. Количество листьев определяли путём подсчёта. Толщину листьев измеряли с помощью микрометра. Для оценки кроны растения с точки зрения возможности захвата ей потока излучения использовали индекс листовой поверхности *LAI* (*Leaf Area Index*), отн.ед., определяемый как отношение общей площади односторонней листовой поверхности к площади горизонтальной проекции кроны, которые находили методом фотограмметрии. Для оценки отношения растений к уровню ресурсов среды обитания и скорости ассимиляции CO_2 находили индекс *LMA* (*Leaf Mass per Area*), мг·см$^{-2}$, как отношение сухой массы листа к его площади. Взвешивание проводили на весах ВЛМ-500. Оценивали содержание пигментов. Содержание хлорофилла в относительных единицах определяли с помощью портативного измерителя ССМ-200, оптическую плотность листьев D_r, D_g и D_b в отдельных диапазонах (синий 425-454 нм, зеленый 518-546 нм и красный 611-645 нм соответственно) определяли с помощью прибора ДП-1М. Биологическая повторность по каждому сорту свеклы составляла пять растений.

При оценке состояния растения как элемента агроэкосистемы при биоиндикации в работе принят метод фрактальной геометрии, согласно которому лист растения (точнее, его жилкование) рассматривается как фрактальная структура. Ее характеристикой является особая величина, описывающая статистическую меру сложности изменения шаблона фрактала при его масштабировании – фрактальная размерность, называемая так же хаусдорфовой размерностью. Размерность фрактала как геометрического объект дробная (нецелая). По существующим представлениям, при изменении условий окружающей среды величина фрактальной размерности так же изменяется, что дает основание использовать ее в качестве показателя в биоиндикационных исследованиях окружающей среды [31].

Для определения фрактальной размерности D область, содержащая фрактал, на каждом этапе разбивается на квадратные клетки размером ε, причем размеры клеток на каждом этапе отличаются. Затем, в каждом случае, подсчитывается число клеток $N(\varepsilon)$, необходимых для покрытия фрактала. По полученным значениям строится график зависимости $\ln N(\varepsilon_i)$ от размера клетки $\ln \varepsilon_i$. Тангенс угла наклона полученной аппроксимирующей прямой является оценкой фрактальной размерности D.

Изображение фрактала представляет собой структуру с размерностью $D \in (1;2)$. Показатель Херста в этом случае вычисляется как $H = 2 - D$. При значениях $H \to 0$ процесс хаотичен, неустойчив (антиперсистентен), что свидетельствует о самосохранении природного объекта. При $H = 1/2$ имеет место случайный (гауссовский) процесс. Этот режим трактуется как экологический оптимум, обеспечивающий устойчивость обменных

взаимодействий природного обьекта с внешней средой. При значениях $H \to 1$ процесс персистентен, т.е. имеет детерминированный характер, обусловленный развитием природного объекта [32]. Обработка графических файлов производилась в программе *ImageJ*.

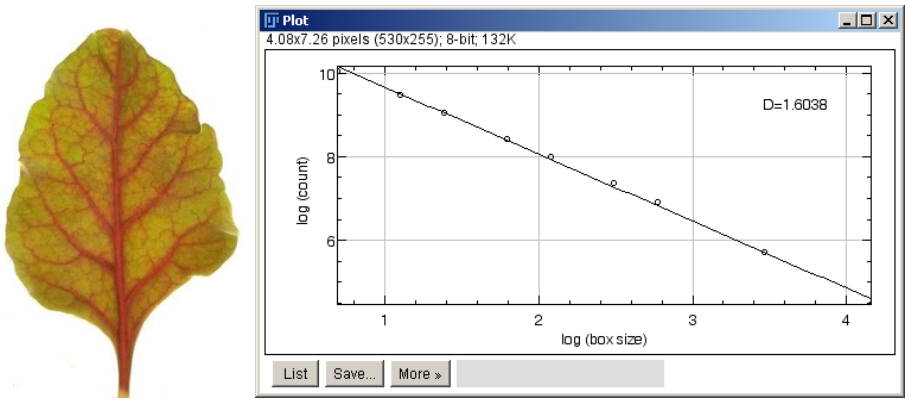

Рис. 2. Изображение листа свёклы и фрактальный анализ его жилкования

в программе ImageJ

Для выявления структуры жилкования листа производили сегментацию изображения и его бинаризацию. Фрактальную размерность находили с помощью инструмента Fractal Box Counter программы (рис. 2). При фотографировании использовали камеру смартфона Xiaomi M1805D1SG. Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики ($p<0.05$) с использованием пакетов программ *Microsoft Office Excel 2003* и *Statistica 6.0*.

Результаты и обсуждение. На рис. 3 показан внешний вид кроны характерных экземпляров растений свёклы сортов (слева направо) *Бона*, *Бордо 237* и *Египетская плоская*. Различия во внешнем виде имеют численное подтверждение в различиях биометрических параметров листьев.

Рис. 3. Растения свёклы трёх сортов

Листья свёклы появляются из центра листовой розетки попарно и расположены оппозитно один к другому. Нумерация листьев на рисунках 4 - 11 соответствует последовательности их появления. Более молодым листьям присвоен бо́льший номер.

Найдено, что более молодые листья имеют бо́льшую сырую массу (рис.4) и меньшую толщину (рис. 5). Для массы статистически значимы сортовые различия: наибольшая масса наблюдается у листьев свёклы сорта *Бордо 237*, наименьшая - *Египетская плоская*. Для толщин листьев сортовые различия не значимы, но наблюдаемая тенденция та же.

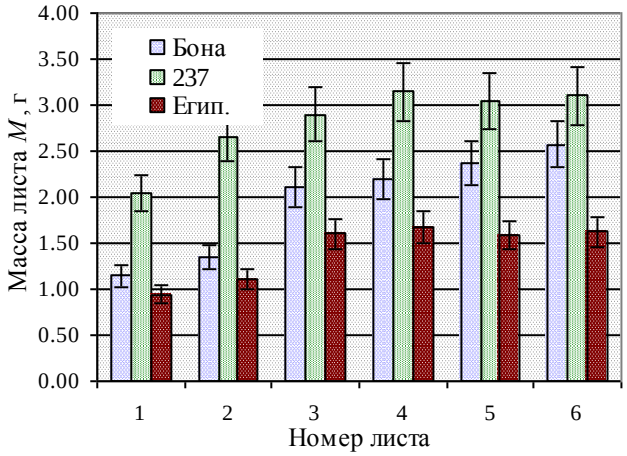

Рис. 4. Масса листьев свёклы

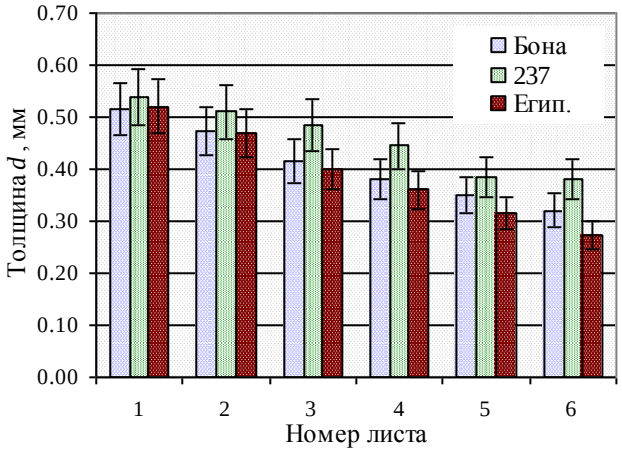

Рис. 5. Толщина листьев свёклы

Геометрические размеры листовой пластинки - длина (рис. 6) и ширина (рис. 7) - монотонно увеличиваются у более молодых листьев. Наибольшие геометрические размеры наблюдаются у сорта *Бона*, наименьшая - *Египетская плоская*. С учётом значений массы и толщины листовой пластинки это означает, что листья сорта *Бона* имеют наименьшую плотность, а сорта *Бордо 237* - наибольшую.

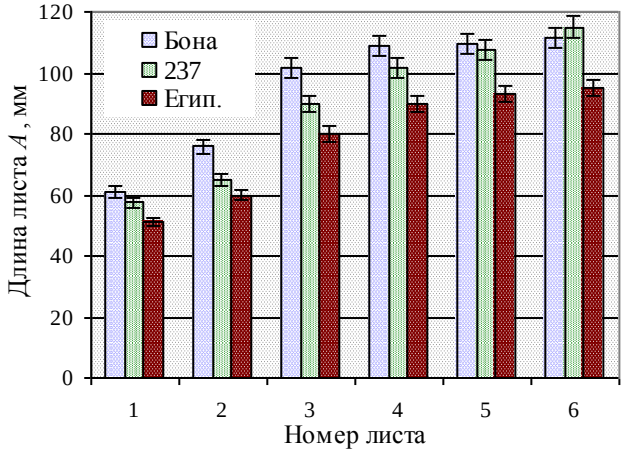

Рис. 6. Длина листьев свёклы

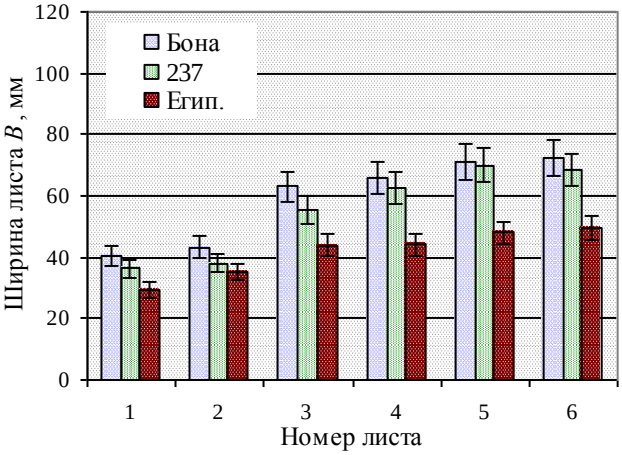

Рис. 7. Ширина листьев свёклы

Оптическая плотность листьев во всех диапазонах бо́льшая у более молодых листьев. В синем диапазоне (рис. 8) наибольшая оптическая плотность у листьев *Бордо 237*. В зелёном диапазоне (рис. 9) наибольшая оптическая плотность у листьев *Египетская плоская*, наименьшая – у сорта *Бона*.

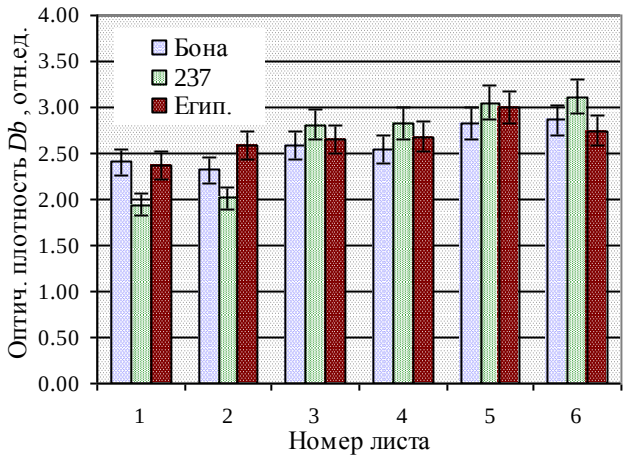

Рис. 8. Оптическая плотность листьев свёклы в синем диапазоне

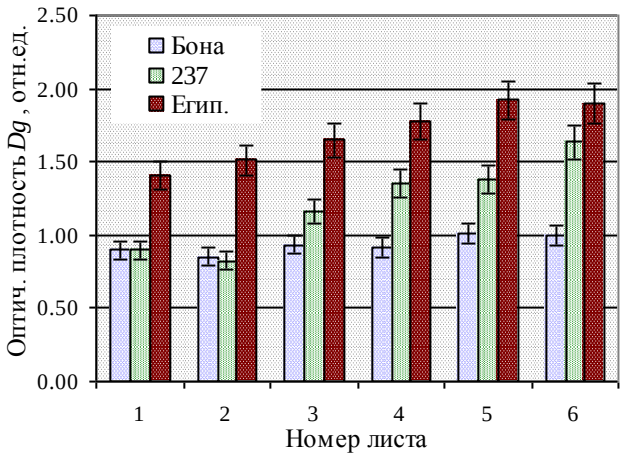

Рис. 9. Оптическая плотность листьев свёклы в зелёном диапазоне

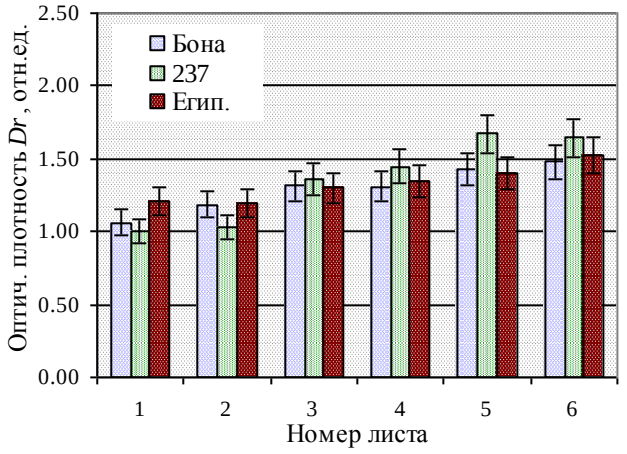

Рис. 10. Оптическая плотность листьев свёклы в красном диапазоне

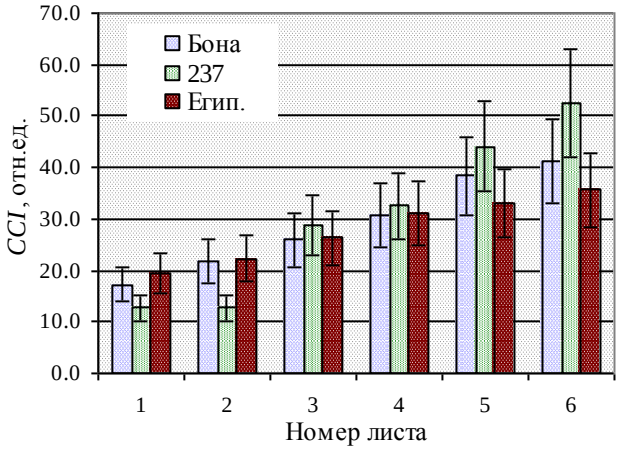

Рис. 11. Содержание хлорофилла в листьях свёклы

В красном диапазоне (рис. 10) наибольшая оптическая плотность у листьев *Бордо 237*. Эти данные свидетельствуют о различной пропорции содержания пигментов в листьях различных сортов. Что касается содержания основного пигмента – хлорофилла (рис. 11), его наибольшее содержание отмечено в листьях *Бордо 237*, наименьшее - в листьях свёклы *Египетская плоская.*

Значения индекса листовой поверхности *LAI* не имеет значимых сортовых отличий (рис. 12). Это свидетельствует об одинаковой структуре кроны. Несморя на различие морфологии листьев их расположение в пространстве таково, что обеспечивается практически одинаковая степень захвата падающего светового потока. Значение индекса *LMA*, характеризующего степень освоения предоставляемых растению ресурсов листовой поверхностью, наибольшее у сорта *Бордо 237* и наименьшее – у сорта *Бона*.

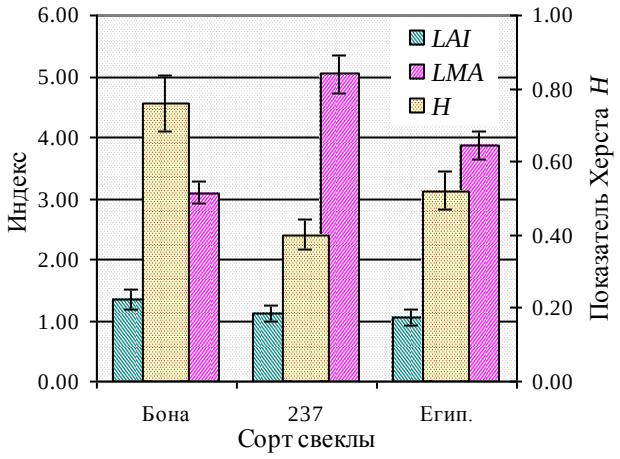

Рис. 12. Значения индексов *LAI, LMA* и показателя Херста *H*

у кроны различных сортов свеклы

Показатель Херста так же имеет значимые сортовые отличия. В большей степени он стремится к единичному значению у сорта *Бона* (*H*=0.76), что интерпретируется как детерминированное развитие растения в данных условиях окружающей среды. У сортов *Бордо 237* и *Египетская плоская* эти значения равны соответственно 0.40 и 0.52, что характерно для экологического оптимума, когда взаимодействие растения с внешней средой устойчиво.

Заключение

В работе рассмотрена возможность применения методов фрактальной геометрии к описанию морфологических особенной жилкования листа растения. Фрактальный подход представляет собой более высокий уровень анализа и понимания развития живых систем. Анализ литературных источников показал, что идеи и методы фрактального анализа, позволяющего упростить понимание сложных процессов, находят широкое применение в различных областях науки. Выявлено, что применение методов и инструментов фрактальной геометрии может быть использовано при проведении биоиндикации наряду с традиционными методами. Подход в биоиндикации, основанный на определении фрактальной размерности биологических объектов, является перспективным, менее трудоёмкими, более точным и удобным. Рассмотрен достаточно простой метод определения фрактальной размерности листа растения путем компьютерной обработки его цифрового изображения. Исследованы биометрические характеристики тест-обьектов для биоиндикации агроэкосистем, в качестве которых использовали листья трех сортов свеклы.

Заявленный вклад соавторов:

Е.Н. Ракутько – проведение эксперимента, фенологические наблюдения; С.А. Ракутько – научное руководство, формулирование основной концепции исследования и структуры статьи, окончательная правка текста; А.Н. Васькин - обработка результатов, черновое написание статьи; Су Цзянь – анализ научных источников, обработка графических файлов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Разин А.Ф., Мещерякова Р.А., Разин О.А., Сурихина Т.Н., Телегина Г.А. Тепличное хозяйство – обзор текущего состояния отрасли АПК России // *Овощи России*. 2020 № 2. С. 3-11. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-2-3-11.

2. Борисов В.А., Разин О.А., Васючков И.Ю., Успенская О.Н. Перспективы развития органического овощеводства в Российской Федерации // *Аграрная Россия*. 2018. № 9. С. 30-34. https://doi.org/10.30906/1999-5636-2018-9-30-34.

3. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А., Перекопский А.Н., Соловьев Я.С., Устроев А.А. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях северо-западного региона Российской Федерации / Материалы международного проекта EFSOA. «Экологически дружественное ум-ное органическое сельское хозяйство» / Санкт-Петербург, 2021. 140 С.

4. Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Канаш Е.В., Архипов М.В., Черноусов И.Н. Научно-технические основы оптимизации продукционного процесса в регулируемой агроэкосистеме // *Агрофизика*. 2011. №1. С. 29-37.

5. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Оценка качества потока излучения в светокультуре как искусственой биоэнергетической систем / *Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления*. Сб. матер. Всерос. конф. с межд. участием (21-23 сентября 2016, Санкт-Петербург, Россия), СПб: АФИ, 2016. С. 108-112.

6. Ракутько С.А. Энергоэкологичность как свойство искусственной биоэнергетической системы светокультуры // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. № 95. С. 77-89.

7. Ракутько С.А. Энергоэкологические основы наилучших доступных технологий светокультуры // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 1 (98). С. 44-60.

8. Бубнов А.Г. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие. Иваново: ГОУ ВПО ИГХТУ. 2007. 112 с.

9. Неверова О.А., Еремеева Н.И. Опыт использования биоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды: аналитический обзор. *Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы.* 2006. № 80. С. 1-88.

10. Радионов А.С., Сердюкова А.В., Шумилов Ю.В. Использование растительно-овощных биоиндикаторов для локально-региональных экологических оценок // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.* 2014. № 5 (21). С. 123-129.

11. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Су Цзянь, Ма Ян. Методы биоиндикационной оценки состояния агроэкосистем: аналитический обзор // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. №1. С. 19-42.

12. Павлов Д.А., Хохлов А.Ф., Шиляев П.А. Динамика изменения фрактальной размерности ростовой поверхности // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Физика твердого тела*. 2001. № 1. С. 114-123.

13. Королев Е.В., Гришина А.Н. Фрактальная размерность как универсальная характеристика параметров структуры и прочности материала // *Региональная архитектура и строительство.* 2020. № 1 (42). С. 5-15.

14. Чалых А.Е., Герасимов В.К., Горшкова О.В., Матвеев В.В. Фрактальная размерность саженаполненных полимеров и эластомеров. Ч. 2. Фрактальная размерность саженаполненных систем // *Каучук и резина*. 2017. Т. 76. № 3. С. 144-147.

15. Красногорская Н.Н., Белозерова Е.А. Методология определения фрактальной размерности водосборной территории // *Гидрометеорология и экология*. 2021. № 62. С. 52-74 DOI:10.33933/2074-2762-2021-62-52-74

16. Ефлов В.Б., Андреев А.А., Колесников Г.Н. Фрактальная размерность изображения древесного композита и характеристики процесса разрушения // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. № 4-1 (9-1). С. 217-220.

17. Арзамасцев А.А., Ушакова Е.В., Слетков Д.В., Исаева И.Ю. О существовании зависимости фрактальной размерности изображений биологических объектов от их морфологических характеристик // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2003. Т. 8. № 1. С. 189-190.

18. Кузыченко Ю.А., Стукалов Р.С., Гаджиумаров Р.Г. Формирование корневой системы кукурузы на зерно при различных системах обработки почвы в зоне центрального предкавказья // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 1 (57). С. 74-81.

19. Аникьев А.А., Федоряка Н.И., Аникьева Э.Н. Способ количественной оценки формы листа как уникального сортового признака и его вариабельности у растений земляники // *Сельскохозяйственная биология*, 2008. Т. 43. № 1. С. 116-122.

20. Акиншин Н.С., Есиков О.В., Чернышков А.И., Савчук К.В. Применение методов фрактального анализа изображений для решения задач мониторинга экологической обстановки // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019. № 10. С. 44-52.

21. Моисеев К.Г., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д. Анализ динамики гумусного состояния почв фрактальными методами // *Агрофизика*. 2014. № 1. С. 1-8.

22. Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. № 2. С. 19-25.

23. Junying Su. A spectrum fractal feature classification algorithm for agriculture crops with hyper spectrum image, Proc. SPIE Volume 8002: 7th International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition (MIPPR2011), 2011, Guilin, China. 2011: 80020R, https://doi.org/10.1117/12.899286

24. Bayirli M., Selvi S., Cakilcioglu U. Determining different plant leaves' fractal dimensions: a new approach to taxonomical study of plants // *Bangladesh Journal of Botany*. 2014. Vol.43. No. 3, pp. 275-283. DOI:10.3329/bjb.v43i3.21593

25. Нафикова Э.В., Елизарьев А.Н., Красногорская Н.Н., Александров Д.В., Дорош И.В. Способ сравнительной оценки загрязнения воздуха по высшим растениям. Патент на изобретение 2736935 C1, 23.11.2020. Заявка № 2020105070 от 03.02.2020.

26. Ivanov V.B., Scherbakov A.V. Assessment of the level of stress on plants of Western Siberian raised bogs by the method of fractal analysis // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, No. 4, pp. 224-237. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-224-237

27. Якимов В. Н., Солнцев Л. А., Розенберг Г. С., Иудин Д. И., Гелашвили Д. Б. Масштабная инвариантность биосистем: от эмбриона до сообщества // *Онтогенез*. 2014. Т. 45. № 3. С. 207-216

28. Свекла Бона. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.ncsemena.ru/shop/semena/ semena_ovoshchey/svekla/ svekla_bona_1-id680039/ (дата обращения: 19.03.2022).

29. Свекла столовая «Бордо 237». [Электронный ресурс] Режим доступа: https://leplants.ru/veta-vulgaris-var-vulgaris-bordo-237 / (дата обращения: 19.03.2022).

30. Сорт свеклы Египетская плоская. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://sortoved.ru/svekla/ sort-svekly-egipetskaya-ploskaya. html (дата обращения: 19.03.2022).

31. Молчатский С.Л., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Применение метода фрактального анализа для биоиндикационной оценки состояния окружающей среды // *Самарский научный вестник.* 2016. № 4 (17). С. 28-31.

32. Кульнев В. В., Насонов А. Н., Цветков И. В., Король Т. С., Шаховская К. А. Биотестирование почв на основе фрактальных характеристик растений // *Принципы экологии*. 2020. № 4 (38). С. 40-53. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10662

REFERENCES

1. Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Razin A.F., Meshcheryakova R.A., Razin O.A., Surihina T.N., Telegina G.A. Teplichnoe khozyaistvo – obzor tekushchego sostoyaniya otrasli APK Rossii [Greenhouse – an overview of the current state of the Russian agricultural sector]. *Ovoshchi Rossii*. 2020. No. 2:3-11 (In Russian) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-2-3-11.

2. Borisov V.A., Razin O.A., Vasyuchkov I.Yu., Uspenskaya O.N. Perspektivy razvitiya organicheskogo ovoshchevodstva v Rossiiskoi Federatsii [Prospects of development of organic vegetable growing in the Russian Federation]. *Agrarnaya Rossiya*. 2018. No. 9: 30-34 (In Russian) https://doi.org/10.30906/1999-5636-2018-9-30-34.

3. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A., Minin V.B., Murzaev E.A., Perekopsky A.N., Solovyov Ya.S., Ustroev A.A. Technologies of organic production of agricultural crop production in the conditions of the north-western region of the Russian Federation / Materials of the international EFSOA project. "Environmentally friendly smart organic agriculture" / St. Petersburg, 2021. 140 P.

4. Panova G.G., Dragavtsev V.A., Kanash E.V., Arkhipov M.V., Chernousov I.N. Nauchno-tekhnicheskie osnovy optimizatsii produktsionnogo protsessa v reguliruemoi agroekosisteme [Scientific and technical fundamentals for optimizing the production process in a conrolled agroecosystem]. *Agrophysics*. 2011. No.1: 29-37 (In Russian)

5 . Rakutko S.A., Rakutko E.N. Otsenka kachestva potoka izlucheniya v svetokul'ture kak iskusstvenoi bioenergeticheskoi sistem [Evaluation of the quality of the radiation flux in light culture as an artificial bioenergetic system]. In: *Agroekosistemy v estestvennykh i reguliruemykh usloviyakh: ot teoreticheskoi modeli k praktike pretsizionnogo upravleniya* [Agroecosystems under natural and controlled conditions: from theoretical model to precision control practice]. Proc. All-

Russia Conf. with Int. Part. 21-23 Sept 2016, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg: AFI, 2016: 108-112 (In Russian)

6. Rakutko S.A. Energoekologichnost' kak svoistvo iskusstvennoi bioenergetiche-skoi sistemy svetokul'tury [Energy and ecological efficiency as the property of the artificial bioenergetic system of indoor plant lighting]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. No. 95: 77-89 (In Russian)

7. Rakutko S.A. Energoekologicheskie osnovy nailuchshikh dostupnykh tekhnologii svetokul'tury [Energy and ecological basis of best available techniques of plant lighting]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 1 (98): 44-60 (In Russian)

8. Bubnov A.G. Biotestovyi analiz – integral'nyi metod otsenki kachestva ob"ektov okruzhayushchei sredy: uchebno-metodicheskoe posobie [Biotest analysis – an integral method for assessing the quality of environmental objects: a teaching aid]. Ivanovo: GOU VPO IGkHTU. 2007. 112 p. (In Russian)

9. Neverova O.A., Eremeeva N.I. Opyt ispol'zovaniya bioindikatorov v otsenke zagryazneniya okruzhayushchei sredy: analiticheskii obzor [Experience of using bioindicators to estimate the pollution of environment: a review]. *Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoi literatury*. 2006. No. 80: 1-88 (In Russian)

10. Radionov A.S., Serdyukova A.V., Shumilov Yu.V. Ispol'zovanie rastitel'no-ovoshchnykh bioindikatorov dlya lokal'no-regional'nykh ekologicheskikh otsenok [Use of plant and vegetable crop bioindicators for local and regional ecological estimates]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus.* 2014. No. 5 (21): 123-129 (In Russian)

11. Rakutko E.N., Rakutko S.A., Jian S., Yang M. Metody bioindikatsionnoi otsen-ki sostoyaniya agroekosistem: analiticheskii obzor [Bioindication methods for the agroecosystems assessment: a review]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No.1: 19-32 (In Russian)

12. Pavlov D.A., Khokhlov A.F., Shilyaev P.A. Dinamika izmeneniya fraktal'noi razmernosti rostovoi poverkhnosti [Dynamic pattern of the fractal dimension of the growth surface]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Fizika tverdogo tela*. 2001. No. 1: 114-123 (In Russian)

13. Korolev E.V., Grishina A.N. Fraktal'naya razmernost' kak universal'naya kharakteristika parametrov struktury i prochnosti materiala [Fractal dimension as a universal characteristic of parameters of the structure and compressive strength of a material]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo.* 2020. No. 1 (42): 5-15 (In Russian)

14. Chalych A.E., Gerasimov V.K., Gorshkova O.V., Matveev V.V. Fraktal'naya razmernost' sazhenapolnennykh polimerov i elastomerov. Ch. 2. Fraktal'naya razmernost' sazhenapolnennykh sistem [Fractal dimensions of carbon black-filled polymers and elastomers. Part 2. Fractal dimensions of carbon black-filled systems]. *Kauchuk i rezina*. 2017. Vol. 76. No. 3: 144-147 (In Russian)

15. Krasnogorskaya N.N., Belozerova E.A. Metodologiya opredeleniya fraktal'noi razmernosti vodosbornoi territorii [Methodology for determining the catchment area fractal dimension]. *Gidrometeorologiya i ekologiya.* 2021. No. 62: 52-74 (In Russian) DOI:10.33933/2074-2762-2021-62-52-74

16. Eflov V.B., Andreev A.A., Kolesnikov G.N. Fraktal'naya razmernost' izobrazheniya drevesnogo kompozita i kharakteristiki protsessa razrusheniya [Fractal dimension of wooden

composite and damage process characteristics]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriya i praktika.* 2014. Vol. 2. No. 4-1 (9-1): 217-220 (In Russian).

17. A. A. Arzamastsev, E. V. Ushakova, D. V. Sletkov, and I. Yu. O sushchestvovanii zavisimosti fraktal'noi razmernosti izobrazhenii biologicheskikh ob"ektov ot ikh morfologicheskikh kharakteristik [On the existence of the dependence between the fractal dimension of images of biological objects and their morphological characteristics]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki.* 2003. Vol. 8. No. 1: 189-190 (In Russian)

18. Kuzychenko Yu.A., Stukalov R.S., Gadzhiumarov R.G. Formirovanie kornevoi sistemy kukuruzy na zerno pri razlichnykh sistemakh obrabotki pochvy v zone tsentral'nogo predkavkaz'ya [Formation of the root corn system grown for grain with various soil tillage systems in the Central Caucasus zone]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie.* 2020. No. 1 (57): 74-81 (In Russian)

19. Anik'ev A.A., Fedoryaka N.I., Anik'eva E.N. Sposob kolichestvennoi otsenki formy lista kak unikal'nogo sortovogo priznaka i ego variabel'nosti u rastenii zemlyaniki [Method of determination of leaf form as unique variety parameter and estimation of its variability in strawberry plants]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2008. Vol. 43. No. 1: 116-122 (In Russian)

20. Akinshin N.S., Esikov O.V., Chernyshkov A.I., Savchuk K.V. Primenenie metodov fraktal'nogo analiza izobrazhenii dlya resheniya zadach monitoringa ekologicheskoi obstanovki [Application of methods of fractal analysis of images to solve the problems of environmental monitoring]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2019. No. 10: 44-52 (In Russian)

21. Moiseev K.G., Boytsova L.V., Goncharov V.D. Analiz dinamiki gumusnogo sostoyaniya pochv fraktal'nymi metodami [Analysis of the dynamics of the humus state of soils by fractal methods]. *Agrofizika*. 2014. No. 1: 1-8 (In Russian)

22. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Rezul'taty issledovanii vliyaniya bioenergeticheskikh faktorov na povyshenie urozhainosti v rastenievodstve [Research results of bioenergetics factors influence on crop production yields increase]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. No. 2: 19-25 (In Russian)

23. Junying Su. A spectrum fractal feature classification algorithm for agriculture crops with hyper spectrum image, Proc. SPIE Volume 8002: 7th International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition (MIPPR2011), 2011, Guilin, China. 2011: 80020R, https://doi.org/10.1117/12.899286

24. Bayirli M., Selvi S., Cakilcioglu U. Determining different plant leaves' fractal dimensions: a new approach to taxonomical study of plants // *Bangladesh Journal of Botany*. 2014. Vol.43. No. 3, pp. 275-283. DOI:10.3329/bjb.v43i3.21593

25. Nafikova E.V., Elizariev A.N., Krasnogorskaya N.N., Aleksandrov D.V., Dorosh I.V. A method for comparative assessment of air pollution by higher plants. Patent for invention of RF No. 2736935, 2020 (In Russian)

26. Ivanov V.B., Scherbakov A.V. Assessment of the level of stress on plants of Western Siberian raised bogs by the method of fractal analysis. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021. Vol. 13, No. 4: 224-237 (In English) DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-224-237

27. Yakimov V. N., Solntsev L. A., Rozenberg G. S., Iudin D. I., Gelashvili D. B. Masshtabnaya invariantnost' biosistem: ot embriona do soobshchestva [Scale invariance of biosystems: from embryo to community]. *Ontogenesis.* 2014. Vol. 45. No. 3: 207-216 (In Russian)

28. Svekla Bona [Bona Beet]. Available at: https://www.ncsemena.ru/shop/semena/semena_ovoshchey /svekla /svekla_bona_1-id680039/ (accessed 19.03.2022) (In Russian)

29. Svekla stolovaya “Bordo 237” [Beetroot “Bordeaux 237”]. Available at: https://leplants.ru/veta-vulgaris-var- vulgaris-bordo-237 (accessed 19.03.2022) (In Russian)

30. Sort svekly Egipetskaya ploskaya [Flat Beet of Egypt variety]. Available at: http://sortoved.ru/svekla/ sort-svekly-egipetskaya-ploskaya. html (accessed 19.03.2022) (In Russian)

31. Molchatsky S.L., Kazantsev I.V., Matveeva T.B. Primenenie metoda fraktal'nogo analiza dlya bioindikatsionnoi otsenki sostoyaniya okruzhayushchei. sredy [Application of fractal analysis for bioindicative evaluation of environment]. Samarskii nauchnyi vestnik. 2016. No. 4 (17): 28-31 (In Russian)

32. Kulnev V. V., Nasonov A. N., Tsvetkov I. V., Korol T. S., Shakhovskaya K. A. Biotestirovanie pochv na osnove fraktal'nykh kharakteristik rastenii [Soil biotesting based on the fractal characteristics of plants]. *Printsipy ekologii*. 2020. No. 4 (38): 40-53 (In Russian) DOI: 10.15393/j1.art.2020.10662

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

УДК 634.11:631.11 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-61-73

ВЫРАЩИВАНИЕ КРОНИРОВАННЫХ САЖЕНЦЕВ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР С ПОМОЩЬЮ ДЛИННЫХ ЧЕРЕНКОВ

Е.П. Безух, канд.с.-х. наук; В.А. Юнин, канд. техн. наук
К.И. Егорова; А.В. Зыков;

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Статья описывает процесс подготовки, прививки и выращивания в защищенном грунте кронированных плодовых саженцев с использованием многолетних ветвей. В экспериментах использовали разные плодовые культуры – яблоню, грушу, сливу, алычу и вишню. Саженцы выращивали в крупногабаритных пленочных теплицах без обогрева. В качестве привоев применяли однолетние неразветвленные ветви, двухлетние разветвленные ветви и 2-х почковые черенки. Прививали как на сеянцевые, так и на клоновые подвои. Прививки выполнялись традиционными способами – улучшенной копулировкой и вприклад с язычком. Характерно, что к однолетним и двухлетним ветвям прививали как один корень, так и два. В результате проведенных экспериментов выявлено, что приживаемость прививок во всех вариантах не была существенно ниже, чем в контроле, несмотря на, казалось бы, усложненный процесс производства. Она зависела как от самой культуры, так и от сортовых особенностей. Благодаря использованию при прививке длинных ветвей удалось за один сезон вырастить качественные саженцы, по параметрам не уступающие двухлетнему посадочному материалу по существующему ГОСТ. Качество срастания подвоев с длинными привоями было на высоком уровне. Опыты показали, что использование для выращивания посадочного материала плодовых культур длинных черенков, в том числе многолетних, позволяет в условиях Северо-Запада России получить за один год стандартные разветвленные саженцы. При конструировании корневой системы саженцев целесообразно использовать два корня независимо от того, сеянцевый это подвой или клоновый. Таким образом, можно сделать следующие выводы: использование зимней прививки, культивационных сооружений, стандартных подвоев и длинных черенков-привоев, полученных в специальных маточниках, позволяет значительно (на порядок) повысить выход посадочного материала с единицы площади и существенно (на 2-3 года) сократить срок его выращивания. Саженцы готовы к посадке на постоянное место в сад в год их выращивания.

Ключевые слова: кронированный саженец**,** плодовая культура**,** длинные ветви, зимняя прививка, защищенный грунт.

Для цитирования: Безух Е.П., Егорова К.И., Зыков А.В., Юнин В.А. Выращивание кронированных саженцев плодовых культур с помощью длинных черенков // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.61-73

GROWING OF FRUIT CROP SEEDLINGS WITH REDUCED CROWN USING LONG CUTTINGS

E.P. Bezukh, Cand. Sc. (Agriculture), K. I. Egorova, A.V. Zykov, V. A. Yunin, Cand. Sc. (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The article describes the preparation, grafting and undercover growing of fruit crop seedlings with reduced crown using perennial branches. The experiments investigated different fruit crops – apple, pear, plum, cherry plum and cherry. The seedlings were grown in large-size plastic greenhouses without heating. The scion wood was one-year-old whips, two-year-old forked branches and two-bud cuttings. Both seedling rootstocks and clonal rootstocks were used for grafting. The experiments applied traditional grafting methods – whip-and-tongue grafting and side-veneer grafting. The characteristic feature of the experiments was that both a single rootstock and two rootstocks were grafted to one-year-old and two-year-old branches. The experiments revealed that the grafting survival rate in all variants was not much lower than in the control variant despite the complicated production process at the first sight. The survival rate depended on both the crop and the characteristics of its varieties. The use of long branches in grafting allowed growing the high-quality seedlings in one season, with their characteristics being as good as the two-year-old planting material according to the relevant State Standard (GOST) in force. The experiments demonstrated the high quality accretion between the rootstocks and long scions. They also proved the feasibility of using long cuttings, perennial cuttings included, for growing the planting material of fruit crops to get the standard branched seedlings in one year under conditions of the North-West Russia. To form the seedling root system, the use of two rootstocks is advised, whatever this rootstock is a seedling rootstock or a clonal rootstock. The experiments lead to the following conclusions: the use of winter grafting, covered cultivation facilities, standard rootstocks and long cuttings as scions from special mother plantations can provide a quantum increase in the yield of planting material per unit area and shorten its cultivation period by 2 to 3 years. Seedlings are ready for planting in a permanent place in the garden the same year they are started.

Key words: seedling with reduced crown, fruit crop, long branch, winter grafting, protected ground.

For citation: Bezukh E.P., Egorova K.I., Zykov A.V. Yunin V.A. Growing of fruit crop seedlings with reduced crown using long cuttings. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 61-73(In Russian)

Введение

В садоводстве значительный интерес представляет культивирование разветвленных сформированных растений. Формирование штамба у таких растений может осуществляться как за счет непосредственно самой культуры – сорта, так и при помощи использования привитого устойчивого штамбообразователя. У плодовых растений значительно повышается устойчивость к неблагоприятным погодным условиям, особенно в районах с суровыми климатическими условиями. В Северо-Западном регионе Российской Федерации отмечаются значительные повреждения штамбов плодовых деревьев, что подтверждено многолетними наблюдениями ученых-исследователей [1]. Закладка плодовых насаждений кронированными саженцами позволит снизить риск их повреждения и повысит экономическую эффективность использования, а также значительно снизит затраты по их дальнейшему квалифицированному формированию в саду. Главной проблемой получения таких растений является продолжительный срок их выращивания в питомнике.

Вопросами ускоренного размножения плодовых растений занимались многие исследователи [2, 3, 4].

На возможность прививки плодовых растений многолетними ветвями указывает В.В. Пашкевич. Черенки, используемые для прививки, могут быть от 1 см до 1,5 м. Можно с успехом прививать 4-5 летние ветви и даже деревья с развитой кроной. По данным А. Шан-Гирея [5] крестьяне Нижегородской и Казанской губернии выращивали дички яблони из семян местных сортов и в 4-5 летнем возрасте прививали простой копулировкой или в расщеп толстыми, многолетними ветвями. Об удачных прививках длинными ветвями яблони в Псковском уезде в течение 15 лет и быстром вступлении таких деревьев в пору плодоношения в 1849 г. сообщает И. Вохин [5]. Также о хороших результатах весенней прививки длинными ветвями длиной от ¾ до 3 аршин и от мизинца до 1 д. в диаметре с разветвлениями, 2-4 летнего возраста сделанных на вишне, сливе, яблоне и груше сообщает в 1886 г. некто Ж.П. [5]. Отмечается, что прививка была выполнена путем улучшенной копулировки, причем ветви были обмазаны раствором глины и коровяка от иссушения, что дало очень хорошие результаты. Опыты были проведены в Киевской губернии. Повышению приживаемости прививок многолетними ветвями способствует обвязывание привитой на стволе ветви мхом. Мох защищает прививку от солнечных лучей и высыхания, так как способен впитывать влагу из воздуха [6]. Большое количество глазков и наличие в одревесневшем черенке питательных запасов способствует быстрому образованию кроны при прививке Н. Гоше [7] удавалось прививать способом улучшенной копулировки черенки от 2 до 4 см толщиной и до 2,5 м длиной, и даже целые кроны. Прививки длинными и многолетними ветвями Н. Гоше назвал «парфорсными». Он рекомендовал шире применять этот способ прививки на практике и отмечал, что он дает возможность ускорить развитие деревьев и их плодоношение на несколько лет. Такая прививка способна совершить чудеса, а для ее выполнения требуются лишь некоторая сноровка, хотя как замечал Н. Гоше и не в такой степени, как многие думают. Парфорсные прививки допускают возможность перенесения на подвой ветвей, несущих достаточное количество глазков для образования кроны, точно так же, как и возможность получения, сразу недостающих частей кроны, для образования которых потребовался бы, по крайней мере, лишний год. Достигается возможность перенесения на стволы уже готовых крон с необходимым количеством ветвей, чем экономится два-три года. В первое время после прививки, как отмечает Н. Гоше [7] их развитие идет туго и медленно (иногда они не развиваются целый месяц). Однако, в

последствии развитие побегов идет очень быстро. О технике выполнения парфорсной прививки в 1896 г. сообщает Ф. Ракуш [8]. Однако целый ряд вопросов так и остался не решенным.

На Северо-Западе РФ, при зимней прививке в связи со слабым ростом однолеток в питомнике, для получения кронированных саженцев плодовых культур требуется, по сравнению с более южными регионами, дополнительно еще 1-2 года. В настоящее время в регионе не отработаны приемы, позволяющие существенно сократить сроки получения кронированных саженцев.

В результате 20-летних исследований в институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства выявлены (главные) элементы технологического цикла получения кронированных саженцев основных плодовых культур, влияющие на сокращение времени их производства.

Объекты и методы исследований

Все исследования сделаны в институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП). Исследования проведены комплексно во всех звеньях плодового питомника, начиная с выращивания семенных и клоновых подвоев, получения привойного материала в специальных маточно-черенковых насаждениях и заканчивая непосредственно выращиванием саженцев. Для получения кронированных саженцев яблони, груши, сливы, алычи и вишни использовали зимнюю прививку разновозрастных черенков (ветвей) разного размера к клоновым и семенным подвоям с последующим выращиванием симбионтов в защищенном грунте. Прививка выполнялась в конце февраля способом копулировки или вприклад с язычком. Стратификация прививок проводилась в полиэтиленовых пакетах. В качестве защищенного грунта использовали арочные крупногабаритные пленочные необогреваемые теплицы. Прививка выполнялась черенками обычной (стандартной) длины (2-3 почки), удлиненными черенками (60 см) и двухлетними кронированными черенками, полученными в специальных маточно-черенковых насаждениях интенсивного типа.

Исследования проводились согласно Методике проведения исследований с плодовыми и ягодными растениями [9]. Биометрические показатели привойного материала оценивались по существующим ГОСТ [10]. Математическая обработка данных проводилась согласно указаниям по Б.А. Доспехову [11].

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что при производстве саженцев яблони наиболее эффективным является использование однолетних и двулетних, предварительно сформированных в маточнике ветвей в сочетании с многокомпонентной зимней прививкой (табл. 1).

Таблица 1

Биометрические показатели саженцев яблони, выращенных за пять месяцев различными способами

Вариант	Приживаемость, %	Высота штамба, см	Диаметр штамба, мм	Количество боковых ветвей, шт.	Общий прирост, см
Осеннее полосатое					
Подвой/однолетняя ветвь-сорт	98	40-60	15,8	3	152,8
Подвой/2-почковый черенок-сорт	97	40-60	8,9	0	86,0
$НСР_{05}$			1,35	1,00	10,08
Мелба					
Подвой/однолетняя ветвь-сорт	98	40-60	15,0	5	290,2
Подвой/2-почковый черенок-сорт	97	40-60	10,5	0	75,1
$НСР_{05}$			1,80	2,21	21,24
Китайка Санинская					
Подвой/2-летняя ветвь-сорт	90	40-60	16,0	10	252,0
Подвой/2-почковый черенок-сорт	95	40-60	9,2	0	89,1
$НСР_{05}$			1,37	2,12	12,31
Балтика					
Подвой / 2-летняя сформированная ветвь-сорт	92	40-60	18,7	6	111,3
Подвой/2-почковый черенок-сорт	96	40-60	8,0	0	85,0
$НСР_{05}$			1,86	2,30	20,42

Использование защищенного грунта и современных материалов для выполнения обвязки, стратификации и хранения длинномерных прививок позволили, как видно из представленной таблицы, добиться высокой приживаемости растений, не уступающей контролю. Суммарный прирост надземной части растений оказался прямо пропорциональным возрасту и размеру используемых для прививки частей растения. Саженцы яблони, привитые на клоновые подвои, по сравнению с сеянцами имели в течение вегетации более выровненный рост. Использование разновозрастных черенков (ветвей) при сочетании зимней прививки и защищенного грунта (пленочные необогреваемые теплицы) позволили существенно увеличить выход стандартных саженцев яблони с единицы площади. Наибольшее количество боковых ветвей получено при использовании 2-летних ветвей во всех вариантах. Использование данных приемов получения разветвленных саженцев позволяет использовать нестандартный подвойный и привойный материал. Причем в качестве подвоев можно использовать как недогон, так и переростки, а в качестве привоев – однолетние ветви, давшие в маточнике преждевременные боковые разветвления.

Разработанные приемы получения саженцев плодовых культур с использованием привоев различного возраста позволили сократить срок их выращивания на 2-3 года по сравнению с общепринятой технологией. Данные приемы с успехом использованы при выращивании саженцев яблони, груши и сливы. Выращенные саженцы по своим биометрическим показателям соответствовали отраслевым стандартам на двухлетний посадочный материал (табл. 2).

Таблица 2

Биометрические показатели саженцев плодовых культур, выращенных за 150 дней с использованием длинных черенков

Сорт	Показатели							
	Высота, см	Диаметр штамба, мм	Боковые ветви		Преждевременные ветви		Суммарный прирост надземной части, см	Длина центрального побега продолжения, см
			кол-во, шт.	Длина, см	кол-во, шт.	длина, см		
Яблоня								
Мелба	169,8	16,6	7,0	61,3	3,0	17,1	550,4	103,0
Антоновка	136,0	13,8	3,6	40,2	1,6	6,8	246,4	75,0
Антей	169,3	15,0	4,6	50,9	2,1	15,9	370,3	100,7
НСР05	10,21	0,86	1,10	9,15	0,96	8,12	22,31	10,22
Груша								
Чижевская	167,5	14,3	5,0	49,4	1,8	11,8	352,2	100,0
Отрадненск	180,5	14,4	5,1	49,5	3,8	20,4	436,8	112,6

ая								
НСР05	10,02	0,58	1,00	9,20	1,17	8,02	21,45	10,03
Слива								
Волжская красавица	195,0	15,7	3,8	67,0	3,7	36,8	519,5	126,3
Ренклод колхозный	194,0	14,0	5,2	54,7	1,2	27,0	439,4	123,0
НСР05	9,11	0,54	1,12	10,03	1,21	8,10	20,44	10,23

Полученные саженцы имели достаточное количество длинных основных боковых ветвей и образовали побеги второго порядка из преждевременно проснувшихся почек. Тенденция к образованию преждевременных побегов у саженцев отмечена на всех породах. На биометрические показатели выращенных саженцев, как и следовало ожидать, оказали влияние породные и сортовые особенности культур.

Современные технологии и материалы позволяют в настоящее время эффективно использовать давно забытые, а иногда и казавшиеся абсурдными, приемы и идеи прошлых лет. Правильно подобранные компоненты прививки, максимально дешевый защищенный грунт с использованием солнечного обогрева и полиэтиленовой пленки длительного срока использования позволили получить стандартные разветвленные саженцы яблони с использованием однолетних ветвей (табл.3).

Таблица 3

Биометрические показатели и выход стандартных саженцев яблони с использованием однолетних ветвей

Сорт	Высота растения, см	Диаметр штамба, мм	Процент растений, имеющих боковые разветвления	Выход стандартных саженцев тыс.шт./га
Антоновка обыкновенная	104	9,0	32	171,1
Мелба	124	9,2	62	214,2
Теллисааре	116	9,0	50	179,3
НСР05	3,57	0,21	-	21,40

Биометрические показатели выращенных саженцев в основном зависели от сортовых особенностей. Наиболее высокими они были по сорту Мелба. Характерно, что от 32 до 62 % саженцев имели боковые разветвления. Это позволило приступить к формированию их кроны уже в питомнике. Как видно из табл. 3, оказали влияние сортовые особенности и на выход стандартных саженцев. Используемый метод позволил получить в пересчете на 1 га до

214, 2 тыс.шт. саженцев яблони, что в 9-10 раз больше и на 2-3 года раньше, чем по стандартной общепринятой технологии.

Предлагаемая технология с успехом может быть использована для выращивания саженцев сливы, алычи и вишни. Выращенные экспериментальные саженцы по своим биометрическим показателям соответствовали отраслевым стандартам на двухлетний посадочный материал (табл.4).

Таблица 4

Биометрические показатели саженцев косточковых культур с использованием однолетних ветвей (продолжительность выращивания саженцев 150 дней)

Сорт	Высота растения, см	Диаметр штамба, мм	Кол-во боковых ветвей, шт.	Длина боковых ветвей, см	Суммарный прирост, см
Слива					
Волжская красавица	195,0	16,0	4	67,0	519,5
Вишня					
Рязаночка	205,0	18,0	8	74,2	1127
Алыча					
Подарок СПб	221,2	19,2	4	124,0	1228,8

Следует отметить, что полученные саженцы имели не только достаточное количество длинных основных боковых разветвлений, но и образовали побеги второго порядка из преждевременно проснувшихся почек (рис. 1).

а б в

Рис. 1. Саженцы, выращенные с применение привоев штамбообразователей:
а – вишня; б – слива; в – алыча.

Образование преждевременных побегов отмечено как на косточковых, так и на семечковых культурах. Наибольшим суммарным приростом, за счет преждевременно образовавшихся побегов, как видно из табл. 4, обладали саженцы алычи.

Дальнейшие исследования показали, что использование длинных черенков вне зависимости от варианта конструирования корневой системы позволило за один год вырастить стандартные разветвленные саженцы яблони (рис. 2).

а б

Рис. 2. Однолетние разветвленные саженцы яблони выращенные из длинных однолетних черенков на двух корнях:
а – сорт Теллисааре; б – сорт Антоновка обыкновенная.

В контрольном варианте по всем сортам таких саженцев не получено. Установлено, что разные варианты конструирования корневой системы оказали существенное влияние на качество выращенных саженцев яблони (табл. 5).

Таблица 5

Биометрические показатели разветвленных саженцев яблони полученных с использованием длинных черенков (в среднем за два года)

Сорт (фактор А)	Вариант конструирования корневой системы (фактор В)	Высота растений, см	Диаметр штамба, мм	Кол-во боковых ветвей, шт.	Длина боковых ветвей, см	Длина корней, см
Антоновка обыкновенная	один корень	113,8	12,0	2,0	28,6	32,5
	два корня	140,1	14,2	3,3	35,8	35,0
	контроль	90,3	7,8	0	-	-
Мелба	один корень	147,0	12,6	2,8	28,4	30
	два корня	161,1	16,0	5,7	48,3	33,3

	контроль	101,3	8,0	0	-	-
Папировка	два корня	177,0	16,6	4,1	55,3	35,0
	контроль	112,1	8,0	0	-	-
НСР05 (А)		7,63	0,51	0,70	5,64	2,50
НСР05 (В)		10,71	1,62	0,81	5,43	2,32

Наилучшими биометрическими показателями обладали саженцы всех сортов в варианте с использованием двух корней. Разница по высоте растений в вариантах с использованием двух и одного корня по сорту Мелба составила 14,1 см, а по сорту Антоновка обыкновенная – 26,3 см. Еще более существенные различия по этому показателю отмечены при сравнении этих вариантов с контролем. Установлено, что значительное влияние вариант конструирования корневой системы саженцев оказал на такой показатель как диаметр штамба. В варианте с использованием двух корней он в 1,2-1,3 раза превышал вариант с использование одного корня и в 1,8-2,1 раза контроль. Использование длинных черенков позволило получить саженцы с двумя-шестью боковыми ветвями. Причем наибольшим количеством боковых ветвей и большей их длиной выделялись саженцы в варианте с использованием двух корней. Длина корневой системы саженцев по всем сортам была большей в варианте с использованием двух корней. Существенное влияние на биометрические показатели выращенных саженцев яблони оказали сорта. Наиболее высоким качеством отличались саженцы Мелбы и Папировки. Вместе с тем сорта не оказали существенного влияния на длину корневой системы.

Срастание компонентов прививки во всех вариантах было прочным и не вызывало нареканий (рис. 3).

Рис. 3. Качество срастания компонентов при прививке на два клоновых подвоя.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: использование зимней прививки, культивационных сооружений, стандартных подвоев и длинных черенков-привоев, полученных в специальных маточниках, позволяют значительно (на порядок) повысить выход посадочного материала с единицы площади и существенно (на 2-3 года) сократить

срок его выращивания. Саженцы готовы к посадке на постоянное место в сад в год их выращивания.

Выводы

1. Использование для выращивания посадочного материала яблони длинных черенков (в том числе многолетних) позволяет в условиях Северо-Запада России получить за один год стандартные разветвленные саженцы.

2. На выход и качественные характеристики саженцев существенное влияние оказывают сортовые особенности растений.

3. При конструировании корневой системы саженцев целесообразно использовать два корня независимо сеянцевый это подвой или клоновый.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перекопский А.Н., Зыков А.В., Юнин В.А., Егорова К.И. Методология построения зонально-адаптивной машинной технологии производства плодов и ягод с минимальным антропогенным риском для качества продукции и окружающей среды // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2021. № 53 С.14-17.

2. Безух Е.П. Выращивание посадочного материала плодовых культур на Северо-Западе РФ. Монография. СПб.: ИАЭП. 2020. 201 с.

3. Арестова Н. О., Рябчун И. О. Зависимость совместимости сорто-подвойных пар винограда от активности окислительных ферментов их компонентов // *Адаптивный потенциал и качество продукции сортов и сорто-подвойных комбинаций плодовых культур*: матер. межд. научн.-практ. конф. Орел: ВНИИСПК, 2012. С. 11-15.

4. Van Nocker S., Gardiner S. Breeding better cultivars, faster: applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops. *Horticulture Research*. 2014. Vol 1: 14022; DOI: 10.1038/hortres.2014.22

5. Безух Е. П., Юнин В. А., Зыков А. В. Выращивание однолетних саженцев яблони в теплицах разного объема по уплотненным схемам посадки //*Аграрный научный журнал*. 2022. № 2. С. 14–17. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp14-17.

6. A Beginner's Guide to Fruit and Vegetable Gardening [online] Available at: https://www.sparkpeople.com/resource/nutrition_articles.asp?id=1292 (accessed 16. 04. 2022)

7. Безух Е.П., Зыков А.В. Использование мульчирующих материалов при выращивании саженцев яблони и груши в малогабаритных пленочных теплицах // *Аграрная наука.* 2021. № 351 (7-8). С. 109–114. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-109-114

8. Прививка плодовых деревьев, сроки и методы прививки [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://obrezka-master.ru/articles/privivka.htm (дата обращения 16.04.2022).

9. Седов Е.Н., Огольцова Т.П. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.

10. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинько О.В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2019. 88 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rucont.ru/efd/714390 (дата обращения: 16.05.2022)

11. Картечина Н.В., Бутенко А.И, Брижанский Л.В., Пчелинцева Н.В., Бобрович Л.В. Статистическая оценка динамики роста и плодоношения яблони // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 31-36.

REFERENCES

1. Perekopsky A.N., Yunin V.A., Zykov A.V., Egorova K.I. Metodologiya postroeniya zonal'no-adaptivnoi mashinnoi tekhnologii proizvodstva plodov i yagod s minimal'nym antropogennym riskom dlya kachestva produktsii i okruzhayushchei sredy [Methodology for creation of production technology of fruits and berries with minimum anthropogenic risks for quality of products and environment]. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2021. No. 53: 14-17 (In Russian)

2. Bezukh E.P. Vyrashchivanie posadochnogo materiala plodovykh kul'tur na Severo-Zapade RF. Monografiya [Growing planting material for fruit crops in the North-West of the Russian Federation. Monograph]. Saint Petersburg: IEEP. 2020. 201 p. (In Russian)

3. Arestova N. O., Ryabchun I. O. Zavisimost' sovmestimosti sorto-podvoinykh par vinograda ot aktivnosti okislitel'nykh fermentov ikh komponentov [[The dependence of the compatibility of cultivar-rootstock pairs of grapes on the activity of oxidative enzymes of their components]. *Adaptivnyi potentsial i kachestvo produktsii sortov i sorto-podvoinykh kombinatsii plodovykh kul'tur* [Adaptive potential and product quality of varieties and variety-rootstock combinations of fruit crops]. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. Orel: VNIISPK, 2012: 11-15 (In Russian)

4. Van Nocker S., Gardiner S. Breeding better cultivars, faster: applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops. Horticulture Research. 2014. Vol 1: 14022; DOI: 10.1038/hortres.2014.22

5. Bezukh E. P., Yunin V. A., Zykov A. V. Vyrashchivanie odnoletnikh sazhentsev yabloni v teplitsakh raznogo ob"ema po uplotnennym skhemam posadki [Cultivation of annual apple seedlings according to compacted planting schemes in greenhouses of different volumes]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal.* 2022. No. 2: 14–17 (In Russian) DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp14-17.

6. A Beginner's Guide to Fruit and Vegetable Gardening [online] Available at: https://www.sparkpeople.com/resource/nutrition_articles.asp?id=1292 (accessed 16. 04. 2022)

7. Bezukh E.P., Zykov A.V. Ispol'zovanie mul'chiruyushchikh materialov pri vyrashchivanii sazhentsev yabloni i grushi v malogabaritnykh plenochnykh teplitsakh [The use of mulching material in the cultivation of apple and pear in small plastic greenhouses]. *Agrarnaya nauka*. 2021. No. 351 (7-8): 109–114 (In Russian) DOI: 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-109-114

8. Privivka plodovykh derev'ev, sroki i metody privivki [Grafting of fruit trees, timing and methods]. [online]. Available at: https://obrezka-master.ru/articles/privivka.htm (accessed 16.04.2022) (In Russian)

9. Sedov E.N., Ogol'tsova T.P. Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur [Programme and methodology for the study of fruit, berry and nut crops]. Orel: VNIISPK, 1999. 608 p. (In Russian)

10. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Kondrat'eva O.V., Fedorov A.D., Slin'ko O.V. Analiz sostoyaniya i perspektivnye napravleniya razvitiya pitomnikovodstva i sadovodstva: nauchnyi analiticheskii obzor [Analysis of the state and trends in nursery and horticulture development: a review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 88 p. [online]. Available at: https://rucont.ru/efd/714390 (accessed: 16.05.2022) (In Russian)

11. Kartechina N.V., Butenko A.I, Brizhanskii L.V., Pchelintseva N.V., Bobrovich L.V. Statisticheskaya otsenka dinamiki rosta i plodonosheniya yabloni [Statistical estimation of apple tree growth and fruiting dynamics]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2018. No. 2: 31-36 (In Russian)

УДК 631/635 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-73-83

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ КОМПОСТОВ

А.М. Захаров, канд. техн. наук; Д.Ю. Иванов
Е.А. Мурзаев;

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Развитие агропромышленного комплекса, в том числе животноводства, нацелено на производство требуемого количества мясной и молочной продукции. Однако это влечёт за собой и поступление большого количества продуктов жизнедеятельности животных. Современные методы переработки навоза и помета обеспечивают получение высококонцентрированных удобрений, которые являются основным средством повышения плодородия почвы. Авторами выполнен аналитический обзор рынка сельскохозяйственных машин для внесения твёрдых органических удобрений и представлена их классификация по способу внесения, по типу разбрасывающего механизма и по механизму подачи к разбрасывателю. Патентный поиск и анализ литературных источников показали, что машины, способные обеспечить требуемую дозу при внесении концентрированных твёрдых органических удобрений, слабо представлены на современном рынке сельскохозяйственной техники. Разработана конструктивная схема комбинированного агрегата для дифференцированного внесения концентрированных твёрдых органических удобрений. Были проведены расчеты максимальной подачи удобрения дозирующей системой машины к направляющим лоткам, часовой производительности шнека, рабочей площади поперечного сечения шнека, диаметра вала шнека, шага винта и максимальной частоты вращения шнека. В результате были установлены следующие требуемые конструктивные параметры рабочего органа дозирующей системы: диаметр винта шнека 20 см, исходя из которого диаметр вала шнека составил 4 см, рабочая площадь поперечного сечения шнека 302 см^2, и шаг винта – 20 см. С целью подтверждения расчётных данных необходима разработка дозирующей системы в качестве стенда для проведения полунатурного моделирования процесса дозирования ферментированных компостов.

Ключевые слова: дозирующая система, ферментированный компост, внесение, конструктивные параметры.

Для цитирования: Захаров А.М., Мурзаев Е.А., Иванов Д.Ю. Обоснование конструктивных параметров дозирующей системы машины для внесения компостов // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.73-83

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF A DOSING SYSTEM FOR A COMPOST APPLICATION MACHINE

A.M. Zakharov, Cand. Sc. (Engineering), D.Yu. Ivanov
E.A. Murzaev,

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The advancement of the agro-industrial complex, including livestock husbandry, aims at producing the required amount of meat and dairy products. Yet, this also entails accumulation of a bulk of animal waste. Modern methods of animal and poultry manure processing provide highly concentrated fertilisers, which are the main tools to improve soil fertility. The authors reviewed the market of agricultural machines for field application of solid organic fertilisers and ranged them by the application technique, the type of spreading mechanism and the feed mechanism to the spreader. From the patent search and analysis of literary, the machines, which could ensure the required spreading dose of concentrated solid organic fertilisers, are thinly represented on the modern market of agricultural machinery. A design scheme of a combined unit for differentiated application of concentrated solid organic fertilisers was developed. The maximum fertilizer supply by the dosing system of the machine to the guide trays, the hourly productivity of the screw, the working area of the screw cross section, the screw shaft diameter, the screw pitch and the maximum screw speed were calculated. The calculation results were the following required design parameters of the working body of the dosing system: the screw diameter of 20 cm, based on which the screw shaft diameter was 4 cm; the screw working cross-sectional area of 302 cm^2, and the screw pitch of 20 cm. To verify the calculated data, a dosing system as a stand for semi-natural simulation of the dosing process of fermented composts needs to be designed.

Key words: dosing system, fermented compost, soil application, design parameters

For citation: Zakharov A.M., Murzaev E.A., Ivanov D. Yu. Justification of design parameters of a dosing system for a compost application machine. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 73-83 (In Russian)

Введение

В Северо-Западном регионе Российской Федерации активно развивается агропромышленный комплекс, в частности животноводство и птицеводство. В связи с этим возрастает количество вырабатываемого предприятиями навоза и помета, что приводит к проблемам их утилизации. Данный продукт является ценным органическим веществом,

использование которого в качестве удобрений позволяет повышать плодородие почв. Однако если навоз и помет не применять в качестве органического удобрения, они теряют свои свойства и становятся источником загрязнения окружающей среды [1].

Основной проблемой применения отходов жизнедеятельности животных и птиц в сельскохозяйственном производстве, как удобрения, являются длительные сроки обеззараживания от патогенной микрофлоры и семян сорных растений [2]. Для уменьшения времени обеззараживания навоза и помета применяется компостирование в биореакторах, которое заключается в принудительном насыщении массы кислородом, что ускоряет разогрев приготавливаемой смеси и протекании биоферментации. Данный способ обеззараживания не только ускоряет приготовление удобрения, а также сокращает потери органического вещества и питательных элементов. В результате биоферментации в биореакторах получаются ферментированные компосты с высоким содержанием питательных веществ. Например, в компосте «Биагум», произведенном из куриного помета в биореакторе, разработанным в НИИ ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, содержание азота находится на уровне 2,0 %.

В связи с получением высокопитательных ферментированных компостов возникает вопрос о средстве для их внесения. Особо значимо это для производства органической продукции, по причине того, что по ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации» в год на один гектар сельхозугодий запрещается вносить более 170 кг азота, что соответствует дозе внесения Q_{mzx} = 8,5 т/га для удобрений с содержанием азота 2%.

В связи с тем, что в Российской Федерации все большую популярность обретает органическое производство продукции растениеводства [3,4], которое подразумевает отказ от использования минеральных удобрений, фермерам необходимо использовать твердые органические удобрения (ТОУ). Поскольку использование ТОУ обременяется высокими экономическими издержками и жесткими агротребованиями к их эффективному использованию, все больше находит место применение концентрированных органических удобрений (КОУ), к которым относятся и ферментированные компосты, внесение которых необходимо с низкой дозировкой.

Машины, способные выдержать необходимую дозировку ферментированных компостов без потери качества выполняемых работ, в настоящее время слабо представлены на рынке. Поэтому необходима разработка машины для внесения ферментированных компостов с дозирующей системой, способной к их внесению с малыми дозами.

В связи с вышесказанным целью исследования является разработка и обоснование конструктивных параметров дозирующей системы машины для внесения ферментированных компостов.

Материалы и методы

В настоящее время на рынке сельскохозяйственной техники существует несколько типов машин для внесения ТОУ. Наиболее распространены машины, которые осуществляют внесение ТОУ, с вертикальными или горизонтальными разбрасывающими механизмами.

Примерами машин с горизонтальным размещением разбрасывающего рабочего органа являются МТТ-9, ПРТ-7А [5], (рис. 1) и др. Привод разбрасывающего рабочего органа 2 осуществляется от вала отбора мощности (ВОМ). Подача ТОУ к рабочему органу осуществляется цепочно-планчатым транспортером 3, расположенным на дне кузова 1.

Рис. 1. Разбрасыватель ПРТ-7А

1 – кузов; 2 – разбрасывающий рабочий орган; 3 – цепочно-планчатый транспортер.

Разновидностью вышеуказанного типа разбрасывающего механизма является комбинированный разбрасывающий рабочий орган, который состоит из измельчающих горизонтальных барабанов и разбрасывающих дисков (МТУ-18-1, PTU-18D).

Машины с вертикальным расположением разбрасывающих рабочих органов более распространены на современном рынке сельскохозяйственной техники, поскольку позволяются вносить ТОУ на большую ширину. Также их конструкцией, как и у машин с горизонтальными рабочими органами, предусмотрено снятие с кузова 3 разбрасывающего механизма 2, что позволяет использовать машину для транспортировки грузов. Примерами машин с данным видом разбрасывающего механизма являются ПСП-20НР, МТУ-18, PTU-20B, Samson SP 15 [6] (рис. 2), N277 CERBERUS.

Рис. 2. Разбрасыватель Samson SP 15

1 – цепочно-планчатый транспортер; 2 – разбрасывающий механизм; 3 – кузов; 4 – надставной борт кузова.

Компания Kuhn Group выпускает машины SL 100 SERIES [7] (рис. 3) и SLC 100 SERIES с принципиально другой схемой работы. Механизм данных машин выполнен в виде барабана с закреплёнными на нем восемнадцатью специальными молотками 4, которые производят разбрасывание в левую сторону по ходу движения МТА. Данная конструкция

отличается от аналогов не только разбрасывающим механизмом, но и механизмом подачи к разбрасывателю, который состоит из двух шнеков 2 и 3, расположенных на разных уровнях в кузове 1. Они выполняют функции, как измельчения, так и транспортировки.

Рис. 3. Схема движения ТОУ в разбрасывателе Kuhn SL 100 SERIES
1 – кузов; 2 – верхний шнековый транспортер; 3 – нижний шнековый транспортер; 4 – молотковый разбрасывающий рабочий орган.

Использование выше представленных машин возможно только при условии поверхностного внесения ТОУ, они не имеют возможности корректировать дозу вносимых удобрений во время работы, а вносимые минимальные дозы, на таких агрегатах, превышают необходимые для внесения ферментированных компостов в несколько раз.

Другим типом машин, для внесения ТОУ является DEA [8] (рис. 4) от испанской фирмы Id-David.

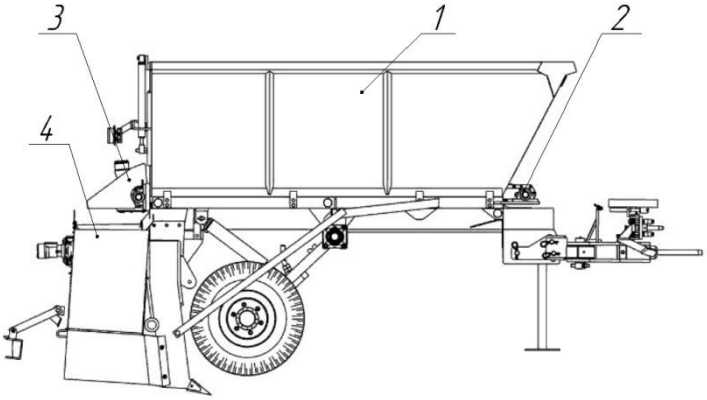

Рис. 4. Разбрасыватель DEA
1 – кузов; 2 – скребковый транспортер; 3 – измельчающий механизм; 4 – адаптер для внутрипочвенного внесения.

Транспортно-дозирующая система агрегата представляет собой скребковый транспортер 2, к которому монтируются адаптеры для выполнения внутрипочвенного внесения 4, разбрасывания ТОУ, подкормки растений и других операций, связанных с внесением органических удобрений. По техническим характеристикам, представленная машина обеспечит требования для внесения ферментированных компостов, но

использование такого агрегата в условиях Северо-западного региона РФ осложняется рядом факторов:

- тяжелые почвенные условия;
- высокая каменистость почв;
- повышенная влажность почвы в осенний или весенний периоды;
- высокие затраты на запасные части и обслуживание.

Проведенный патентный поиск и анализ литературных источников позволяет разработать классификацию машин для внесения ТОУ (рис. 5).

Рис. 5. Классификация машин для внесения ТОУ

Результаты и обсуждение

С учётом вышесказанного, в ИАЭП разработана конструкция комбинированной машины для дифференцированного внесения ферментированных компостов, конструктивная схема которой представлена на рисунке 6.

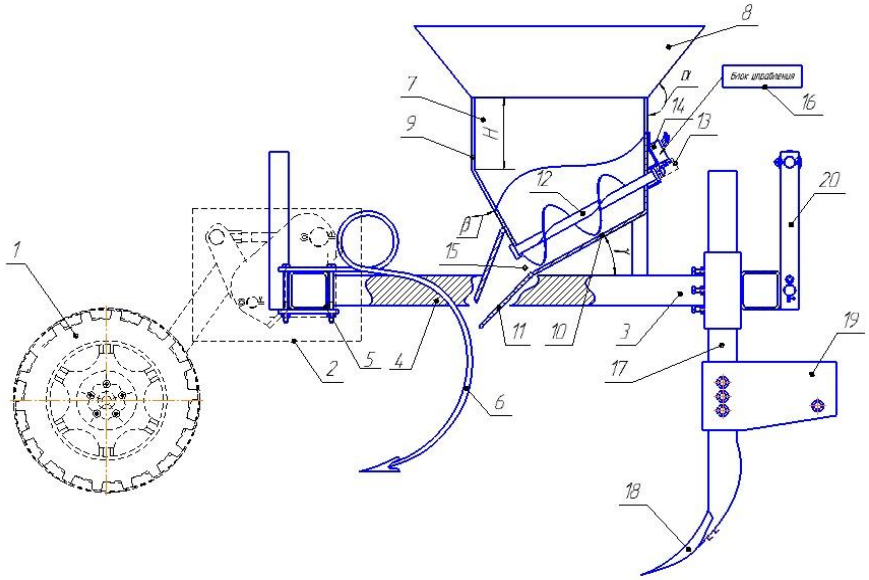

Рис. 6. Конструктивная схема комбинированного агрегата для дифференцированного внесения ферментированных компостов

1 – опорные колеса; 2 – механизм регулировки; 3 – рама; 4 – продольные профили; 5 – поперечные профили; 6 – пружинные стойки со стрельчатыми лапами; 7 – бункер;8 – борта; 9 – передняя стенка; 10 – дно; 11 – направляющие лотки; 12 – валы шнеков; 13 – передача;

14 – привод; 15 – выгрузные окна; 16 – блок управления; 17 – глубокорыхлительные стойки;18 – оборотные лапы; 19 – окучники; 20 – механизм навески.

Опорными колёсами 1, через механизм 2, регулируют глубину хода пружинных стоек со стрельчатыми лапами 6. В связи с тем, что на обрабатываемом поле имеются участки с разной структурой почвы и количеством органического вещества на них, это требует дифференцирования дозы внесения ферментированных компостов. Для этого составляется карта-задание, которая вносится в блок управления 16. Блок управления 16 в зависимости от требований карты-задания на конкретном участке задаёт определенную частоту вращения каждому из двух шнеков 12 через привод 14 и передачу 13. Глубокорыхлительные стойки 17 с оборотными лапами 18 производят глубокую обработку почвы, при этом устраняя внутрипочвенное переуплотнение, в том числе, созданное ходовыми системами МТА. Окучники 19 заделывают внесённые ферментированные компосты, при этом создавая профилированную поверхность поля.

Максимальная подача удобрения q_{max}, кг/ч, дозирующей системой машины к направляющим лоткам определяется по формуле исходя из скорости движения трактора, максимальной допустимой дозы внесения, а также ширины захвата:

$$q_{\max} = 3600 \cdot v \cdot Q_{\max} \cdot B, \quad (1)$$

где v – скорость трактора, м/с;

Q_{max} – максимальная доза внесения удобрения, кг/м^2;

B – ширина захвата, м.

Расчет часовой производительности шнека проводится по формуле [9]:

$$Q = 0{,}06 \cdot S_p \cdot n \cdot p \cdot \rho \cdot K \cdot \eta, \quad (2)$$

где S_p – рабочая площадь поперечного сечения шнека, см^2;

n – частота вращения шнека, мин$^{-1}$;

p – шаг винта, см;

ρ – плотность удобрения, т/м^3;

K – коэффициент заполнения (К = 0,3…0,45);

η – КПД шнека (0,6…0,98).

Рабочая площадь поперечного сечения шнека определяется по формуле площади круга, как разница площадей сечений винта и вала шнека:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3)$$

где D – диаметр винта шнека, см;

d – диаметр вала шнека, см.

Диаметр вала шнека для предварительного расчета задается исходя из соотношения [8]:

$$d = 0{,}1...0{,}35D. \quad (4)$$

Шаг винта задается исходя из соотношения [10]:

$$\frac{p}{D} = 1...1{,}25. \quad (5)$$

Максимальная частота вращения шнека определяется исходя из формулы 2:

$$n_{\max} = \frac{Q}{0{,}06 \cdot S_p \cdot p \cdot \rho \cdot K \cdot \eta}. \quad (6)$$

По формуле 1 определяется максимальная подача удобрения к направляющим лоткам q_{max} = 8139,6 кг/ч, на основании которой задаемся максимальной подачей одного рабочего органа Q = 4069,8 кг/ч.

Зададимся диаметром винта шнека D = 20 см, исходя из которого диаметр вала шнека, по соотношению 4, принимаем как d = 0,2D и равняется 4 см, следовательно, рабочая площадь поперечного сечения шнека, определяемая по формуле 3, S_p = 302 см^2. Шаг винта определяется по соотношению 5 и составляет 20 см. Плотность удобрения ρ = 0,5 т/м^3.

Тогда максимальная частота вращения шнека определяется по формуле 6:

$$n_{\max} = \frac{4069{,}8}{0{,}06 \cdot 302 \cdot 20 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}98} = 57{,}3 \text{ мин}^{-1}.$$

Выводы

Все большую популярность при производстве органической продукции растениеводства набирает использование в качестве органического удобрения ферментированные компосты. Такой вид удобрений при производстве продукции органического земледелия необходимо вносить с низкой дозировкой (до 8,5 т/га).

Проведённый обзор рынка машин для внесения твёрдых органических удобрений, патентный поиск и анализ литературных источников позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время отечественные производители техники не могут удовлетворить растущий спрос на машины для внесения ферментированных компостов. В тоже время зарубежные производители могут предложить подходящую конструкцию, но её использование обременяется рядом недостатков. В связи с этим необходима разработка отечественной машины для внесения ферментированных компостов.

В ИАЭП разработана конструкция комбинированной машины для дифференцированного внесения ферментированных компостов, которая способна удовлетворить вышеперечисленные условия использования ферментированных компостов.

Был проведен расчет конструктивных параметров дозирующей системы машины. С целью подтверждения расчётных данных, представленных в статье необходима разработка дозирующей системы в качестве стенда для проведения полунатурного моделирования процесса дозирования ферментированных компостов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В. Анализ образования и накопления животноводческих отходов в Ленинградской области // Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Владимир: ВНИИОУ. 2015. С. 310-317.

2. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. Материалы международного проекта «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 140 с.

3. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroev A.A., Murzaev E.A., Melnikov S.P. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Proceedings of AgroCON-2019 conference, Kurgan 18-19 April, 2019. IOP Publishing Ltd. 2019. Vol. 341, ID: 012088.

4. Устроев А.А., Калинин А.Б., Мурзаев Е.А. Оценка эффективности технологических операций в процессах основной обработки почвы и ухода за посадками в органической технологии возделывания картофеля // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 96. С. 66-73.

5. Машина для внесения твердых органических удобрений ПРТ-7А [Электронный ресурс] Режим доступа: https://bobruiskagromach.com/catalog/technique_for_application_of_fertilizers/prt_7a/ (Дата обращения 26.04.2022).

6. Навозоразбрасыватель SP 15 (Samson-Agro A/S, Дания) [Электронный ресурс] Режим доступа: https://samson-agro.ru/products/muck-spreaders/sp-seriia/sp-15/ (Дата обращения 26.04.2022).

7. Навозоразбрасыватели серии SL 100 SERIES (Kuhn Group, США) [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.kuhn-usa.com/livestock/manure-spreaders/side-discharge-manure-spreaders/sl-100-series (Дата обращения 26.04.2022).

8. Высококлиренсный разбрасыватель для внесения навоза DEA (Industrias David S.L.U., Испания) [Электронный ресурс] Режим доступа: https://id-david.com/producto/dea/ (Дата обращения 26.04.2022).

9. Геррман Х. Шнековые машины в технологии/ пер. с нем. под ред. Л.М. Фридмана. Л.: «Химия», 1975. 232 с.

10. Сурашов Н. Т., Гудович М. И., Мукиева Л. Д. Расчет винтовых конвейеров. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Подъёмно-транспортные машины» для специальности 5В071300 «Транспорт, транспортная техника и технологии». Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева. 2014. 32 с.

REFERENCES

1. Bryukhanov A.Yu., Shalavina E.V. Analiz obrazovaniya i nakopleniya zhivotnovodcheskikh otkhodov v Leningradskoi oblasti [Analysis of formation and accumulation of livestock waste in the Leningrad Region]. *Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya organicheskikh udobrenii v zemledelii* [Ecological problems of the use of organic fertilizers in agriculture]. Proc. All-Russia Sci. Prac. Conf. with Int. Participants. Vladimir: VNIIOU. 2015: 310-317 (In Russian)

2. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation]. *Materials of International Project "Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture– EFSOA",* Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM, 2021. 140 p. (In Russian)

3. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroev A.A., Murzaev E.A., Melnikov S.P. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* Proceedings of AgroCON-2019 conference, Kurgan 18-19 April, 2019. IOP Publishing Ltd. 2019. Vol. 341, ID: 012088. (In English)

4. Ustroev A.A., Kalinin A.B., Murzaev E.A. Otsenka effektivnosti tekhnologicheskikh operatsii v protsessakh osnovnoi obrabotki pochvy i ukhoda za posadkami v organicheskoi tekhnologii vozdelyvaniya kartofelya [Efficiency assessment of technological operations of primary soil tillage and crop care in organic potato cultivation]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. No. 96: 66-73 (In Russian)

5. Mashina dlya vneseniya tverdykh organicheskikh udobrenii PRT-7A [Machine for application of solid organic fertilisers PRT-7A]. Available at: https://bobruiskagromach.com/catalog/technique_for_application_of_fertilizers/prt_7a/ (accessed 26.04.2022).

6. Muck spreader SP 15 (Samson-Agro A/S, Denmark) Available at: https://samson-agro.ru/products/muck-spreaders/sp-seriia/sp-15/ (accessed 26.04.2022).
7. Side discharge manure spreaders of SL 100 SERIES (Kuhn Group, USA) Available at: https://www.kuhn-usa.com/livestock/manure-spreaders/side-discharge-manure-spreaders/sl-100-series (accessed 26.04.2022).
8. Over-the-row spreader for manure application DEA (Industrias David S.L.U., Spain) Available at: https://id-david.com/producto/dea/ (accessed 26.04.2022).
9. Herrmann H. *Schneckenmaschinen in der Verfahrenstechnik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1972. 179 p. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-51085-4 (Russ. Ed. Gerrman Kh. Shnekovye mashiny v tekhnologii/ per. s nem. pod red. L.M. Fridmana. Leningrad: Khimiya Publ. 1975. 232 p.
10. Surashov N. T., Gudovich M. I., Mukieva L. D. Raschet vintovykh konveierov. Metodicheskie ukazaniya [Calculation of screw conveyors. Guidelines]. Almaty: KazNTU named after K. I. Satpaev. 2014. 32 p. (In Russian)

УДК 631.316.272 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-83-96

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ

Джабборов Н.И., д-р техн. наук,
Добринов А.В., канд. техн. наук,
Сергеев А.В., канд. техн. наук,
Шамонин В.И., канд. техн. наук,
Семенова Г.А, канд. техн. наук,
Чугунов С.В.

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт- Петербург, Россия

Возросший в последние десятилетия интерес к обеспечению энергоэффективности процесса обработки почвы в растениеводстве способствовал широкому распространению различные методов разработки принципиально новых почвообрабатывающих рабочих органов и машин. Разработка перспективных и совершенствование применяемых рабочих органов и агрегатов, обеспечивающих энергоэффективность и экологическую безопасность технологии обработки почвы, является актуальной задачей. Объектами исследований были технологический процесс и рабочие органы для поверхностной и мелкой обработки почвы, и уничтожения сорных растений. При проведении исследований применялись методы энергетической оценки почвообрабатывающих рабочих органов и машин, анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы новых рабочих органов. Их основными преимуществами по сравнению с типовыми органами являются адаптивность и самонастраиваемость их конструкции к почвенным условиям, что способствует снижению энергоемкости и повышению качества обработки почвы. Исследована работа кольцевых рабочих органов, которые обеспечивают разрушение крупных комков и глыб при рыхлении почвы. Засоренность полей сорняками снижается с помощью кольца в виде усеченного конуса и одновременного использования зубчатого сферического диска. Экспериментально

установлено, что кольцевые рабочие органы обеспечивают полное уничтожение сорных растений; степень крошения почвы составляет 90,3 %. Сравнение новых рабочих органов, наделенных свойствами динамичности, и типовых рабочих органов, показало, что удельное тяговое сопротивление на единицу активной фронтальной площади разработанных рабочих органов на 11,07 % меньше чем у типовых рабочих органов. В пределах рабочих скоростей с 1,70 до 2,80 м/с, использование динамичных почвообрабатывающих рабочих органов дает экономию топлива в количестве 0,23 – 0,28 кг на 1 га обработанной площади. Эффективность скобообразных рабочих органов для сплошной поверхностной обработки различных типов почв на глубину до 20 см обеспечивается за счет применения принципа сжатия почвенного пласта. Установлено, что при повышении скорости движения агрегата со скобообразными рабочими органами от 1,28 до 1,93 м/с его производительность увеличивается от 0,88 до 1,33 га/ч, то есть на 50,8 %, а тяговый КПД трактора – от 0,268 до 0,455, то есть на 69,8 %, благодаря чему достигается максимальная степень крошения почвы. При этом расход топлива на 1 га обработанной площади уменьшится на 11 %. Обоснованы конструктивно-технологические параметры рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорной растительности, имеющей мощную корневую систему. Конструкция представляет собой серпообразную одностороннюю лапу с упругим элементом, создающим автоколебания для препятствия налипанию почвы и растений на крыло и для улучшения процесса резания растений и рыхления почвы. Общее подрезание сорной растительности составило 100%. Тяговое сопротивление находилось в пределах от 1,43 до 1,91 кН при скорости от 5 до 12 км/ч.

Ключевые слова: обработка почвы, почвообрабатывающий рабочий орган, биологизированная технология.

Для цитирования: Джабборов Н.И., Добринов А.В., Сергеев А.В., Шамонин В.И., Семенова Г.А, Чугунов С.В. Перспективные рабочие органы для обработки почвы в биологизированных технологиях производства сельскохозяйственной продукции // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.83-96

PROMISING SOIL TILLAGE TOOLS

N.I. Dzhabborov, DSc (Engineering),
A.V. Dobrinov, Cand. Sc. (Engineering),
A.V. Sergeev, Cand. Sc. (Engineering),
V.I. Shamonin, Cand. Sc. (Engineering),
G.A. Semenova, Cand. Sc. (Engineering),
S.V. Chugunov

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

Over the past decades, the increasing interest in making the soil tillage in crop farming more energy efficient contributed to the widespread use of various methods for designing novel tillage tools and machines. The development of promising and improvement of already in place tools and units that could ensure energy efficiency and environmental safety of tillage techniques is an important task of today. The study objects were the technological process and tools for surface and shallow tillage, and the weed control. The study used the methods of energy assessment of tillage tools and machines, analysis and generalization of the outcomes of

theoretical and experimental investigations. Prototypes of new tools were developed and manufactured. Their main advantages against the standard ones are the adaptability and self-adjustment of their structure to soil conditions. This ensures lower energy intensity and improved tillage quality. The study considered the operation of ring-shaped tools, which break the large lumps and clots when loosening the soil. The ring in the form of a truncated cone and simultaneous use of a toothed spherical disk reduce the weed infestation of fields. The experiments established that the ring-shaped tools ensured the complete weed destruction, with the soil crumbling degree being 90.3%. A comparison of new tools with dynamic properties and standard tools showed that the specific traction resistance per unit of the active frontal area of the developed tools is 11.07% lower than that of typical tools. Within working speeds from 1.70 to 2.80 m/s, the use of dynamic tillage tools provides fuel savings of 0.23 to 0.28 kg per 1 ha of cultivated area. The efficiency of U-shaped tools for unstriped surface tillage of soil various types to a depth of 20 cm is ensured by applying the principle of soil layer compression. The experiments established that when the travelling speed of tractor/implement system with U-shaped tools increased from 1.28 to 1.93 m/s, its productivity raised from 0.88 to 1.33 ha/h, i.e. by 50.8% and the traction efficiency of the tractor – from 0.268 to 0.455 , i.e. by 69.8%, which ensured the maximum soil crumbling degree. At the same time, the fuel consumption per 1 ha of cultivated area decreased by 11%. The study substantiated the structural and technological parameters of the tool for soil loosening and control of weeds with a powerful root system. The tool is a crescent-shaped one-sided paw with an elastic element that creates self-oscillations to prevent soil and plants from sticking to the wing and to improve the cutting of plants and soil loosening. The total cutting of weeds was 100%. The traction resistance was in the range from 1.43 to 1.91 kN at a speed of 5 to 12 km/h.

Key words: soil tillage, tillage tool, biology-based technology

For citation: Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Sergeev A.V., Shamonin V.I., Semenova G.A., Chugunov S.V. Promising soil tillage tools. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 83-96 (In Russian)

Введение

На обработку почвы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур приходится от 35 до 40 % энергетических затрат от всего объема полевых работ.

Анализ конструкций различных почвообрабатывающих рабочих органов позволил установить следующее:

- недостатком большинства рабочих органов является недостаточная очистка рабочих органов от налипшей почвы;
- конструктивная сложность, низкая износостойкость рабочих лезвий, так как не предусмотрены средства их упрочнения;
- для обеспечения высокого качества обработки почвы требуется определенный диапазон рабочих скоростей;
- конструктивные параметры рабочих органов являются постоянными и не обеспечивают адаптивность к изменяющимся почвенным условиям;
- годовая их загрузка в целом небольшая и по РФ составляет всего 220-230 часов.

Для повышения эффективности технологии обработки почвы отечественные и зарубежные ученые разрабатывают новые и совершенствуют существующие почвообрабатывающие рабочие органы и машины.

Для повышения производительности и эффективности почвообрабатывающих агрегатов и уменьшения уплотнения почвы намечается автоматизация контроля режимов технических средств и управления процессов обработки почвы [1].

Обоснованы общие тенденции развития технологии обработки почвы, возможности возобновления научно-исследовательских и опытно-конструктивных работ со странами Содружества независимых государств с учётом взаимной интеграции и координации, которые позволяют повысить эффективность функционирования аграрного сектора экономики [2].

Разрабатываются различные почвообрабатывающие рабочие органы, обеспечивающие снижение энергоемкости почвообработки. Авторы статьи [3] предлагают новую конструкцию рабочего органа, обеспечивающую уменьшение тягового сопротивления, с криволинейной поверхностью.

Разработана математическая модель движения частицы почвы по рабочей поверхности культиваторной лапы с дополнительными крошащими элементами, обоснованы параметры почвообрабатывающего рабочего органа с переменными углами рабочих поверхностей [4]. Установлено, что использование режима автоколебаний рабочих органов существенно влияет на устойчивость их хода в вертикальной поверхности [5].

Анализ амплитудно-частотных характеристик тягового сопротивления культиваторного рабочего органа [6] позволил обосновать величину генерируемого его виброускорения. Экспериментально установлена возможность генерации виброускорений рабочего органа до значений, обеспечивающих снижение прочностных характеристик почвы при содержании глины в почве от 44 % и более.

Возросший в последние десятилетия интерес к обеспечению энергоэффективности процесса обработки почвы в биологизированных технологиях растениеводства [7] способствует широкому распространению различные методов разработки принципиально новых почвообрабатывающих рабочих органов и машин.

В целом, разработка принципиально новых и совершенствование применяемых почвообрабатывающих рабочих органов и машин, обеспечивающих энергоэффективность и экологическую безопасность технологии обработки почвы, является актуальной задачей.

Материалы и методы

В результате проведенных авторами настоящей статьи исследований в Институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) разработаны, созданы экспериментальные образцы и исследованы работы принципиально новых почвообрабатывающих рабочих органов.

При проведении исследований применялись методы энергетической оценки почвообрабатывающих рабочих органов и машин, анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Цель настоящей работы – провести анализ и дать краткое содержание результатов исследований разработанных в ИАЭП рабочих органов для поверхностной и мелкой обработки почвы.

Объектами исследований являлись технологический процесс и рабочие органы для поверхностной и мелкой обработки почвы. В процессе исследований проводилась агротехническая оценка для определения основных показателей качества выполнения работы (скорость перемещения рабочего органа, глубина обработки почвы, степень крошения почвы, степень уничтожения сорных растений) и энергетическая оценка (тяговое сопротивление) с использованием измерительно-информационного комплекса ИИК-ИАЭП, агрегируемого с трактором Беларус-82.1, разработанных почвообрабатывающих рабочих органов и машин на полях экспериментально-производственной базы института и Северо-Западной МИС.

Результаты и обсуждение

В ИАЭП - филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ были разработаны и изготовлены экспериментальные многооперационные (кольцевые) рабочие органы (рисунок 1) для обработки почвы, выполненные в виде колец в форме усеченного конуса, закрепленные посредством пяти кронштейнов на стандартных вырезных сферических дисках [8-10]. Назначение их состоит в разуплотнении дернинного слоя без оборота пласта на глубину до 10 см, сепарации верхнего слоя почвы (поверхностного рыхления с отделением сорных растений и их корневищ от почвы), вырывании с поверхности поля сорных растений и дисковании почвы (при снятии кольца). При установке угла атаки рабочих органов в пределах 0 – 5° каждый рабочий орган выполняет операцию уплотнения верхнего слоя на легко и среднесуглинистых почвах.

Рис. 1. Многооперационные (кольцевые) рабочие органы для обработки почвы

Экспериментальные исследования были проведены на базе имеющегося универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4, разработанного ранее в институте, которые показали эффективность использования

многооперационных кольцевых рабочих органов при обработке почвы и уничтожения сорной растительности. В таблице 1 в качестве примера приведены значения степени рыхления почвы при угле атаки кольцевого рабочего органа $\alpha = 25^0$.

Таблица 1

Значения степени рыхления почвы К от скорости перемещения V_p многооперационного кольцевого рабочего органа ($\alpha = 25^0$)

V_p, м/с	К, %
1,85	86,3
2,78	90,0
3,12	87,3

В таблице 2 приведены значения степени уничтожения сорных растений C_y в зависимости от угла атаки α кольцевого рабочего органа.

Таблица 2

Степень уничтожения сорных растений C_y в зависимости от угла атаки α кольцевого рабочего органа

α, град	C_y, %
16	92,4
20	97,5
25	99,2

Экспериментально установлено, что кольцевые рабочие органы обеспечивают полное уничтожение сорных растений. Степень крошения почвы составляет 90,3 %.

Разработана серия рабочих органов, наделенных свойствами динамичности, так называемые динамичные (или адаптивные) рабочие органы (рис. 2, 3), новизна технических решений которых подтверждена патентами РФ [11-17].

а б

Рис. 2. Динамичный (адаптивный) почвообрабатывающий рабочий орган на жесткой стойке (а) и упругой стойке (б).

а б

Рис. 3. Динамичный (адаптивный) почвообрабатывающий рабочий орган для сплошной поверхностной обработки почвы с энергонакопительно-передающим устройством (ЭНПУ): а) – общий вид рабочего органа; б) – рабочий орган в работе

Сравнение динамичного и нединамичного (типового) почвообрабатывающих органов (рисунок 2) при проведении экспериментальных исследований показало, что удельное тяговое сопротивление $R_{уд}^{ро}$ на единицу активной фронтальной площади динамичного почвообрабатывающего рабочего органа $R_{уд}^{дро} = 45{,}2869$ кН/м^2 (или

4,5287 Н/см^2) на 11,07 % меньше чем у нединамичного рабочего органа $R_{уд}^{ндро} = 50{,}9223$ кН/м^2 (5,0922 Н/см^2). Это свидетельствует о том, что динамичный рабочий орган является более совершенным и эффективным. В пределах рабочих скоростей с 1,70 до 2,80 м/с, использование динамичных почвообрабатывающих рабочих органов обеспечивает экономию топлива в количестве 0,23 – 0,28 кг на 1 га обработанной площади. При фиксированной глубине обработки почвы $h_{см} = 10$ см, в диапазоне изменения скорости движения от 1,70 м/с до 2,80 м/с среднее значение тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата МТЗ-82+УКПА-2,4 ИАЭП-КалмГУ с динамичными рабочими органами, по сравнению с агрегатом с типовыми рабочими органами, уменьшается на 3,4 – 11,6 %. При этом наблюдается уменьшение дисперсии, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации тягового сопротивления соответственно на 46,2 – 68,6 %, 26,6 – 45,5 % и 17,0 – 42,0 %.

Динамичный почвообрабатывающий рабочий орган (рисунок 3) с энергонакопительно-передающим устройством (ЭНПУ) обеспечивает снижение тягового сопротивления до 20 %, по сравнению с типовыми рабочими органами.

Результаты исследований показали, что использование адаптивных, автоматически подстраивающийся к почвенным условиям, рабочих органов на почвообрабатывающих агрегатах, позволяет улучшить топливную экономичность и тем самым обеспечить существенное уменьшение выбросов токсичных компонентов в атмосферу при сжигании топлива двигателями тракторов.

Для повышения качества крошения почвы при сплошной поверхностной ее обработке на глубину до 20 см разработан скобообразный почвообрабатывающий рабочий орган (рисунок 4) [18, 19]. Его эффективность обеспечивается за счет применения принципа сжатия почвенного пласта при сплошной обработке почвы.

а б

Рис. 4. Скобообразные почвообрабатывающие рабочие органы: а) – общий вид рабочих органов; б) - скобообразные рабочие органы в работе.

Экспериментально установлено, что при повышении скорости движения агрегата от 1,28 до 1,93 м/с его производительность увеличивается от 0,88 до 1,33 га/ч, то есть на

50,8 %, тяговый КПД трактора от 0,268 до 0,455, то есть на 69,8 %., благодаря чему обеспечивается максимальная степень крошения почвы. При этом расход топлива на 1 га обработанной площади уменьшится на 11 %.

Эффективность использования скобообразных рабочих органов при сплошной обработке почвы и уничтожения сорной растительности механическим способом также доказана результатами исследований на экспериментально-производственной базе института.

С целью повышения степени рыхления почвы и уничтожения сорной растительности, имеющей мощную корневую систему (например, борщевик Сосновского) разработан рабочий орган для рыхления почвы и уничтожения сорной растительности (рисунок 5). Конструкция рабочего органа представляет собой серпообразную одностороннюю лапу [20, 21], установленную на стойке через упругий элемент, наличие которого обеспечивает формирование автоколебаний для предотвращения налипания на крыло почвы и растений и улучшения процесса резания растений и рыхления почвы.

а б

Рис. 5. Рабочий орган с крылом серпообразной формы: а) – общий вид рабочего органа; б) - рабочий орган в процессе работы.

Программой и методикой проведения экспериментов были предусмотрены исследования серпообразных лап для оценки эффективности качества резания сорной растительности на глубину от 10 до 15 см в системе мелкой обработки почвы на трех скоростных режимах - 5, 8, 12 км/ч.

Средняя глубина подрезания корневой системы сорняков рабочими органами составила 10-12 см. Общее подрезание сорной растительности 100%. Тяговое сопротивление рабочих органов по результатам энергетической оценки находилось в пределах от 1,43 до 1,91 кН.

Использование рабочего органа позволяет повысить качество обработки почвы благодаря полному подрезанию сорной растительности и рыхление почвы без ее выноса на поверхность.

Выводы

Разработаны и созданы экспериментальные образцы новых почвообрабатывающих рабочих органов, основными преимуществами которых, по сравнению с типовыми рабочими органами, являются адаптивность и самонастраиваемость их конструкции к почвенным условиям, что обеспечивают снижение энергоемкости и экологической нагрузки почвообрабатывающих агрегатов на окружающую среду, повышение качества обработки почвы.

Получены экспериментальные данные, свидетельствуют об эффективности работы новых почвообрабатывающих рабочих органов и правильности путей дальнейшего их совершенствования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Старовойтов, С.И., Ахалая, Б.Х., Ценч, Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. № 1 (30). С. 191-197.

2. Елизаров, В.П., Бейлис, В.М., Научное обоснование системы технологий и машин // *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве*. Материалы Международной научно-технической конференции: в 3 т. (22-23 октября 2014 г., Минск, Беларусь). Минск: РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2014. Т.1. С. 8-14.

3. Макаренко, А.Н., Мартынова, И.В. Рабочий орган для культиватора // *Инновации в АПК, проблемы и перспективы*. 2019. №1(21). С. 39-53.

4. Макаренко, А.Н. Обоснование параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин с переменными углами рабочих поверхностей // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. № 5-3 (10-3). С. 236-240. DOI: 10.12737/6971.

5. Гапич, Д.С., Фомин, С.Д., Ширяева, Е.В. Динамика движения упруго закрепленного рабочего органа культиваторного МТА // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. № 10. С. 28-32.

6. Гапич, Д.С., Эвиев, В.А., Косульников, Р.А., Чумаков, С.А. Проблемные вопросы повышения энергоэффективности МТА с упруго закрепленными рабочими органами // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 1(49). С. 312-318.

7. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. *Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации*. Материалы международного проекта «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 140 с.

8. Джабборов Н.И., Ожегов Н.М., Добринов А.В., Федькин Д.С. Рабочий орган для обработки почвы. Патент РФ на полезную модель № 154915; заявл. 09.02.2015; опубл. 10.09.2015. Бюл. № 25.

9. Джабборов Н.И., Добринов А.В. Рабочий орган для обработки почвы. Патент РФ на изобретение № 2770478; заявл. 25.10.2021; опубл. 18.04.2022. Бюл. № 11.

10. Джабборов Н.И., Добринов А.В. Эффективность использования почвообрабатывающего агрегата с кольцевыми рабочими органами в борьбе с борщевиком Сосновского // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 3 (108). С. 75-90.

11. Джабборов Н.И., Евсеева С.П., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы. Патент РФ на полезную модель № 169104; заявл. 18.10.2016; опубл. 03.03.2017. Бюл. № 7.

12. Джабборов Н.И., Захаров А.М., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы Патент РФ на полезную модель № 182130; заявл. 06.09.2017; опубл. 03.08.2018. Бюл. № 22

13. Джабборов Н.И., Захаров А.М., Сергеев А.В., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы Патент РФ на изобретение № 2702551; заявл. от 24.04.2019; опубл. 08.10.2019. Бюл. № 28.

14. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Сергеев А.В., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы. Патент РФ на изобретение № 2755317; заявл. от 11.03.2021; опубл. 15.09.2021. Бюл. № 26.

15. Джабборов Н.И., Эвиев В.А., Сергеев А.В., Семенова Г.А. Оценка вероятностно-статистических характеристик тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата с динамичными рабочими органами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 275-284.

16. Джабборов Н.И., Сергеев А.В., Семенова Г.А. Влияние колебаний элементов конструкции динамичного почвообрабатывающего рабочего органа на основные характеристики его тягового сопротивления // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 4 (101). С. 15-24.

17. Джабборов Н.И., Сергеев А.В., Семенова Г.А. Оценка степени крошения почвы динамичными почвообрабатывающими рабочими органами // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 59. С. 146-153.

18. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Дементьев А.М. Рабочий орган для рыхления почвы. Патент РФ на изобретение № 2453087; заявл. от 07.07.2010; опубл. 20.06.2012. Бюл. № 17.

19. Джабборов Н.И., Добринов А.В. Закономерности изменения эксплуатационных показателей почвообрабатывающего агрегата со скобообразными рабочими органами с трактором тягового класса 3 // Известия Санкт-Петербургского

государственного аграрного университета. 2021. № 3 (64). С. 92-106. doi: 10/24411/2078- 1318-2021-3-92-106.

20. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Сергеев А.В., Чугунов С.В., Шамонин В.И. Рабочий орган для рыхления почвы и уничтожения сорной растительности. Патент РФ на изобретение № 2769225; заявл. 02.09.2021; опубл. 29.03.2022. Бюл. № 10.

21. Джабборов Н.И., Добринов А.В. Обоснование конструктивных параметров рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорных растений в органическом земледелии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 23–33. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_23–33.

REFERENCES

1. Lobachevskii Ya.P., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Tsifrovye tekhnologii v pochvoobrabotke [Digital technologies in soil tillage]. *Innovatsii v sel'skom khozyaistve.* 2019. No. 1(30): 191-197 (In Russian)

2. Elizarov V.P., Beilis V.M. Nauchnoe obosnovanie sistemy tekhnologii i mashin [Scientific justification of technologies and machinery system]. *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve* [Scientific and technological progress in agricultural production]. Proc. Int. Sci. Tech. Conf. (22-23 Oct 2014, Minsk, Belarus). Minsk: RUE SPC AM. 2014. Vol. 1: 8-14 (In Russian)

3. Makarenko A.N., Martynova I.V. Rabochii organ kul'tivatora [Working organ of the cultivator]. *Innovatsii v APK, problemy i perspektivy*. 2019. No. 1(21): 39-53 (In Russian)

4. Makarenko A.N. Obosnovanie parametrov rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin s peremennymi uglami rabochikh poverkhnostei [Rationale parameters of working bodies of tillers with variable angles of working surfaces]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriya i praktika.* 2014. Vol. 2. No. 5-3 (10-3): 236-240 (In Russian) DOI: 10.12737/6971

5. Gapich D.S., Fomin S.D., Shiryaeva E.V. Dinamika dvizheniya uprugo zakreplennogo rabochego organa kul'tivatornogo MTA [Dynamics of the movement of the elastically fixed working body of the cultivator machine-tractor aggregates]. *Traktory i sel'khozmashiny*. 2017. No. 10: 28-32 (In Russian)

6. Gapich D.S., Eviev V.A., Kosulnikov R.A., Chumakov S.A. Problemnye voprosy povysheniya energoeffektivnosti MTA s uprugo zakreplennymi rabochimi organami [Problematic issues of improving energy efficiency of MTA with elastic fixed working bodies]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2018. No. 1(49): 312-318 (In Russian)

7. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation]. *Materials of International Project "Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture– EFSOA",* Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM, 2021. 140 p. (In Russian)

8. Dzhabborov N.I., Ozhegov N.M., Dobrinov A.V., Fedkin D.S. Rabochii organ dlya obrabotki pochvy [Working tool for soil tillage]. Patent RF on utility model No. 154915. 2015 (In Russian)

9. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Rabochii organ dlya obrabotki pochvy [Working tool for soil tillage]. Patent RF on invention No. 2770478. 2021(In Russian)

10. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Effektivnost' ispol'zovaniya pochvoobrabatyvayushchego agregata s kol'tsevymi rabochimi organami v bor'be s borshchevikom Sosnovskogo [Efficiency of the tillage implement with ring-shaped tools in the Sosnovsky's hogweed control]. *AgroEkoInzheneriya*. 2021. No. 3 (108): 75-90 (In Russian)

11. Dzhabborov N.I., Evseeva S.P., Semenova G.A. Rabochii organ dlya rykhleniya pochvy [Working tool for soil loosening]. Patent RF on utility model No. 169104. 2016 (In Russian)

12. Dzhabborov N.I., Zakharov A.M., Semenova G.A. Rabochii organ dlya rykhleniya pochvy [Working tool for soil loosening]. Patent RF on utility model No. 182130. 2017 (In Russian)

13. Dzhabborov N.I., Zakharov A.M., Sergeev A.V., Semenova G.A. Rabochii organ dlya rykhleniya pochvy [Working tool for soil loosening]. Patent RF on invention No. 2702551. 2019 (In Russian)

14. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Sergeev A.V., Semenova G.A. Rabochii organ dlya rykhleniya pochvy [Working tool for soil loosening]. Patent RF on invention No. 2755317. 2021(In Russian)

15. Dzhabborov N.I., Eviev V.A., Sergeev A.V., Semenova G.A. Otsenka veroyatnostno-statisticheskikh kharakteristik tyagovogo soprotivleniya pochvoobrabatyvayushchego agregata s dinamichnymi rabochimi organami [Evaluation of the probability-statistical characteristics of the traction resistance of the soil-processing aggregate with dynamic working parts]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2019. No. 2 (54): 275-284 (In Russian)

16. Dzhabborov N.I., Sergeev A.V., Semenova G.A. Vliyanie kolebanii elementov konstruktsii dinamichnogo pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa na osnovnye kharakteristiki ego tyagovogo soprotivleniya [The influence of vibrations of structural elements of a dynamic soil tilling working tool on the basic characteristics of its traction resistance]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2019. No. 4 (101): 15-24 (In Russian)

17. Dzhabborov N.I., Sergeev A.V., Semenova G.A. Otsenka stepeni krosheniya pochvy dinamichnymi pochvoobrabatyvayushchimi rabochimi organami [Assessing of the of soil crushing degree by dynamic soil processing working bodies]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2020. No. 59: 146-153 (In Russian)

18. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Dement'ev A.M. Rabochii organ dlya rykhleniya pochvy [Working tool for soil loosening]. Patent RF on invention No. 2453087. 2010 (In Russian)

19. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Zakonomernosti izmeneniya ekspluatatsionnykh pokazatelei pochvoobrabatyvayushchego agregata so skoboobraznymi rabochimi organami s traktorom tyagovogo klassa 3 [Change patterns in operational indicators of a soil tillage unit with bracket-shaped working bodies for traction class 3 tractor]. *Izvestiya*

Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. No. 3 (64): 92-106 (In Russian) doi: 10/24411/2078- 1318-2021-3-92-106.

20. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Sergeev A.V., Chugunov S.V., Shamonin V.I. Rabochii organ dlya rykhleniya pochvy i unichtozheniya sornoi rastitel'nosti {Working too for soil loosening and weed control]. Patent RF on invention No. 2769225. 2021(In Russian)

21. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Obosnovanie konstruktivnykh parametrov rabochego organa dlya rykhleniya pochvy i unichtozheniya sornykh rastenii v organicheskom zemledelii [Validation of the design parameters of the tillage tool developed for soil loosening and clean weeding in organic farming]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2022. Vol. 15. No. 1(72): 23-33 (In Russian) DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_23–33.

УДК 631.362.3; 338.001.36 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-96-107

ТРАВМИРУЕМОСТЬ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕГРУЗКИ И ЗАКЛАДКИ НА ХРАНЕНИЕ

Н. Н. Семчук[1, 2],д-р с.-х. наук; О. В. Балун[1, 2], канд. техн. наук;
А. Н. Перекопский[3], канд. техн. наук, С. Н. Гладких[1], канд.техн.наук

[1]Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия
[2]Новгородский НИИ сельского хозяйства – филиал Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Новгородская обл., Россия
[3]Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются теоретические вопросы формирования клубней картофеля и факторы, влияющие на их качественные и количественные показатели. Растение картофеля представляет собой весьма пластичный организм. Норма реакции вида *Solanum tuberosum L.* позволяет получать высокие урожаи в различных климатических зонах. Вместе с тем метаморфизированные подземные побеги, которыми по ботаническим критериям являются клубни, содержат большое количество воды. Особую опасность в этом плане представляют клубни, которые в процессе уборки, транспортировки и закладки на длительное хранение получили механические повреждения в виде содранной кожуры, трещин, повреждения паренхимной ткани, а также срезов. Рассмотрены параметры взаимодействия клубня картофеля с контактирующей поверхностью при различных условиях. Проведен анализ механизмов, которые используются в перегрузке картофеля от уборки и транспортировки до сортировки и закладки на хранение. Приведены кинематические и принципиальные схемы разработанных устройств, на которые были получены патенты на изобретение.

Разработанный способ и устройство для загрузки клубней картофеля в контейнер для последующей транспортировки и закладки на хранение обеспечивает снижение повреждения клубней за счет стабилизации высоты падения и регулировки угла траектории перемещения клубня относительно контактирующей поверхности. Для загрузки клубней картофеля в бункер-накопитель разработаны устройства, которые позволяют стабилизировать высоту падения поступающих в бункер клубней в пределах заданных параметров за счет использования гибкого накопителя или телескопического выгрузного канала из нескольких секций.

Ключевые слова: картофель, контейнер, перидерма, повреждение клубней, хранение.

Для цитирования: Семчук Н.Н., Перекопский А.Н., Балун О.В., Гладких С.В. Травмируемость клубней картофеля в процессе перегрузки и закладки на хранение // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.96-107

DAMAGE RATE TO POTATO TUBERS ASSOCIATED WITH THEIR HANDLING AND PLACING IN STORAGE

N. N. Semchuk[1,2], DSc (Agriculture), O. V. Balun[1, 2], Cand Sc. (Engineering),
A. N. Perekopskiy[3], Cand Sc. (Engineering), S. N. Gladkikh[1] Cand Sc. (Engineering)

[1]Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia.
[2]Novgorod Research Institute of Agriculture - branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Novgorod Region, Russia.
[3]Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The article discusses theoretical issues of potato tubers formation and the factors affecting their quality and quantity. The potato plant is a very adaptive organism. The reaction norm of *Solanum tuberosum L.* species allows obtaining high yields in various climatic zones. At the same time, the tubers, which are modified underground sprouts by botanical criteria, contain a large amount of water. Most vulnerble in this regard are the tubers that have received mechanical injuries (broken peel, cracks, damaged parenchymal tissue, and cuts) during the harvesting, transportation and placement for long-term storage. The study considered the interaction parameters of a potato tuber with a contact surface under various conditions and the mechanisms used in the potato handling – from harvesting and transportation to grading and storage. The article presents the kinematic and conceptual schemes of the devices developed by the authors and patented as inventions. The developed method and device for loading potato tubers into a container for later transportation and storage reduces the tuber injury by stabilising the drop height and adjusting the angle of the tuber movement trajectory relative to the contact surface. To load potato tubers into a storage hopper, the devices were designed that stabilised the drop height of the tubers falling into the hopper within the specified parameters by using a flexible storage hopper or a telescopic unloading pipe composed from several sections.

Keywords: potato, container, periderm, tuber damage, storage.

For citation: Semchuk N. N., Perekopskiy A. N., Balun O. V., Gladkikh S. N. Damage rate to potato tubers associated with their handling and placing in storage. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 96-107 (In Russian)

Введение

Совершенствование агротехники в картофелеводстве неразрывно связано с улучшением функциональных параметров средств механизации и автоматизации. Конечный результат (величина выхода и качество продукции) в значительной степени зависит от трех компонентов [1, 2, 3]: посадочный материал; технологии выращивания; машины и механизмы, которые используются в технологической цепочке от посадки до сбора урожая, хранения и переработки клубней.

Семенные клубни являются базовым, основным элементом агротехники. Их низкое качество, слабая выраженность сортовых характеристик, высокая степень зараженности возбудителями бактериальных и вирусных заболеваний могут привести к резкому снижению эффективности всех последующих агротехнических приемов. Следует отметить, что даже незначительные отклонения любого фактора от оптимальных значений могут повлиять на процесс клубнеобразования. Более того, нарушения в пищевом балансе только с одним питательным элементом могут блокировать органогенез клубня.

Фотосинтетический потенциал растений картофеля настолько велик, что процесс накопления органических веществ существенно превышает таковой у других сельскохозяйственных растений. Богатое содержание целого спектра питательных веществ делает ее ценной продовольственной, технической и кормовой культурой. В общем списке продуктов питания блюда из картофеля для большого количества народов стоят на четвертом месте. Как продовольственная культура *Solanum tuberosum* L. производится в большом количестве – около 3 млн. т. клубней в год.

Исследования процессов динамики созревания перидермы показали, что внешний ее слой (феллема) несущественно изменяет свои свойства на предмет растяжения. Вследствие этого высказано предположение, что именно изменения свойств феллогена, который изнутри прилегает к феллеме, связано с увеличением устойчивости кожуры клубня к механическим повреждениям [4].

Исследования динамики устойчивости клубней картофеля к ударным нагрузкам показало, что они наиболее восприимчивы к данному виду внешних воздействий сразу после уборки. В процессе моделирования было испытано два варианта по величине силы удара с интервалом в две недели. По результатам испытаний установлено, что величина повреждения возрастала при высокой энергии удара. Повторное воздействие на клубни через две недели показало, что при тех же параметрах воздействия сила контакта уменьшалась вследствие снижения модуля упругости протопласта и клеточной стенки [5].

Проведено исследование [6] влияния механических повреждений на потери при хранении клубней картофеля. Отмечено, что с увеличением внешних и внутренних

травм снижалось качество и способность клубней к длительному хранению, увеличивалась потеря массы, снижалось содержание витамина *С*.

При изучении физико-механических свойств клубней проводили моделирование взаимодействия его структур с учетом неоднородности внутреннего строения. Клубень рассматривали как объемное физическое тело с псевдо-гиперупругими свойствами. Учитывали также неоднородность различных анатомических зон клубня картофеля. При внешнем механическом воздействии на поверхность клубня в его коре и сердцевине возникают волны, которые создают внутреннее напряжение. Они вызывают локальные деформации, выражающиеся в виде комбинаций пластического и объемного компонентов. Образуются зоны напряжения-растяжения, имитирующие вытеснение жидкости. В процессе волновой деформации возможен выход вакуолярной жидкости из клеток паренхимы и разрывы клеточной стенки вследствие ее недостаточной эластичности [7].

Проводились также многочисленные исследования с целью активизации процессов заживления полученных клубнями повреждений. Для стимуляции ранозаживляющих процессов использовали тепловой стресс клубней. Для этого проводили погружение их в воду, нагретую до 45 °С, где выдерживали в течение 10 минут. Наблюдение за изменениями физиологических процессов показало, что в местах нанесения травм увеличивалась активность лиазы и пероксидазы. Существенно повышалось количество фенолов и флавоноидов. В результате активации процессов метаболизма в местах заживления ран происходило интенсивное накопление суберина и лингина. За счет этого снижались потери веса, а также увеличивалась устойчивость к поражению патогенными микроорганизмами [8].

Разработана технология обработки растений картофеля перед уборкой биогенным фунгицидом с индуцированной устойчивостью (Stroby) на последующее заживление поврежденных клубней. В контрольном варианте для раневой перидермы требовалось от 2 до 4 недель. При этом происходила интенсивная потеря влаги из клубней, а также проникновение в паренхиму коры патогенных микроорганизмов. В варианте с обработкой Stroby отмечено снижение потерь веса клубней и их заболеваемости. Кроме того, в процессе формирования раневой перидермы увеличивалось количество суберина и лигнина, а также возрастала активность фитоалексинов.

Созревание клубня, формирование перидермы представляет собой сложный многофакторный процесс. Важная роль в нем принадлежит феллогену (вторичной меристематической ткани), за счет которой происходит прирост слоев феллемы (пробковой ткани) [9]. Она обеспечивает не только механическую устойчивость к внешним воздействиям, но также и противостояние агрессивной микрофлоре.

У клубней, которые получили механические травмы в процессе механизированной уборки картофелеуборочными копалками и комбайнами, транспортировки и закладки на хранение, сокращается период покоя. Ранняя активность апикальных меристем отмечена и у клубней, пораженных вредителями, а также возбудителями (например, *Fusarium oxysporum* S., *Phytophthora infestans* M.) болезней [10].

Результаты хранения клубней во многом зависят от их качества при закладке на хранение. Это, прежде всего – физиологическая и физическая зрелость растения. Физически незрелые клубни в большей мере подвержены повреждению кожуры. В

последующем это приводит к потере воды, а также поражению патогенными микроорганизмами в процессе хранения [11].

Один из основных факторов, которые в большей мере способствуют нанесению клубням травм различного характера и степени тяжести, является высота падения. Разработаны различные устройства для снижения перепада высот в процессе перемещения клубней по рабочим поверхностям механизмов картофелеуборочных комбайнов и загрузке их в транспортные средства, а также на доработку и хранение. Так, например, в конструкции подающего транспортера были использованы промежуточные валы и дополнительная звездочка (рис. 1). Это позволило более чем вдвое уменьшить высоту падения клубней при перемещении с ленты одного транспортера на поверхность другого транспортера или приемного бункера.

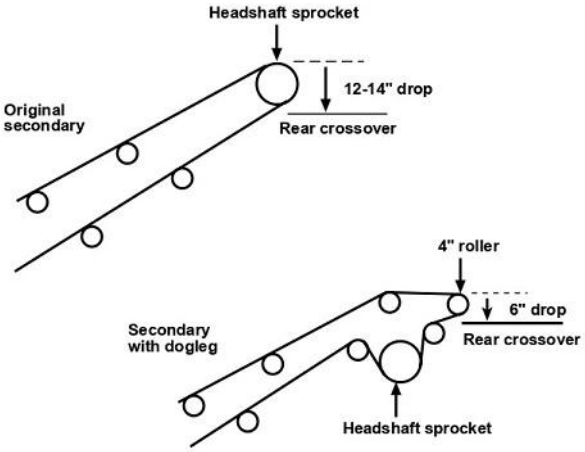

Рис. 1. Конструкция транспортера с дополнительными элементами для уменьшения высоты падения клубней [12].

Еще один вариант конструкции для уменьшения высоты падения включает в себя несколько однотипных элементов вдоль оси вертикального перемещения клубней [13]. При этом в каждом последующем звене высота падения клубня ограничена размером элемента, а при их заполнении клубни перемещаются в закром без падения. В процессе работы функциональные элементы за счет вертикальных гибких тяг последовательно поднимают вверх, что позволяет осуществить заполнение емкости.

Материалы и методы

Для разработки способов и устройств, позволяющих уменьшить повреждаемость клубней картофеля в процессе перегрузки, транспортировки, затаривания в емкости мы создавали рабочие модели, а также изготавливали устройства, выполненные по рабочим чертежам и установленные в действующих картофелехранилищах.

При разработке устройств, позволяющих уменьшить повреждаемость клубней, учитывались все три основных фактора, оказывающих существенное влияние на конечный результат. Для изготовления моделей и действующих механизмов использовали следующие контактирующие с перидермой клубня материалы и объекты: дерево, резину, тканевый материал и насыпь клубней.

Для анализа видов и структуры повреждений клубней проводили учет по следующим фракциям. Травмы поверхности клубня в виде смещения и разрыва покровной ткани, в т.ч.:

- со слабой степенью травмы (перидерма повреждена на ¼ поверхности клубня);
- со средней степенью интенсивности (перидерма повреждена на площади до ½ поверхности клубня);
- с сильной степенью травмированности (перидерма повреждена на площади более ½ поверхности клубня).

Повреждения паренхимы мякоти клубней:

- трещины длиной до 20 мм.
- трещины длиной более 20 мм.

Отрывы поверхностных слоев паренхимы и раздробление тела клубня. Кроме того, проводился учет клубней, получивших несколько различных по характеру травм.

Результаты и обсуждение

Анализ теоретических положений и результатов многочисленных исследований показал, что имеется три основных фактора, которые оказывают сильное влияние на повреждаемость клубней картофеля. В том числе:

- высота падения клубней;
- характеристика контактирующей поверхности;
- угол траектории падения клубня на контактирующую поверхность.

Минимальное количество травм клубни получают при падении на поверхность рыхлой почвы и слой клубней. Это связано с тем, что в данных случаях кинетическая энергия вызывает не только возникновение зон напряжения в тканях клубня, но и частично нивелируется вследствие деформации как самого клубня, так и контактирующей поверхности.

При падении на твердую поверхность (дерево, металл) кинетическая энергия почти в полном объеме расходуется на формирование зон напряжения, а также волнового эффекта распространения в момент удара. Вследствие этого происходит разрыв перидермы и паренхимной ткани, появление трещин, срезов, смещения и отрыва поверхностных слоев.

Рассмотрим устройство (или выгрузной транспортер картофелеуборочного комбайна) для загрузки клубней в контейнер для последующей транспортировки и закладки на хранение (рис. 2 и 3). В нем использованы два фактора, обеспечивающие снижение повреждения клубней:

- стабилизация оптимальной высоты падения;
- регулировка угла траектории перемещения клубня относительно контактирующей поверхности.

В контрольном варианте (рис. 2) высота падения клубней, образующих первый, нижний слой, составляет сумму из двух постоянных и одной переменной:

$$\sum = H + h - x, \qquad (1)$$

где: $\sum$ – общая высота падения в контейнер первого слоя клубней;

H – высота контейнера;

h – расстояние от поверхности подающей ленты конвейера до ближней к ней боковой стенки контейнера;

x – высота насыпи клубней в процессе загрузки.

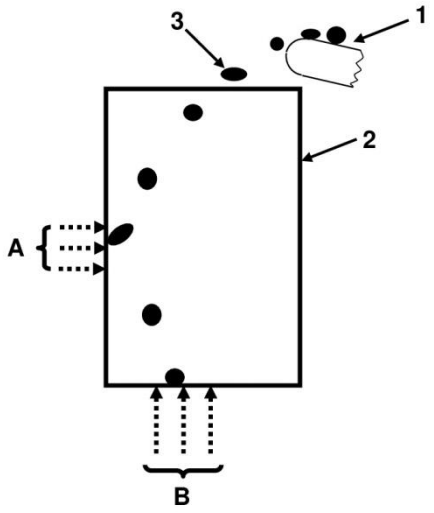

Рис. 2. Возникновение ударных нагрузок в процессе заполнения пустого контейнера конвейером картофелеуборочного комбайна:

1 – верхняя поверхность движущейся конвейерной ленты;

2 – контактирующая поверхность;

3 – клубень картофеля;

А ▪▪▪▪▶ – зона первого контакта клубня с внутренней вертикальной поверхностью контейнера;

Б ▪▪▪▪▪▪▶ – зона наиболее интенсивного воздействия клубня на дно контейнера.

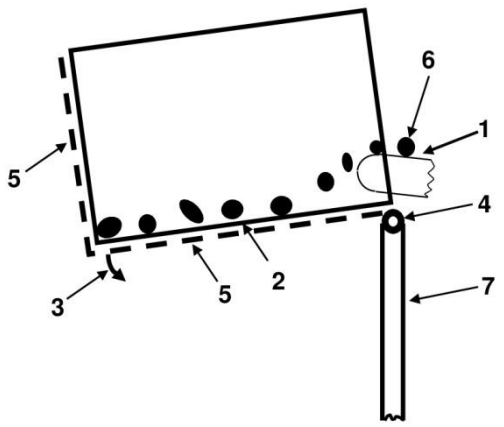

Рис. 3. Кинематическая схема движения биологических объектов (клубней картофеля) по контактирующей поверхности контейнера:

1 – верхняя поверхность движущейся конвейерной ленты;

2 – приемная поверхность;

3 – направление движения нижней части контейнера;

4 – точка вращения контейнера;

5 – поверхность дна контейнера;

6 – клубень картофеля;

7 – опорная стойка.

В процессе перемещения клубня с ленты транспортера картофелеуборочного комбайна 1 в контейнер происходит последовательное увеличение его скорости. Это связано с тем, что к полученной от ленты транспортера скорости, добавляется ускорение свободного падения. Первый контакт клубня происходит с боковой стенкой контейнера (зона А), затем с поверхностью дна контейнера (зона В). В первом случае удар приходится по касательной под острым углом. В зоне «В» клубень сталкивается с поверхностью дна контейнера и получает удар максимальной силы.

В разработанном нами устройстве (рис. 3), на которое получен документ по охране интеллектуальной собственности (АС № 1426908), высота падения клубней регулируется за счет разворота принимающей стенки контейнера вокруг оси фиксатора 4. При этом происходит не падение клубня с ленты конвейера картофелеуборочного комбайна до дна контейнера, а скатывание по поверхности его принимающей стенки. По мере наполнения контейнера его разворачивают, перемещая дно вниз. За счет этого поступающие в емкость клубни скатываются уже по образовавшейся насыпи.

Устройство изготовлено в металле и использовано на плодоовощной базе в Великом Новгороде. Исследование эффективности его применения показало следующие результаты.

В контрольном варианте первый слой клубней высотой 25 см от дна контейнера, в процессе двойного удара (о боковую стенку, изготовленную из деревянных планок, а затем о дно контейнера с таким же материалом), получили травмы в виде поврежденной кожуры (42,5%) и мякоти (13,7%). Образовалась также фракция раздробленных клубней (0,7%), которые были дислоцированы на дне контейнера. Именно они загнивают в первую очередь и формируют очаги инфекции при хранении. При загрузке контейнера с использованием запатентованного устройства в таком же слое обнаружены только повреждения кожуры клубней (2,1%).

Аналогичное устройство наклона контейнеров имеет выпускавшийся мелкосерийно прицеп-контейнеровоз конструкции ИАЭП [14].

Для загрузки клубней картофеля в бункер-накопитель нами разработано устройство (рис. 4), которое позволяет в течение длительного времени стабилизировать высоту падения поступающих в бункер клубней в пределах оптимальных параметров. Поскольку представленная схема подготовлена для выполнения рабочих чертежей и изготовления рабочей модели, чтобы не перегружать текст мы используем лишь некоторые обозначения, которые необходимы для описания принципа работы устройства.

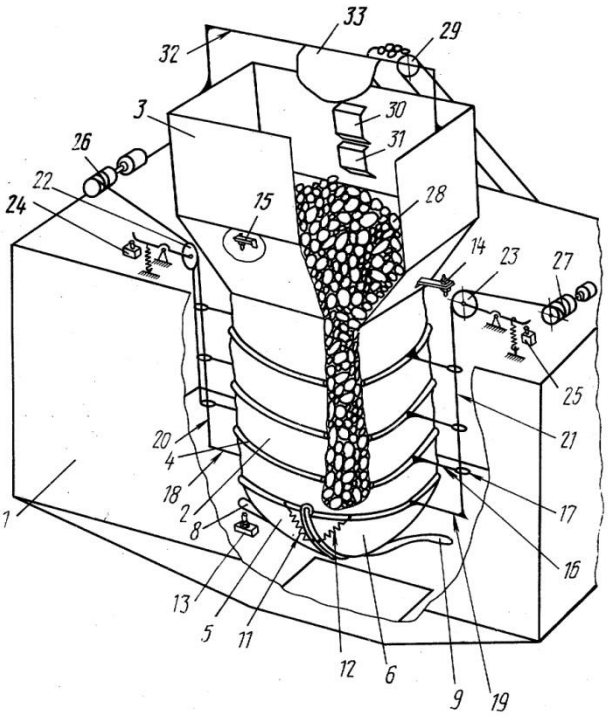

Рис. 4. Устройство для заполнения бункера накопителя клубнями картофеля.

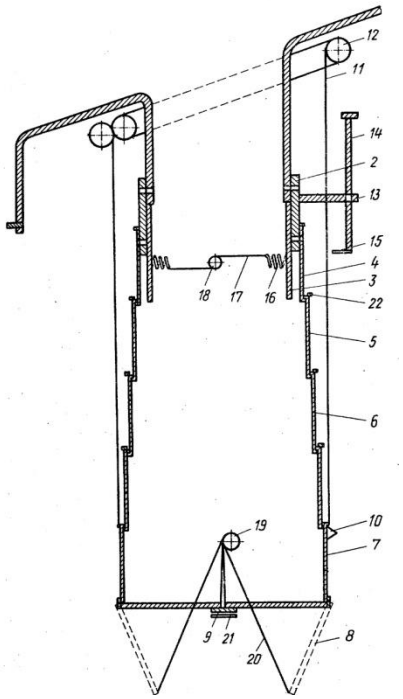

Рис. 5. Устройство для заполнения контейнера клубнями картофеля из бункера накопителя.

Приемный бункер представлен металлическим корпусом 1, внутри которого расположен эластичный накопитель 2. В исходном положении гибкие тяги 21 при

помощи электромотора 27 поднимают эластичный накопитель 2 вверх. Его положение фиксируется посредством верхнего концевого выключателя 24. На первом этапе загрузки эластичного накопителя 2 в момент касания клубнями контроллера верхнего рабочего уровня насыпи 30 на электромотор 27 поступает сигнал для перемещения эластичного накопителя 2 вниз. Движение продолжается до тех пор, пока не произойдет контакт планки 8 с нижним концевым фиксатором 13. В результате этого отключается электромотор 27 и движение эластичного накопителя 2 прекращается.

Одновременно поступает команда на открытие выгрузного отверстия 6 эластичного накопителя 2. При этом контроллер верхнего рабочего уровня насыпи 30 переключают на загрузочный режим работы. В процессе дальнейшего поступления клубней в эластичный накопитель 2 контроллер верхнего рабочего уровня насыпи 30 входит в контакт с насыпью клубней и дает команду для перемещения эластичного накопителя 2 вверх, что позволяет выгружать клубни в бункер накопитель 1 до полного его заполнения. В дальнейшем рабочий режим устройства обеспечивает постоянный уровень насыпи клубней в оптимальном диапазоне.

Следует отметить, что выгрузку клубней из бункера накопителя можно осуществлять сразу в несколько контейнеров, поскольку устройства могут фиксироваться в нескольких точках наклонной части бункера.

Для снижения повреждаемости клубней при выгрузке из бункера накопителя в контейнер разработано устройство с телескопическим принципом действия (рис. 5).

Устройство (рис. 5) содержит телескопический выгрузной канал из нескольких автономных секций 5-7, которые соединены между собой подвижно с возможностью перемещения внутри полости. Перед началом загрузки лепестки 3 заслонки отверстия патрубка бункера накопителя перекрывают. Створки 8 концевой заслонки устройства посредством гибких тяг 10 и электромотора 19 переводят в горизонтальное положение и перекрывают за счет этого выгрузное отверстие. При помощи гибких тяг 11 телескопический выгрузной канал складывают, при этом створки 8 концевой заслонки входят в контакт с лепестками 3 заслонки отверстия патрубка бункера накопителя.

Пустой контейнер размещают под загрузочным устройством. Лепестки 3 заслонки отверстия патрубка бункера накопителя открывают. При помощи гибких тяг 11 автономные секции 5-7 перемещают вниз, и клубни заполняют полость телескопического выгрузного канала. При заполнении нужного объема телескопического выгрузного канала клубнями лепестки 3 заслонки отверстия патрубка бункера накопителя перекрывают. Автономные секции 5-7 перемещают вниз до контакта створок 8 концевой заслонки с дном контейнера. В момент касания при помощи гибких тяг 11 створки 8 концевой заслонки открывают. В процессе перемещения автономных секций 5-7 вверх происходит заполнение контейнера клубнями картофеля без падения. Загрузочное устройство переходит в исходное рабочее положение и цикл завершается.

Заключение

Растение картофеля представляет собой весьма пластичный организм, норма реакции вида *Solanum tuberosum* L. позволяет получать высокие урожаи в различных климатических зонах. Вместе с тем метаморфизированные подземные побеги, которыми по ботаническим критериям являются клубни, содержат большое количество воды. Особую опасность в этом плане представляют клубни, которые в процессе уборки, транспортировки и закладки на длительное хранение получили механические

повреждения в виде содранной кожуры, трещин, повреждения паренхимной ткани, а также срезов.

Разработанный способ и устройство для загрузки клубней картофеля в контейнер для последующей транспортировки и закладки на хранение обеспечивает снижение повреждения клубней за счет стабилизации высоты падения и регулировки угла траектории перемещения клубня относительно контактирующей поверхности.

Для загрузки клубней картофеля в бункер-накопитель разработаны устройства, которые позволяют в течение длительного времени стабилизировать высоту падения поступающих в бункер клубней в пределах заданных параметров за счет использования гибкого накопителя или телескопического выгрузного канала из нескольких автономных секций.

В связи с этим можно утверждать, что проблема разработки технологий и механизмов, позволяющих уменьшить повреждаемость клубней в процессе уборки, транспортировки и закладки на хранение является весьма актуальной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орешин Е.Е., Захаров А.М. Повышение качества товарного картофеля // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 1. С. 8-9.

2. Maksimov D.A., Minin V.B., Perekopskiy A.N., Zakharov A.M. Technological solutions for the cultivation of potatoes in the organic farming agroecosystem // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262:03026. DOI:10.1051/e3sconf/202126203026.

3. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. Материалы международного проекта «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 140 с.

4. Lulai E.C. The roles of phellem (skin) tensile-related fractures and phellogen shear-related fractures in susceptibility to tuber-skinning injury and skin-set development. Amer J of Potato Res 2002. Vol.79: 241. DOI:10.1007/BF02986356

5. Nikara S., Ahmadi E., Nia A. A. Finite element simulation of the micromechanical changes of the tissue and cells of potato response to impact test during storage by scanning electron microscopy. Postharvest Biology and Technology. 2020. Vol. 164: 111153 DOI: 10.1016/j.postharvbio.2020.111153

6. Kuyu C. G., Tola Y. B., Abdi G. G. Study on post-harvest quantitative and qualitative losses of potato tubers from two different road access districts of Jimma zone, South West Ethiopia. Heliyon, 2019. Vol. 5. Issue 8, e02272, DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02272.

7. Böl M., Seydewitz R., Leichsenring K., Sewerin F. A phenomenological model for the inelastic stress–strain response of a potato tuber. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2020. Vol. 137, 103870

8. Yanga R., Hana Y., Hana Z., Ackaha S., Lia Z., Bia Y., Yanga Q., Pruskyab D. Hot water dipping stimulated wound healing of potato tubers. Postharvest Biology and Technology. 2020. Vol. 167, 111245.

9. Lulai E. C., Freeman T. P. The importance of phellogen cells and their structural characteristics in susceptibility and resistance to excoriation in immature and mature potato tuber (Solanum tuberosum L.) periderm. Annals of Botany. 2001. Vol. 88, pp. 555-561.
10. Beukema H. P., van der Zaag D. E. Introduction to potato production. Wageningen: Pudoc. 1990. 208 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://edepot.wur.nl/411163 (дата обращения 27.03. 2022).
11. Sabba R. P., Bussan A. J., Michaelis B. A., Hughes R., Drilias, M. J., Glynn M. T. Effect of planting and vine-kill timing on sugars, specific gravity and skin set in processing potato cultivars. American Journal of Potato Research. 2007. Vol. 84, pp. 205-215.
12. Thornton M., Bohl W. (eds.) Preventing potato bruise damage [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/bul/bul0725.pdf (дата обращения 21.03.2022).
13. Hesen J. C., Kroesbergenf E. Mechanical damage to potatoes I. Eur. Potato J. 1960. Vol. 3. No.1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://core.ac.uk/download/pdf/29395623.pdf (дата обращения 17.03. 2022).
14. Романовский Н.В., Гузанов М.С. Технологии механизированной уборки белокочанной капусты // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 1. С. 49-52.

REFERENCES

1. Oreshin E.E., Zakharov A.M. Povyshenie kachestva tovarnogo kartofelya [Improving the quality of commercial potatoes]. *Tekhnika v sel'skom khozyaistve.* 2012. No. 1: 8-9 (In Russian)
2. Maksimov D.A., Minin V.B., Perekopskiy A.N., Zakharov A.M. Technological solutions for the cultivation of potatoes in the organic farming agroecosystem. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 262:03026 (In English) DOI:10.1051/e3sconf/202126203026.
3. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation]. Materials of International Project “Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture – EFSOA”, Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM, 2021. 140 p. (In Russian)
4. Lulai E.C. The roles of phellem (skin) tensile-related fractures and phellogen shear-related fractures in susceptibility to tuber-skinning injury and skin-set development. *Amer J of Potato Res* 2002. Vol.79: 241. DOI:10.1007/BF02986356
5. Nikara S., Ahmadi E., Nia A. A. Finite element simulation of the micromechanical changes of the tissue and cells of potato response to impact test during storage by scanning electron microscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 2020. Vol. 164: 111153. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2020.111153
6. Kuyu C. G., Tola Y. B., Abdi G. G. Study on post-harvest quantitative and qualitative losses of potato tubers from two different road access districts of Jimma zone, South West Ethiopia. *Heliyon*, 2019. Vol. 5. Issue 8: e02272, DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02272.

7. Böl M., Seydewitz R., Leichsenring K., Sewerin F. A phenomenological model for the inelastic stress–strain response of a potato tuber. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 2020. Vol. 137: 103870

8. Yanga R., Hana Y., Hana Z., Ackaha S., Lia Z., Bia Y., Yanga Q., Pruskyab D. Hot water dipping stimulated wound healing of potato tubers. *Postharvest Biology and Technology*. 2020. Vol. 167: 111245.
9. Lulai E. C., Freeman T. P. The importance of phellogen cells and their structural characteristics in susceptibility and resistance to excoriation in immature and mature potato tuber (*Solanum tuberosum L.*) periderm. *Annals of Botany.* 2001. Vol. 88: 555-561.
10. Beukema H. P., van der Zaag D. E. Introduction to potato production. Wageningen: Pudoc. 1990. 208 p. [online]. Available at: https://edepot.wur.nl/411163 (accessed 27.03. 2022).
11. Sabba R. P., Bussan A. J., Michaelis B. A., Hughes R., Drilias, M. J., Glynn M. T. Effect of planting and vine-kill timing on sugars, specific gravity and skin set in processing potato cultivars. *American Journal of Potato Research*. 2007. Vol. 84: 205-215.
12. Thornton M., Bohl W. (eds.) Preventing potato bruise damage [online]. Available at: https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/bul/bul0725.pdf (accessed 21.03.2022).
13. Hesen J. C., Kroesbergenf E. Mechanical damage to potatoes I. *Eur. Potato J.* 1960. Vol. 3. No.1 [online]. Available at: https://core.ac.uk/download/pdf/29395623.pdf (accessed 17.03. 2022).
14. Romanovskii N.V., Guzanov M.S. Tekhnologii mekhanizirovannoi uborki belokochannoi kapusty [Technologies of mechanized harvesting of white cabbage]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. No. 1: 49-52 (In Russian)

УДК 631.171:55 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-107-116

ВЫБОР ГРУЗОПОДЪЁМНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ЗАГОТОВКЕ КОРМОВ ИЗ ПОДВЯЛЕННЫХ ТРАВ

А.М. Валге, д-р. техн. наук А.И. Сухопаров, канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия.

В статье рассмотрен подход к определению расчётной оптимальной грузоподъёмности транспортных средств, применяемых при транспортировке подвяленных трав с поля к месту закладки их на хранение в зависимости от производительности кормоуборочного комбайна и времени движения транспортных средств. Основными показателями транспортного средства являются его грузоподъёмность и скорость движения. Основное требование к уборочно-транспортному комплексу заключается в обеспечении бесперебойной работы уборочной машины, что достигается, как правило, избытком транспортных машин. При этом возникают их простои и, следовательно, дополнительные затраты. Согласованная работа уборочной машины и транспортных средств в конкретных полевых условиях и производительности уборочной машины достигается при оптимальной грузоподъёмности транспортного средства. Теоретические исследования показали, что грузоподъёмность прямо пропорционально зависит от времени движения транспортного

средства и производительности кормоуборочного комбайна и обратно пропорционально – от количества транспортных средств. Из произведённых расчётов определено, что грузоподъёмность резко возрастает с увеличением производительности уборочной машины и времени движения транспортного средства. При обслуживании кормоуборочного комбайна двумя транспортными средствами при среднестатистических условиях, характерных для хозяйств Северо-Западного региона России, их грузоподъёмность должна быть 6-8 т, а при обслуживании тремя автомобилями – 3-4 т. Данный подход при выборе оптимальной грузоподъёмности транспортного средства можно использовать при решении задачи по формированию уборочно-транспортного комплекса для заготовки кормов из подвяленных трав с учётом имеющихся технических ресурсов, площадей кормовых угодий, урожайности трав и логистики доставки кормов с полей до хранилищ.

Ключевые слова: корма из трав, уборочно-транспортный комплекс, транспортные средства, грузоподъёмность, оптимизация, поточность производства.

Для цитирования: Валге А.М., Сухопаров А.И. Выбор грузоподъёмности транспортных средств при заготовке кормов из подвяленных трав // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.107- 116

CHOICE OF LOAD CAPACITY OF VEHICLES INVOLVED IN MAKING FODDER FROM AIR-CURED GRASS

A.M. Valge, DSc (Engineering), A.I. Sukhoparov, Cand Sc. (Engineering),

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The article considers an approach to estimating the optimal carrying capacity of vehicles used to transport the air-cured grass from the field to the storage depending on the forage harvester performance and the vehicle travelling time. The main vehicle specifications are its load capacity and speed. The main requirement to the harvesting and transportation complex is to ensure the uninterrupted operation of the harvester achieved, as a rule, by a surplus of vehicles. This results in the downtime and consequent extra costs. Coordinated operation of the forage harvester and vehicles in specific field conditions and harvester performance is reached with an optimal vehicle load capacity. Theoretical study demonstrated that the load capacity was in the direct proportion to the vehicle travelling time and the forage harvester throughput, and in the inverse proportion to the number of vehicles. The calculations showed that the load capacity increased sharply with an increase in the harvester productivity and the vehicle travelling time. When a forage harvester works with two vehicles under average statistical conditions typical for farms in the North-West Russia, their load capacity should be 6 to 8 tons, and with three vehicles – 3 to 4 tons. Such an approach to choosing the optimal carrying capacity of a vehicle can be used when solving the problem of forming a harvesting and transport complex for making fodder from air-cured grass with due account the available technical resources, forage areas, grass yields and the logistics of fodder delivery from fields to storage facilities.

Key words: grass fodder, harvesting and transportation complex, vehicle, carrying capacity, optimisation, streamlining production

For citation: Valge A.M., Sukhoparov A.I. Choice of load capacity of vehicles involved in making fodder from air-cured grass. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 107-116 (In Russian)

Введение

Корма из подвяленных трав (силос и сенаж) являются основным кормом для КРС и составляют до 70% от общего объёма кормов [1]. При заготовке кормов из трав, особенно при производстве силоса и сенажа, большое количество технических средств задействовано на транспортировке провяленной травы с полей к местам закладки на хранение [2, 3]. При их производстве используются уборочно-транспортные комплексы, состоящие из уборочных машин и транспортных средств. Каждый из кормоуборочных комбайнов обслуживается несколькими транспортными средствами, которые по очереди загружаются кормоуборочным комбайном, транспортируют травяную массу к месту закладки на хранение, разгружаются и снова возвращаются на поле к комбайну для загрузки. Эффективность их совместной работы существенно зависит от правильного их соотношения.

Кормоуборочный комбайн является наиболее капиталоёмкой машиной из всех технических средств, принимающих участие в производстве кормов из трав. Поэтому от эффективности применения комбайна уборочно-транспортном комплексе зависят стоимостные показатели получаемых кормов и в целом рентабельность животноводства [4, 5]. В связи с высокой стоимостью кормоуборочных комбайнов все остальные технические средства кормозаготовительного звена ориентируются на его производительность, т.е. обеспечивается необходимая площадь скашивания, выстраивается логическая цепочка транспортировки кормов с полей к их месту хранения, учитывается объём хранилищ, что бы обеспечит, как можно быстрое их заполнение во избежание порчи корма [2, 3, 6]. Так же известно, что при быстром заполнении хранилищ (2-3 дня) потери сухого вещества от «угара» составляют до 9%, а при более растянутых сроках заполнения – 12-14% и более [7]. Тем ни менее, доля эксплуатационных затрат по транспортировке травы с поля в хранилище при заготовке силоса в хозяйствах Северо-Запада России составляет 53-65%, а энергозатрат – 59-75% [8]. С ростом стоимостей энергоресурсов и топлива стоимость единицы корма также будет возрастать. В связи с этим актуальным становится определение грузоподъёмности транспортных средств, необходимых для обслуживания одного кормоуборочного комбайна, что бы соблюдался принцип поточности технологии.

С развитием информационных технологий и разработкой различных математических программ, позволяющих обрабатывать большое количество данных с применение разнообразных математических методов, стало возможным решение задач по оптимизации применения технических средств в кормопроизводстве [9, 10, 11]. Оценка эффективности различных вариантов работы сформированных уборочно-транспортных комплексов для заготовки кормов из провяленных трав будет способствовать

рациональному использованию материально-технических ресурсов и, в целом, снижению себестоимости кормов.

Цель работы – осуществить оценку грузоподъёмности транспортных средств при заготовке кормов из подвяленных трав исходя из производительности кормоуборочных комбайнов и расстояния между полями и местом хранения корма.

Материалы и методы

Так как за каждым кормоуборочным комбайном закрепляется несколько транспортных средств, то баланс распределения времени обслуживания можно представить в виде следующего тождества:

$$\left(N_{\text{Тр}}-1\right)\cdot t_{Пог}=t_{Дв}+t_{Раз}, \tag{1}$$

где N_T – общее количество транспортных средств;

$t_{Пог}$ – время загрузки одного транспортного средства, ч;

$t_{Дв}$ – время движения транспортного средства от кормоуборочного до хранилища и обратно, ч;

$t_{Раз}$ – время разгрузки транспортного средства в хранилище, ч.

Время движения транспортного средства до хранилища и обратно определяется по формуле:

$$t_{\text{Дв}}=\frac{60\cdot R}{V_1}+\frac{60\cdot R}{V_2}, \tag{2}$$

где R – радиус перевозки, км;

V_1 и V_2 – скорости движения транспортного средства с грузом и без груза, км/ч.

Необходимое число транспортных средств для обслуживания одного комбайна определяется по формуле:

$$N_{Тр}=\frac{\frac{60\cdot R}{V_1}+\frac{60\cdot R}{V_2}+t_{\text{Раз}}}{t_{Пог}}+1. \tag{3}$$

Количество уборочных машин зависит от многих показателей, основными из которых являются: производительность машины, погодные условия, сроки уборки. Производительность машин в свою очередь зависит, при прочих равных условиях, от урожая травы и длины гона поля.

В общем виде количество уборочных машин определяется соотношением:

$$N_{\text{У}}=\frac{S}{\left[\Pi_{\text{У}}\left(l,\text{U}\right)\cdot\kappa_{\text{Над}}\cdot t_{См}\cdot\kappa_{См}\cdot n_{См}\right]}, \tag{4}$$

где S – площадь уборки, га;

$Q_У\left(l,U\right)$ – производительность машины в зависимости от длины гона поля и урожая травы;

$k_н$ – коэффициент надежности машины;

$t_{См}$ – длительность смены, ч.;

$k_{См}$ – коэффициент использования времени смены;

$n_{См}$ – число смен уборки травы.

Производительность транспортных средств в основном определяется его грузоподъёмностью, скоростью движения, радиусом перевозки. В кормопроизводстве наибольшие энергозатраты приходятся на транспортные работы, поэтому оптимизация параметров уборочно-транспортной системы является актуальной задачей.

Основными показателями транспортного средства являются его грузоподъёмность и скорость движения. При работе уборочно-транспортного комплекса основное требование состоит в обеспечении бесперебойной работы уборочной машины, что обеспечивается, как правило, избытком транспортных машин. При избытке транспортных средств возникают их простои и, следовательно, дополнительные затраты. Согласованная работа уборочной машины и транспортных средств в конкретных полевых условиях и производительности уборочной машины достигается при оптимальной грузоподъёмности транспортного средства.

Для определения грузоподъёмности представим формулу (1) в следующем виде:

$$\left(N_T - 1\right) = \frac{T_{Дв} \cdot Q_{У}\left(U\right)}{G_{Тр}}, \tag{5}$$

где $T_{Дв} = t_{Дв} + t_{Раз}$ – время движения транспортного средства от места погрузки, до места разгрузки и обратно, плюс время разгрузки, ч;

$t_{Пог} = \frac{Q_У(u)}{G_{Тр}}$ – время погрузки транспортного средства, ч;

$Q_У(u)$ – производительность кормоуборочного комбайна в зависимости от урожая травы, т/ч;

$G_{Тр}$ – грузоподъёмности транспортного средства, т.

Из формулы (5) определим грузоподъёмности транспортного средства:

$$G_{Гр} = \frac{T_{Дв} \cdot Q_{У}\left(U\right)}{\left(N_{Тр} - 1\right)}. \tag{6}$$

Из формулы (6) видно, что грузоподъёмность прямо пропорционально зависит от времени движения транспортного средства и производительности кормоуборочного комбайна и обратно пропорционально от количества транспортных средств.

Результаты исследований

Производительность кормоуборочных комбайнов зависит от урожая травы. Так при проведении испытаний комбайнов «Claas Jaguar 850» и «John Deere 7350» на Северо-Западной МИС в 2009 году их сменная производительность при укосной урожайности травы 15-20 т/га достигала 300,0 т/см., поэтому для расчётов по формуле (6) примем их расчётную производительность, изменяющуюся от 0,05 до 0,5 т/мин.

Суммарное значение времени движения и разгрузки транспортных средств зависит в основном от радиуса перевозки, и, как показывает практика, находятся в интервале 10-

50 минут. Для обслуживания кормоуборочного комбайна необходимо минимум два транспортных средства. Для вышеприведённых интервалов изменения производительности кормоуборочного комбайна и времени движения транспортных средств, при обслуживании комбайна двумя транспортными средствами в табл.1 приведены расчётные (оптимальные) значения грузоподъёмности транспортных средств.

Таблица 1

Расчётные значения грузоподъёмности транспортных средств
при обслуживании комбайна двумя транспортными средствами

Производительность комбайна, т/мин	Кол. транспортных средств	Время движения и разгрузки транспортных средств, мин								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,05	2	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5
0,1	2	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,15	2	1,5	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	6,0	6,8	7,5
0,2	2	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
0,25	2	2,5	3,8	5,0	6,3	7,5	8,8	10,0	11,3	12,5
0,3	2	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0
0,35	2	3,5	5,3	7,0	8,8	10,5	12,3	14,0	15,8	17,5
0,4	2	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
0,5	2	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0

Из приведённых расчётов (См. табл. 1) видно, что грузоподъёмность резко возрастает с увеличением производительности уборочной машины и времени движения транспортного средства. Для средних условий работы уборочной и транспортных машин грузоподъёмность составляет 6-8 т.

В таблице 2 приведены расчётные (оптимальные) значения грузоподъёмности при обслуживании кормоуборочного комбайна тремя транспортными средствами.

Таблица 2

Расчётные значения грузоподъёмности транспортных средств
при обслуживании комбайна тремя транспортными средствами

Производительность комбайна, т/мин	Кол. транспортных	Время движения и разгрузки транспортных средств, мин

	средств	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,05	3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
0,1	3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5
0,15	3	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8
0,2	3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,25	3	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3
0,3	3	1,5	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	6,0	6,8	7,5
0,35	3	1,8	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	7,0	7,9	8,8
0,4	3	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0

При обслуживании кормоуборочного комбайна тремя транспортными средствами их грузоподъёмность снижается в два раза.

В программном приложении Microsoft Excel 2003 был построен график, приведенный на Рисунке 1, показывающий какой грузоподъёмностью должны обладать транспортные средства в зависимости от производительности кормоуборочного комбайна и времени затрачиваемого на движение и разгрузку у хранилища кормов.

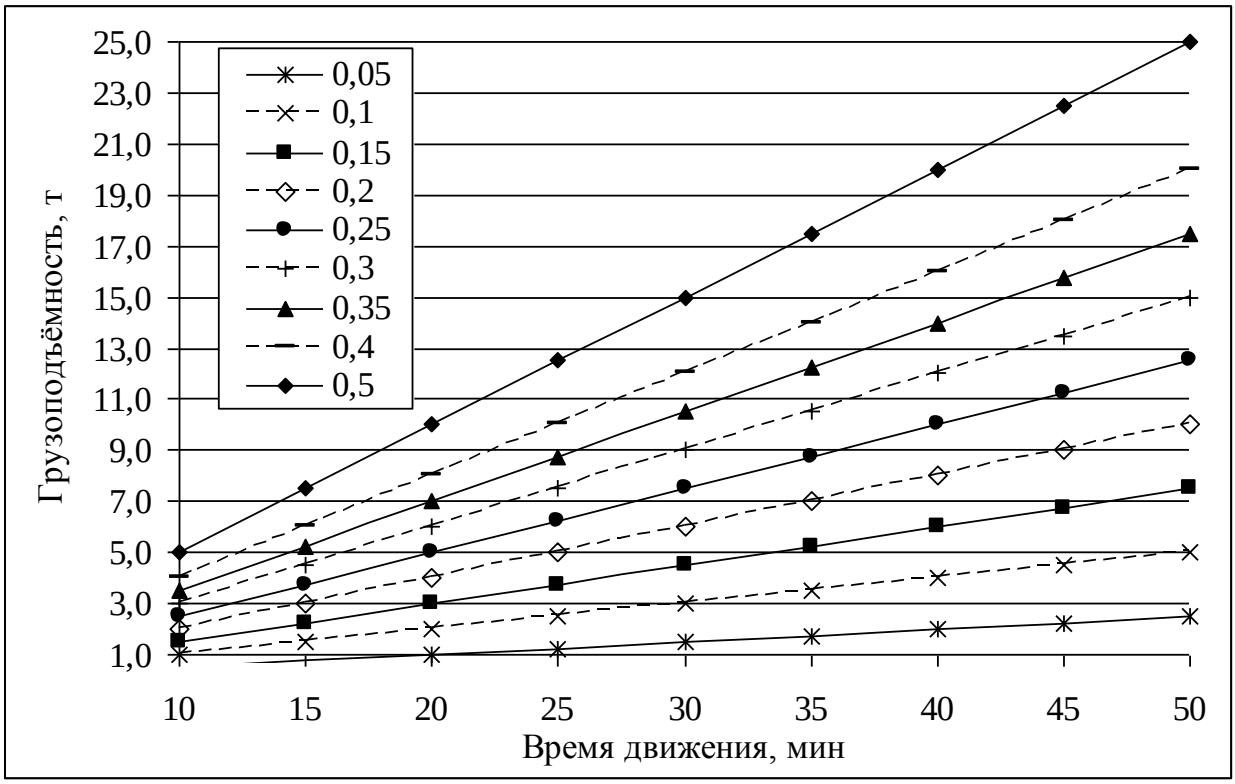

Рис. 1. Грузоподъёмность транспортных средств при заготовке кормов из подвяленных трав в зависимости от производительности кормоуборочного комбайна

Выводы

1. Качество и себестоимость кормов из подвяленных трав зависит от эффективности работы уборочно-транспортного комплекса, оптимальности его комплектации в зависимости от поточности технологического процесса.

2. Основное влияние на безостановочную работу уборочного комплекса имеет грузоподъёмность транспортных средств, которое зависит от производительности уборочной машины и времени движения транспортного средства до места разгрузки и обратно.

3. Представленный подход при выборе оптимальной грузоподъёмности транспортного средства можно использовать при решении задачи по формированию уборочно-транспортного комплекса для заготовки и сенажа с учётом имеющихся технических ресурсов, площадей кормовых угодий, урожайности трав и логистики доставки кормов с полей до хранилищ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. СПб.: Лань. 2022. 640 с.

2. Busato P., Sopegno A., Pampuro N., Sartori L., Berruto R. Optimisation tool for logistics operations in silage production. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 180, pp. 146-160.

3. Amiama C., Pereira J.M., Castro A., Bueno J. Modelling corn silage harvest logistics for a cost optimization approach. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol. 118, pp. 56-65.

4. Basnet C.B., Foulds L.R., Wilson J.M. Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting operations. *International Transactions in Operational Research*, 2006. Vol.13 (1), pp. 1-15.

5. Vindis P., Stajnko D., Lakota M., Mursec B. Comparison of efficiency of single-row and self-propelled harvester on small farms. *Actual Tasks on Agricultural Engineering-Zagreb*, 2012. Vol 40, pp. 311-320.

6. Valge A., Sukhoparov A., Papushin E. Grass forage transportation process modeling. *Engineering for Rural Development*. Proc. 19th Int. Sci. Conf. 20-22 May 2020, Jelgava, Latvia. Jelgva: LLU. 2020, pp. 1201-1207. DOI:10.22616/ERDev.2020.19.TF288

7. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. *Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации.* Материалы международного проекта «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 140 с.

8. Попов В.Д., Максимов Д.А., Морозов Ю.Л. и др. Технологическая модернизация отраслей растениеводства АПК Северо-Западного федерального округа. СПб:ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2014. 288 с.

9. Bueno J., Amiama C., Pereira J. M. Discrete event simulation model for the harvest cycle of silage corn. VII Congreso Iberico De Agroingeneria y Ciencias Horticolas: Innovar y Producir Para El Futuro. 2014, pp. 1064-1068.

10. Edwards G., Sørensen C.G., Bochtis D.D., Munkholm L.J. Optimised schedules for sequential agricultural operations using a Tabu Search method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015. Vol. 117, pp. 102-113. DOI: 10.1016/j.compag.2015.07.007
11. Валге А.М. Использование систем Excel и Mathcad при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства (Методическое пособие). СПб: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2013. 200 с.

REFERENCES

1.Ryadchikov V.G. Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Fundamentals of nutrition and feeding of farm animals]. Saint Petersburg: Lan' Publ. 2022. 640 p. (In Russian)

2. Busato P., Sopegno A., Pampuro N., Sartori L., Berruto R. Optimisation tool for logistics operations in silage production. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 180: 146-160 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.01.008

3. Amiama C., Pereira J.M., Castro A., Bueno J. Modelling corn silage harvest logistics for a cost optimization approach. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol. 118: 56-65 DOI: 10.1016/j.compag.2015.08.024

4. Basnet C.B., Foulds L.R., Wilson J.M. Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting operations. *International Transactions in Operational Research*, 2006. Vol.13 (1): 1-15.

5. Vindis P., Stajnko D., Lakota M., Mursec B. Comparison of efficiency of single-row and self-propelled harvester on small farms. *Actual Tasks on Agricultural Engineering-Zagreb*, 2012. Vol 40: 311-320.
6. Valge A., Sukhoparov A., Papushin E. Grass forage transportation process modeling. *Engineering for Rural Development*. Proc. 19th Int. Sci. Conf. 20-22 May 2020, Jelgava, Latvia. Jelgava: LLU. 2020, pp. 1201-1207 (In English) DOI:10.22616/ERDev.2020.19.TF288
7. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation]. *Materials of International Project "Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture– EFSOA",* Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM, 2021. 140 p. (In Russian)

8. Popov V.D., Maksimov D.A., Morozov Yu.L. i dr. Tekhnologicheskaya modernizatsiya otraslei rastenievodstva APK Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga [Technological modernization of crop production branches of the agro-industrial complex of the North-Western Federal District]. Saint Petersburg: GNU SZNIIMESH Rossel'khozakademii. 2014. 288 p. (In Russian)

9. Bueno J., Amiama C., Pereira J. M. Discrete event simulation model for the harvest cycle of silage corn. VII Congreso Iberico De Agroingeneria y Ciencias Horticolas: Innovar y Producir Para El Futuro. Libro de Actas. Madrid, Spain: Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid. 2014: 1064-1068.

10. Edwards G., Sørensen C.G., Bochtis D.D., Munkholm L.J. Optimised schedules for sequential agricultural operations using a Tabu Search method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015. Vol. 117: 102-113 DOI: 10.1016/j.compag.2015.07.007

11. Valge A.M. Ispol'zovanie sistem Excel i Mathcad pri provedenii issledovanij po mekhanizatsii sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva (Metodicheskoe posobie) [Application of Excel and Mathcad in research related to mechanisation of agricultural production/ Guidance manual]. SPb.: GNU SZNIIMESKH Rossel'khozakademii, 2013: 200 (In Russian)

УДК 631:551.582:551.506.9 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-116-126

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСА ПОГОДНОГО СЕРВИСА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.А. Смелик[1] д-р. техн. наук, Ф.А. Киприянов[3] канд. техн. наук.
П.А. Савиных[2] д-р. техн. наук.,

[1] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

[2] Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

[3] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, Вологда, Россия

В статье приводятся результаты использования климатического сервиса Яндекс.Погода для агроклиматического районирования Вологодской области и получения климатических характеристик сельскохозяйственных полей. В результате оценки климатических условий населенных пунктов сформировано восемь однотипных территориально-климатических районов, отличающихся между собой по таким показателям, как сумма биологически активных температур, количество осадков и продолжительность безморозного периода. Средние показатели однотипных территориально-климатических районов имеют существенные различия – разница по количеству осадков составляет 77 мм, по безморозному периоду – 19 дней. Разница суммы средних биологически активных температур достигает 805,6°С. Наложение климатических районов на существующее административное районирование позволило отметить, что климатические условия значительно отличаются даже в пределах одного района. Повышение эффективности технологических процессов в сельскохозяйственном

производстве требует более точного подхода к оценке и прогнозированию климата в условия конкретного поля. Работа сервисов, предоставляющих климатические данные, направлена, в основном, на предоставление информации в населенных пунктах, что затрудняет оценку климата в случаях, когда сельскохозяйственные угодья расположены на значительном удалении от населенного пункта. В результате исследования климатических данных получены поверхности отклика, позволяющие определить климатические данные по географическим координатам, что делает возможным получение климатической характеристики конкретного поля. Отклонение теоретических данных, полученных по уравнению поверхности, от опытных данных по количеству осадков, продолжительности безморозного периода и сумме активных температур составило 3,6%, 0,58% и 2,4%, соответственно, что позволяет довольно точно определять климатические характеристики конкретного поля.

Ключевые слова: климатические условия, количество осадков, сумма активных температур, погодный сервис, Яндекс.Погода, агроклиматическое районирование, территориально климатические районы.

Для цитирования: Смелик В.А., Савиных П.А., Киприянов Ф.А. Практическое применение интернет-ресурса погодного сервиса в сельскохозяйственном производстве // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.116-126

PRACTICAL APPLICATION OF WEB WEATHER FORECAST SERVICE IN AGRICULTURE

V.A. Smelik[1], DSc (Engineering), F.A. Kipriyanov[3], Cand. Sc. (Engineering)
P.A. Savinykh[2], DSc (Engineering),

[1] Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IEEP) - branch of FSAC VIMб Saint Petersburg, Russia
[2] Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

[3] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia

The article presents the results of using Yandex.Weather climate forecast service for agro-climatological zoning in the Vologda Region and for obtaining the climatic characteristics of agricultural fields. The evaluation of climatic conditions in the settlements identified eight similar territorial and climatic zones. They differed in the sum of active temperatures, the amount of precipitation, and the frost-free period. The average indicators of the territorial and climatic zones of the same type varied very much. For example, the difference in the amount of precipitation was 77 mm and in the duration of the frost-free period – 19 days. The difference in the sum of the average active temperatures amounted to 805.6°C. Superposition of the climatic zones on the existing administrative districts made it possible to find out that climatic conditions varied much even within one district. To improve the efficiency of technological

processes in agriculture requires a more accurate approach to the climate assessment and forecast of a particular field. The services, which provide climatic data, aim at getting information in the settlements in the first place. This makes it difficult to assess the climate of the agricultural land located at a considerable distance from these settlements. The study of climatic data resulted in the response surfaces, which allowed determining the climatic data by geographical coordinates and getting the climatic characteristics of a particular field. The deviation of the theoretical data obtained by the surface equation from the experimental data was 3.6% by the amount of precipitation, 0.58% by the duration of the frost-free period, and 2.4% by the sum of active temperatures. This allowed quite accurate determining of the climatic characteristics of a particular field.

Key words: climatic conditions, precipitation, sum of active temperatures, weather forecast service, Yandex.Weather, agro-climatological zoning, geographical climatic areas.

For citation: Smelik V.A., Savinykh P.A., Kipriyanov F.A. Practical application of web weather forecast service in agriculture. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 116-126 (In Russian)

Введение

Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства 2017-2025 годы ставит перед собой целый комплекс задач, направленных на обеспечение стабильного роста производства сельскохозяйственной продукции [1]. Одной из задач программы является создание и внедрение технологий производства высококачественных кормов, решение которой должно базироваться на комплексном подходе, учитывающем все аспекты и специфику сельскохозяйственного производства.

В основу создания технологий по производству высококачественных кормов должны быть заложены фундаментальные исследования по разработке технологий, учитывающие условия функционирования сельскохозяйственных предприятий [2,3,4,5,6]. Основным фактором, снижающим эффективность существующих технологий в сельском хозяйстве, являются климатические условия, так, от неблагоприятных погодных условий 65% потерь в народном хозяйстве приходится на сельское хозяйство [4]. Соответственно, разрабатываемые технологии по производству кормов должны включать себя элементы прогнозирования и минимизации отрицательных климатических воздействий. Традиционный подход, подразумевающий под собой формирование комплекса машин и перечня операций для получения необходимого количества корма, себя изживает, и даже применение высокоточной техники, используемой при посеве, внесении удобрений, химической защите и т.д., не даст желаемого результата без учета территориально-климатических условий хозяйствования.

Стоит так же отметить, что климатические условия являются одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на агротехнические сроки выполнения операций, нарушая расчетную продолжительность работ в 2-5 и более раза, что в конечном итоге сказывается не только на количестве полученного урожая, но и на питательности кормов.

Развитие современных цифровых технологий позволяет в оперативном режиме получать климатические характеристики практически для любого населенного пункта.

Применение погодных сервисов может стать важным инструментом при анализе и прогнозировании климатических условий, что отмечается в том числе исследованием иностранных ученых, так, Chattopadhyay N и др. [7,8,9,10], отмечают необходимость сезонного прогнозирования климата для повышения эффективности фермерских работ. Развитие и применение цифровых сервисов, основанных на использовании перспективных самообучающихся нейронных сетей и различных автоматизированных сервисов [9], для составления прогноза, позволит осуществить переход к климатически умному сельскому хозяйству, что является неизбежной тенденцией развития агропромышленного комплекса в целом [11,12,13].

Материалы и методы

При проведении исследований данных климатические данные были получены через, Application Programming Interface (API) Яндекс.Погоды, с применением технологии «Meteum». Обработка экспериментальных данных, а именно, разбивка на кластеры с целью формирования однотипных территориально-климатических районов и построение графических поверхностей осуществлялась в программе STATISTICA, а статистическая оценка результатов выполнялась с помощью пакета прикладного статистического анализа Excel.

Результаты и обсуждение

Агроклиматическое районирование, выполненное на основании полученных данных, позволило сформировано восемь однотипных территориально-климатических районов, отличающихся между собой по оцениваемым показателям. Графическая интерпретация полученных данных (рис. 1) позволяет сделать ряд замечаний.

Так, рассматривая однотипные территориально-климатические климатические районы на фоне административных районов области можно отметить, что ряд районов располагается в нескольких климатических зонах (рис. 1). Например, Бабаевский район расположен в четырех территориально-климатических зонах, Никольский, Бабушкинский и ряд других районов расположены сразу в трех территориально-климатических зонах, а, например, Сокольский, Тотемский и некоторые другие районы расположены в двух территориально-климатических зонах, что делает условия развития сельскохозяйственного производства более сложными, а зачастую более рискованными.

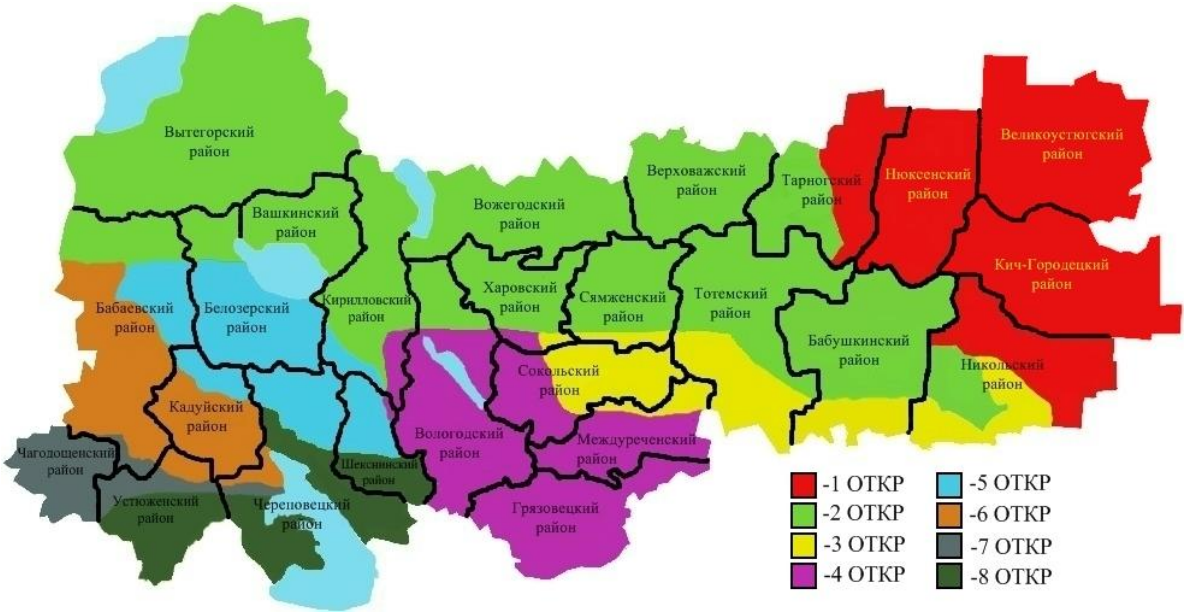

Рис. 1. Графическое представление однотипных территориально-климатических районов Вологодской области

Однако, современная тенденция внедрения технологий точного земледелия и изменения концепции развития сельского хозяйства: «от гектара к квадратному метру» требует климатической оценки не только конкретного административного района, но и оценки условий конкретного хозяйства и даже конкретного поля, которые в силу своего значительного территориального разброса могут существенно отличаются климатическими условиями.

Следует отметить, что практически все погодные сервисы предоставляют текущие и прогнозные климатические данные только для населенных пунктов. Специфика же сельскохозяйственного производства заключается в некотором удалении обрабатываемых полей и животноводческих комплексов от населенных пунктов, причем удаление полей зачастую превышает 5 км. Данный фактор, не позволяет использовать прогнозные данные, получаемые через погодные сервисы «в чистом виде» с необходимой точностью для оценки климатических условий при проведении полевых работ.

При работе с данными погодного сервиса была высказана гипотеза о возможности определения климатических условий для конкретных земельных участков, не привязанных к населенным пунктам, имеющим собственные географические координаты: долготу и широту.

В качестве климатических условий, имеющих агротехническое значение, для оценки были взяты: количество осадков, продолжительность безморозного периода, сумма биологически активных температур >10°С, полученных путем запроса к API Яндекс.Погоды [11, 12, 13]. Следует отметить, что при оценке суммы биологически активных температур расчеты велись по минимальному значению, поскольку снижение температуры оказывает негативное воздействие на вегетацию растений, такой подход позволяет обеспечить температурный запас при оценке потенциальной возможности возделывания той или иной культуры.

В результате обработки данных в программе STATISTICA были получены поверхности отклика, отражающие изменение климатических характеристик в зависимости от географического положения (рис. 2–4)

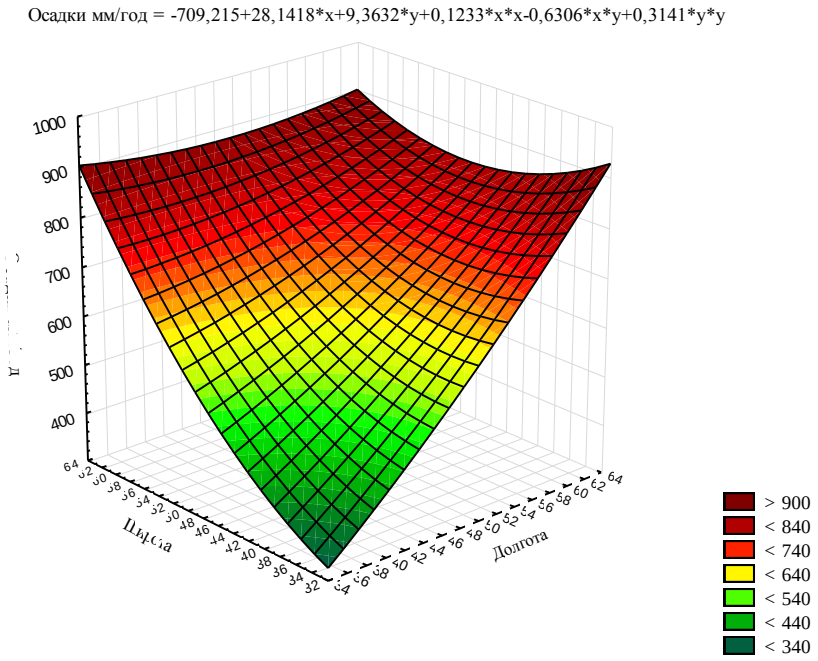

Рис. 2. Изменение количества осадков мм/год на территории Вологодской области в зависимости от географических координат

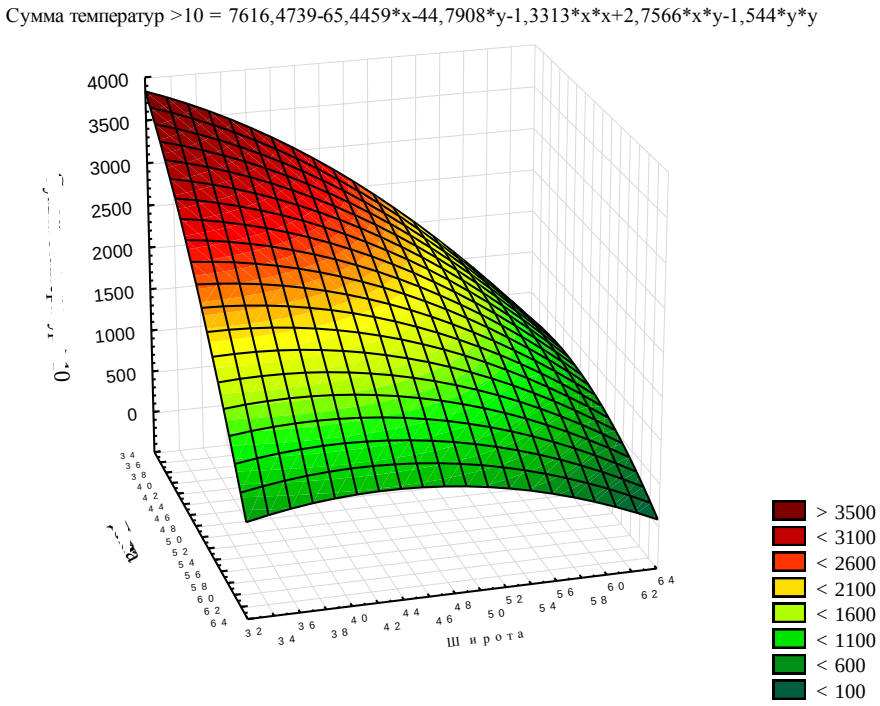

Рис. 3. Изменение суммы активных температур на территории Вологодской области в зависимости от географических координат

Безморозный период = 377,4774-0,617*x-1,332*y-0,0365*x*x+0,0412*x*y-0,0295*y*y

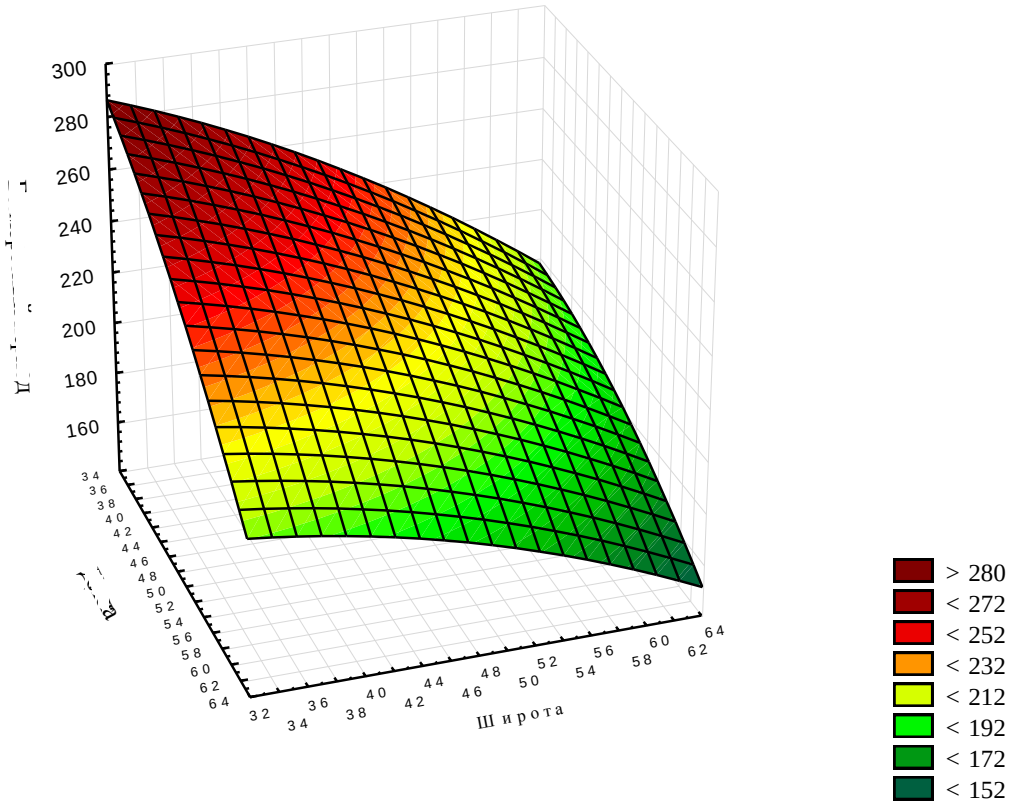

Рис. 4. Изменение продолжительности безморозного периода на территории Вологодской области в зависимости от географических координат

Уравнения поверхностей позволяют получить значение искомого показателя при указании географических координат. После получения уравнений поверхностей была произведена оценка степени отклонения теоретически полученных данных от результатов наблюдений. Так для годовой суммы осадков процент отклонения данных (по модулю) в среднем по массиву составил 3,6%, при этом 93% теоретически полученных значений имеют процент отклонения от практического менее 10%. В результате обработки массива отклонений в прикладном пакете статистического анализа Excel, с помощью функции «гистограмма», интервалы распределились следующим образом (рис. 5), 85% теоретически полученных данных укладываются в интервал до 8%.

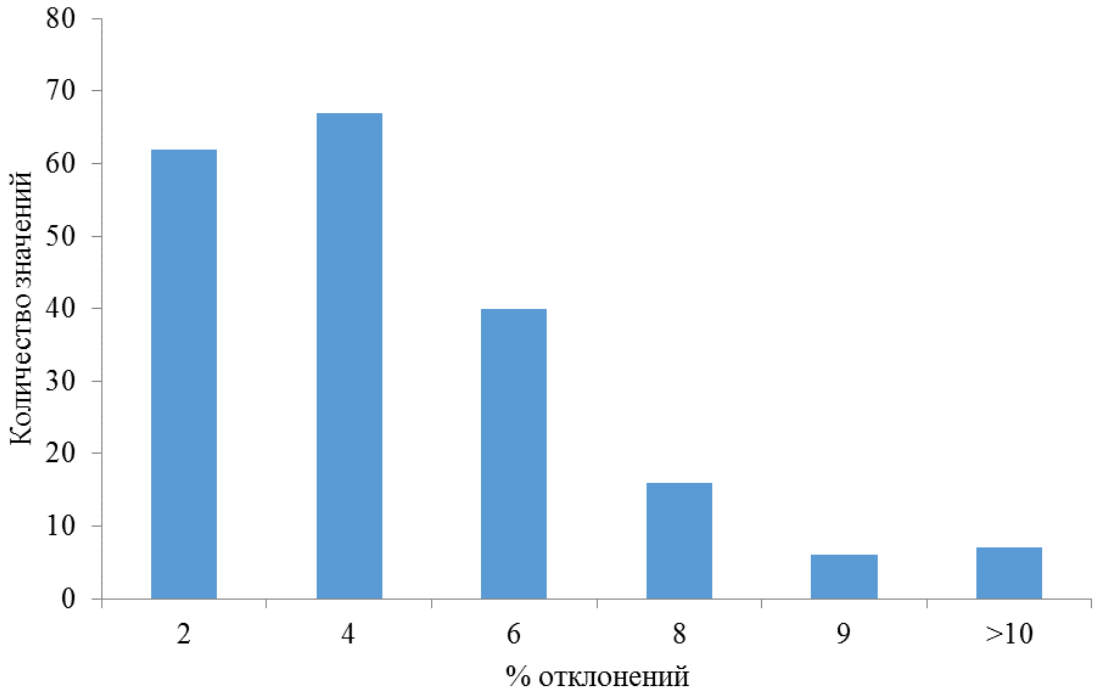

Рис. 5. Распределение отклонений теоретических данных по интервалам для годовой суммы осадков.

Общие результаты обработки данных: уравнения, поверхностей, значения отклонений теоретических значений от практических, сведены в таблицу.

Таблица

Обобщенные характеристики поверхностей климатических данных

Наименование показателя	Уравнение поверхности	Отклонения теоретических значений от опытных, %	Количество значений в интервале до 10%, %
Количество осадков	=709,215+28,1418*x+9,3632*y+0,1233*x2-0,6306*x*y+0,3141*y2	3,6	93,4
Продолжительность безморозного периода	=377,4774-0,617*x-1,332*y-0,0365*x2+0,0412*x*y-0,0295*y2	0,58	100
Сумма активных температур	=7616,4739-65,4459*x-44,7908*y-1,3313*x*x+2,7566*x*y-1,544*y*y	2,4	95,5

Выводы

Таким образом, опираясь на полученные зависимости, с высокой степенью точности сельскохозяйственные предприятия могут получить климатическую характеристику практически любой точки своей территории. Это позволит повысить

эффективность работ на стадии планирования, внедрения и разработки новых технологий по производству высококачественных кормов, что и является в конечном итоге одной из задач программы развития сельского хозяйства до 2025 года. Кроме этого, полученные результаты исследований при увеличении степени цифровизации сельскохозяйственного производства могут служить основой для разработки методики определения и прогнозирования климатических характеристик конкретных зон возделывания сельскохозяйственных культур и программирования их урожайности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы. Утверждена постановлением Правительства РФ от 25 августа 2017 г. № 996 (с изменениями на 13 мая 2022 года) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/436761964 (дата обращения 12.05.2022)

2. Кузин А.А., Медведева Н.А., Задумкин К.А., Вахрушева В.В. Сценарии развития молочной промышленности России // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз.* 2018. Т. 11. № 6. С. 73-88.

3. Kipriyanov F. A., Savinykh P. A. Assessment of technical provision in agricultural sector of Russia // *EurAsian Journal of BioSciences*. 2019. Vol. 13. No. 2. pp. 1651-1658.

4. Баринова О.И., Юренева Т.Г. Анализ финансового состояния сельскохозяйственных организаций Вологодской области в период внешнеэкономических санкций // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий.* 2018. № 1. С. 39-44.

5. Chattopadhyay N. Rao K.V., Sahai A.K., Balasubramanian R., Pai D.S., Pattanaik D.R. et al. Usability of extended range and seasonal weather forecast in Indian agriculture // *Mausam*, 2018. Vol. 69(1). pp. 29-44.

6. Thornton P. K. et al. A framework for priority-setting in climate smart agriculture research //*Agricultural Systems*. 2018. Vol.167, pp. 161-175. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.09.009

7. Han E., Baethgen W., Ines A., Mer F., Souza J., Berterretche M., Atunez G., Barreira C. (2018). SIMAGRI: An agro-climate decision support tool // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol.161, pp. 241-251 DOI: 10.1016/j.compag.2018.06.034.

8. Kamatchi S. B., Parvathi R. Improvement of crop production using recommender system by weather forecasts // *Procedia Computer Science*, 2019. Vol. 165, pp. 724-732, DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.023.

9 Савиных П.А., Киприянов Ф.А. Применение погодного сервиса для оценки сельскохозяйственного производства / Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы: материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки АГРОРУСЬ-2018. Санкт-Петербург: СПбГАУ. 2018. С. 261–264.

10. Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Территориально-климатическое районирование Вологодской области и перспективы его использования в земледелии // *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 2 (26). С. 64-71.

11. Киприянов Ф.А. Использование цифровых технологии при оценке климатических условии сельскохозяйственного производства // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2019. № 1 (26). С. 70-74.

REFERENCES

1. Federal'naya nauchno-tekhnicheskaya programma razvitiya sel'skogo khozyaistva na 2017–2030 gody. Utverzhdena postanovleniem Pravitel'stva RF ot 25 avgusta 2017 g. № 996 (s izmeneniyami na 13 maya 2022 goda) [Federal scientific and technical program for the development of agriculture for 2017–2030. Approved by Decree of the Government of the Russian Federation as of August 25, 2017, No. 996 as amended on 13 May 2022]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/436761964 (accessed 12.05.2022) (In Russian)

2. Kuzin A.A., Medvedeva N.A., Zadumkin K.A., Vakhrusheva V.V. Development scenarios for Russia's dairy industry. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2018. Vol. 11. No. 6: 73-88 (In English) DOI:10.15838/esc.2018.6.60.5

3. Kipriyanov F. A., Savinykh P. A. Assessment of technical provision in agricultural sector of Russia. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2019. Vol. 13. No. 2: 1651-1658 (In English)

4. Barinova O.I., Yureneva T.G. Analiz finansovogo sostoyaniya sel'skokhozyaistvennykh organizatsii Vologodskoi oblasti v period vneshneekonomicheskikh sanktsii [Financial analysis of agricultural organizations of the Vologda Region in the period of economic sanctions]. *Ekonomika sel'skokhozyaistvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii*. 2018. No. 1: 39-44 (In Russian)

5. Chattopadhyay N. Rao K.V., Sahai A.K., Balasubramanian R., Pai D.S., Pattanaik D.R. et al. Usability of extended range and seasonal weather forecast in Indian agriculture // *Mausam*, 2018. Vol. 69(1). pp. 29-44.

6. Thornton P. K. et al. A framework for priority-setting in climate smart agriculture research //*Agricultural Systems*. 2018. Vol.167, pp. 161-175. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.09.009

7. Han E., Baethgen W., Ines A., Mer F., Souza J., Berterretche M., Atunez G., Barreira C. (2018). SIMAGRI: An agro-climate decision support tool // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol.161, pp. 241-251 DOI: 10.1016/j.compag.2018.06.034.

8. Kamatchi S. B., Parvathi R. Improvement of crop production using recommender system by weather forecasts // *Procedia Computer Science*, 2019. Vol. 165, pp. 724-732, DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.023.

9 Savinykh P.A., Kipriyanov F.A. Primenenie pogodnogo servisa dlya otsenki sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Application of the weather service to assess agricultural production]. Kachestvennyi rost rossiiskogo agropromyshlennogo kompleksa: vozmozhnosti, problemy i perspektivy [Qualitative growth of the Russian agro-industrial complex: opportunities, problems and prospects].Materials of the business programme of XXVII

International Agro-industrial Exhibition AGRORUS-2018. Saint Petersburg: SPbSAU. 2018: 261–264 (In Russian)

10. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Territorial'no-klimaticheskoe raionirovanie Vologodskoi oblasti i perspektivy ego ispol'zovaniya v zemledelii [Territorial and climatic zonation of the Vologda oblast and its prospects in agriculture]. *Permskii agrarnyi vestnik*. 2019. No. 2 (26): 64-71(In Russian)

11. Kipriyanov F.A. Ispol'zovanie tsifrovykh tekhnologii pri otsenke klimaticheskikh uslovii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [The use of digital technology in assessing the climatic conditions of agricultural production]. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*. 2019. No. 1 (26): 70-74(In Russian)

УДК633.491+631.147: 57.045 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-126-136

ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА КАРТОФЕЛЯ ВОЗДЕЛЫВАЕМОГО ПО БИОЛОГИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ 2021 ГОДА

В.Б. Минин[1], канд.с-х.наук, С.П. Мельников[2], канд.с-х.наук,
А.М. Захаров[1], канд. техн.наук, Е.А. Мурзаев[1]

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства [1] ИАЭП – филиал ФГБН ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия
[2] ФГБОУВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

Изменение климата приводит к участившимся случаям временной засухи в вегетационный период даже в условиях Северо-Запада Российской Федерации. С 2016 года нами проводятся исследования в биологизированном севообороте на базе опытной станции ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Ситуация с засушливыми условиями сложилась в 2021 году, когда за июнь-июль выпало всего 33,4 мм осадков. В двух полевых опытах возделывался картофель сорта Удача (первый опыт) и сортов Елизавета, Рябинушка, Невский и Лига (второй опыт). В соответствии со схемой опытов изучалось действие компоста, сформированного на базе куриного помета индустриальным способом, биофунгицида Картофин и операции по обработке борозд на продуктивность картофеля на фоне складывающихся погодных условий. В рассматриваемом году на вариантах без внесения компоста, урожайность картофеля сорта Удача составила 12,2 - 13,4 т/га стандартных клубней. Внесение 4 т/га компоста повышало урожайность стандартных клубней на 3,1-5,5 т/га; внесение 8 т/га, в свою очередь, повысило урожайность на 8,7 - 9,3 т/га. Среди сортообразцов наивысшая урожайность была отмечена для сорта Рябинушка – 18,9 т/га стандартных клубней на фоне внесения 4 т/га компоста. Углубленное рыхление междурядий показало свою эффективность.

Биологическая урожайность картофеля при углубленной обработке без внесения компоста увеличивалась на 8,7%, при первой дозе компоста – на 32%, и при второй дозе компоста – на 43,4%, при этом количество нестандартного картофеля по всем вариантам опыта снижалось. Биохимический состав клубней картофеля существенно не изменился при этих погодных условиях. Отмечено несколько меньшее содержание крахмала в клубнях, особенно в сортоиспытательном опыте. Содержание нитратов в клубнях картофеля даже при внесении повышенной дозы компоста, было ниже ПДК. Таким образом, внесение компоста, углубленная обработка и биопрепарат позволили снизить негативное воздействие засушливых условий на продуктивность и качество картофеля.

Ключевые слова: засушливые погодные условия; урожайность картофель; биологизированная технология, сортоиспытания картофеля; биохимический состав клубней картофеля, углубленная обработка междурядий.

Для цитирования: Минин В.Б., Захаров А.М., Мельников С.П., Мурзаев Е.А. Особенности продуктивности и качественного состава картофеля возделываемого по биологизированной технологии в засушливых условиях 2021 года // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.126-137

PECULIARITIES OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF POTATOES CULTIVATED BY BIOLOGY-BASED TECHNOLOGY IN ARID CONDITIONS OF 2021

V.B. Minin[1], Cand Sc. (Agriculture), A.M. Zakharov[1], Cand. Sc. (Engineering), S.P. Melnikov[2], Cand. Sc. (Agriculture), E.A. Murzaev

[1]Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint Petersburg State Agrarian University”, Saint Petersburg, Russia

Climate change leads to more frequent cases of temporary drought during the growing season, even in the North-West of the Russian Federation. Since 2016, a biology-based crop rotation was a research object on the experimental field of IEEP - branch of FSAC VIM. The year of 2021 featured the arid conditions, when only 33.4 mm of precipitation were registered in June-July. The two field investigated the growth of potatoes of Udacha variety (the first experiment) and Elizaveta, Ryabinushka, Nevsky and Liga varieties (the second experiment). The experimental design included the study of the effect of compost produced from poultry manure by an industrialized method, Kartofin biofungicide and furrow tilling on the potato productivity against the background of prevailing weather conditions. In the year under consideration, the variants without composting demonstrated the yield of potato Udacha variety from 12.2 to 13.4 t/ha of standard tubers. The application of 4 t/ha of compost increased the yield of standard tubers by 3.1 to 5.5 t/ha; the introduction of 8 t/ha of compost increased the yield by 8.7 to 9.3 t/ha. Among other variety samples, the highest yield was recorded for the Ryabinushka variety – 18.9 t/ha of standard tubers against the background of applying 4 t/ha of compost. Deep

loosening of inter-row spacing proved to be effective. The biological yield of potatoes during deep loosening without adding the compost increased by 8.7%, with the first dose of compost – by 32%, and with the second dose of compost – by 43.4%, while the number of non-standard potatoes in all variants of the experiment decreased. The biochemical composition of potato tubers did not change significantly under these weather conditions. A slightly lower content of starch in tubers was noted, especially in the variety testing experiment. The content of nitrates in potato tubers, even with the introduction of an increased dose of compost, was below the MPC. Thus, the compost application, deep soil loosening and a biological preparation made it possible to reduce the negative impact of drought conditions on the productivity and quality of potatoes.

Key words: arid conditions; potato yielding capacity; biology-based technology, potato variety testing; biochemical composition of potato tubers, deeper inter-row cultivation

For citation: Minin V.B., Zakharov A.M., Melnikov S.P., Murzaev E.A. Peculiarities of productivity and quality of potatoes cultivated by biology-based technology in arid conditions of 2021. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No.2 (111): 126-137 (In Russian)

Введение

Изменение климата приводит к появлению засушливых периодов погоды в летнее время даже в условиях Северо-Запада России. Следовательно, необходимо разрабатывать действия, которые снизят отрицательный эффект этого явления на сельское хозяйство. По своему происхождению, картофель для эффективного развития весьма требователен к обеспечению достаточным количеством воды. В обзоре, подготовленном коллективом авторов [1] детально рассматривается возможности применять генетического подхода в формировании большей устойчивости растений картофеля к низкой доступности воды. В частности предлагается более активно использовать так-называемую технологию «Phenomics», которая предусматривает объединение усилий междисциплинарной команды включающей биологов, физиков и математиков, а не только генетиков, биохимиков и физиологов растений, для разработки и исследования 3D моделей растений [2]. Тем не менее, следует также применять достаточно простые агротехнические методы. Так проводя исследования с картофелем в условиях полива, была установлена существенная зависимость эффективности удобрений от количества влаги, поступающей за вегетационный период [3]. Установлена возможность снижать заболеваемость картофеля, даже при изменяющихся погодных условиях, обрабатывая его перед посадкой биопрепаратами [4]. В полевых исследованиях, проводимых нами с картофелем с 2016 года, создавались различные погодные условия, воздействующие как на почвенную среду, так и на растения картофеля [5,7]. При этом мы испытывали различные агроприемы, действие которых также отражалось на устойчивости агроценоза картофеля к колебаниям погодных условий, в частности, углубленную обработку междурядий картофеля [6,8,11]. Целью исследований в 2021 году была детальная оценка воздействия экстремальных погодных условий на продуктивность и качество разных сортов картофеля, возделываемых по биологизированной технологии.

Объекты и методы

В 2021 году исследования были продолжены в биологизированном севооборотном опыте на Опытной станции ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Почва опытного поля - дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая на остаточно карбонатном мореном суглинке. Ее агрохимическая характеристика свидетельствует о слабо-кислой реакции почвенной среды и повышенном содержании органического вещества. Содержание фосфора и калия было на среднем уровне. В Первом опыте, при реализации биологизированной технологии возделывания картофеля, изучались три группы факторов:

а). Уровень минерального питания, обеспеченный действием компоста;

б). Действие биофунгицида «Картофин», разработанного во Всероссийском НИИ защиты растений;

в). Действие агротехнических мероприятий по обработке почвы и уходу за растениями картофеля.

.

В опыте возделывался картофель сорта Удача. Исследования проводятся с одним видом органических удобрений, БИАГУМом, компостом, приготовленным на основе куриного помета индустриальным способом в биоконвекторе ИАЭП. Использовались две дозы органического удобрения, 4,3 и 8,6 т/га (соответствующие внесению азота в 80 и 160 кг/га). Клубни картофеля обрабатывались разработанным ВИЗРом биологическим препаратом Картофин на основе штаммов *Bacillus subtilis* при посадке, а затем по листьям. С этой целью на сажалку и культиватор был установлен специально разработанный для этой цели *опрыскиватель*.

Площадь делянки в опыте - 5,6м х 11м = 61,6 м^2. Повторность – четырех кратная, расположение делянок рендомизированное. Ширина междурядья 0,7 м., учетную площадь делянки составляют четыре срединных гребня, на которых проводится отбор образцов в динамике, и два гребня (по одному с обеих сторон) – защитка.

Во Втором опыте возделывались четыре российских сорта, районированные в Ленинградской области: Елизавета, Рябинушка, Невский и Лига. Использовалась одна доза компоста, 4,3 т/га. Картофель обрабатывался препаратом Картафин.

В опытах реализовывалась биологизированная технология возделывания картофеля, разработанная в институте [9,10]. Метеоинформация была получена с автоматизированной метеостанции, расположенной в институте. Определение показателей качества клубней картофеля проводили согласно соответствующим ГОСТам в аналитической лаборатории ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и в биохимической лаборатории СПбГАУ.

Статистическая обработка данных производилось с использованием алгоритмов приведенных в книге В.А. Доспехова «Методика полевого опыта» и статистической программой Statistica, version 10.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены данные о погодных условиях 2021 и 2020 годов. 2020 год можно отнести к достаточно комфортному по температурным условиям для картофеля,

за вегетационный период выпало существенное количество атмосферных осадков. В 2021 году, напротив, наблюдались очень засушливые условия в июне и июле месяцах, во время активного развития картофеля. Показатель ГТК в эти месяцы составлял только 0,25-0,26. За июнь и июль 2021 года выпало всего 33,4 мм осадков. Температура почвы в зоне клубнеобразования в июле поднялась выше 20 градусов, что привело к некоторой задержке развития клубней картофеля. Содержание влаги в почве участка, на котором были заложены органические опыты, в результате обильных осадков весной, составляло 28,0±1,8% к 25 мая 2021 г. Однако, в июне и июле температура была повышенная (средняя температура в эти месяцы составляла 21^0-22^0 С). В связи со сложившимися условиями, растения картофеля испытывали недостаток поступлении влаги, что отразилось в некоторой задержке развитии растений.

В таблице 2 приведены данные об урожайности картофеля в опытах. Резко засушливые погодные условия 2021 года значительно понизили урожайность картофеля, по сравнению с прошлыми годами. Однако, внесение компоста обеспечило существенный подъем урожайности картофеля, которая при максимальной дозе компоста составила 20,9-22,7 т/га стандартных клубней сорта Удача. Из сортов наиболее урожайной оказалась Рябинушка. Сорт Невский продемонстрировал максимальную биологическую урожайность, но ее значительная часть оказалась мелким или гнилым картофелем. Соответственно, урожайность стандарта оказалась не очень высокой.

Таблица 1

Погодных условий вегетационных периодов в 2020 и 2021 г.г.

Месяц	Атмосферный показатель	Годы		Среднегодовое значение
		2020	2021	
май	Температура, градусы С^o	10,0	11,6	11,3
	Осадки, мм	53	172	46
	ГТК	0,59	0,26	
июнь	Температура, градусы С^o	19,2	20,9	15,7
	Осадки, мм	129,4	16,6	71
	ГТК	2,25	0,25	
июль	Температура, градусы С^o	17,6	22,0	18,8
	Осадки, мм	186,2	16,8	79
	ГТК	3,41	0,25	

август	Температура, градусы С^{o}	17,2	15,8	16,9
	Осадки, мм	195,9	109,2	83
	ГТК	3,80	2,23	

Таблица 2

Урожайность сортов картофеля в 2021 году

Сорт картофеля	Вид биозащиты	Доза компоста, т/га	Биологическая урожайность, т/га	Урожайность стандартных клубней, т/га
Удача	0	0	14,0	13,4
Удача	0	4	17,8	16,5
Удача	0	8	24,0	22,7
Удача	Картофин	0	13,5	12,21
Удача	Картофин	4	18,7	17,7
Удача	Картофин	8	23,4	20,9
Елизавета	Картофин	4	21,8	17,9
Рябинушка	Картофин	4	20,2	18,9
Невский	Картофин	4	23,0	15,4
Лига	Картофин	4	13,8	13,2
$НСР_{0,95}$			2,01	1,97

Полученные данные по урожайности картофеля в зависимости от способа междурядной обработки и вносимого количества органического удобрения представлены на рисунках 1 и 2.

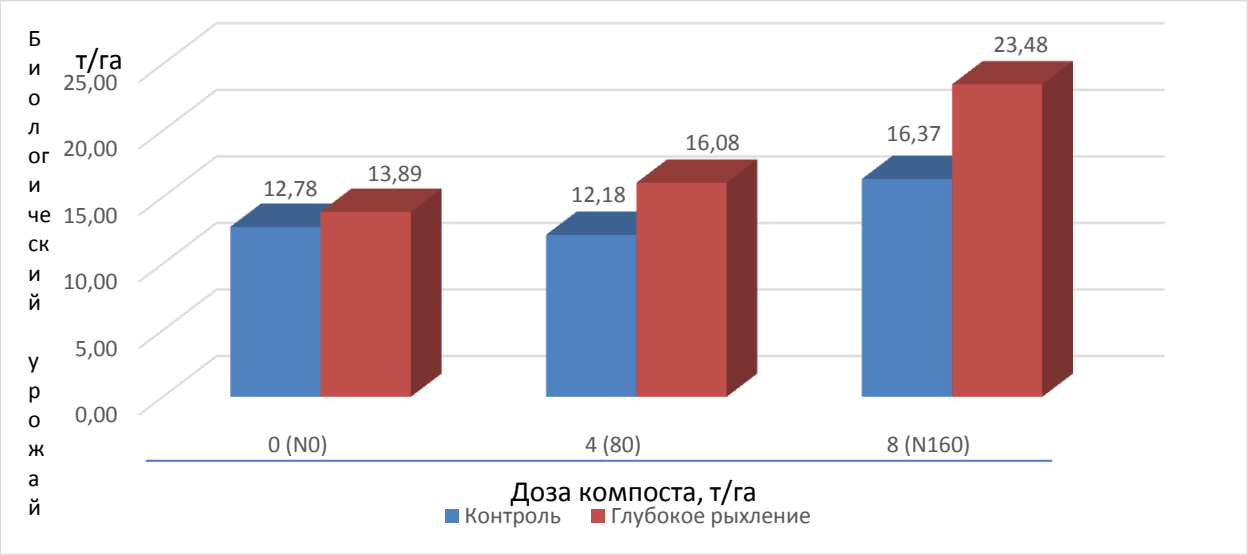

Рис. 1. Биологическая урожайность картофеля

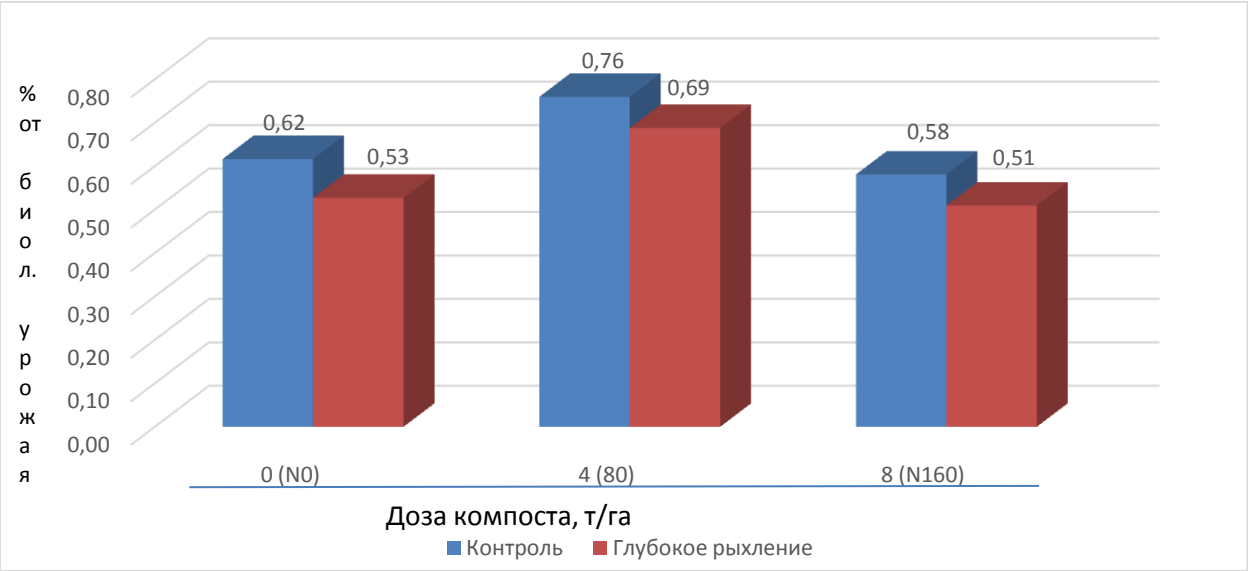

Рис. 2. Доля нестандартного картофеля в общей биомассе клубней картофеля

Анализируя полученные данные, следует отметить, что урожайность клубней картофеля увеличивается при углубленном рыхлении согласно вносимым дозам органического удобрения по сравнению с аналогичными вариантами при обычном рыхлении. Следовательно, на варианте с обычным рыхлением, при внесении 4 т/га компоста урожайность клубней, относительно нулевой дозы, увеличилась на 11,76%, а при внесении 8 т/га – на 23,43%. В варианте с глубоким рыхлением прибавка урожайности по сравнению с обычной обработкой составила: 1,11 т/га биологической урожайности на вариантах без внесения компоста, 3,90 т/га на варианте с первой дозой компоста и 7,11 т/га на варианте со второй дозой компоста. При этом количество нестандартных клубней картофеля по всем вариантам с углубленной обработкой имело тенденцию к снижению.

Биохимический состав клубней картофеля представлен в таблице 3. Следует отметить, что данные по сухому веществу в клубнях картофеля достаточно близки

между вариантами и их различия более связаны с урожайностью картофеля. Несколько пониженное содержание сухих веществ можно отметить для сортов Рябинушка и Невский. Повышенным содержанием крахмала, по сравнению с другими сортами, отличилась Удача. Соответственно, больший сбор крахмала также можно отметить по сорту Удача. Содержанию нитратов в клубнях картофеля по всем вариантам было значительно ниже ПДК. Следует отметить, что Картофин несколько повысил содержание сахаров в клубнях картофеля. А из сортов, минимальным содержанием сахаров в клубнях отличился сорт Елизавета.

Таблица 3

Влияние погодных условий, агроприемов и сортовых особенностей на биохимический состав клубней картофеля в опыте

№ п\п	Вариант	Содержание сухого вещества	Содержание крахмала	Содержание нитратов	Содержание сахаров	Сбор крахмала
		%		мг/кг	%	т/га
1	0	19,5	15,6	112	0,30	1,9
2	80	20,4	14,9	133	0,19	2,3
3	160	19,7	14,7	174	0,20	3,0
7	Картофин-0	19,9	11,8	88	0,21	1,3
8	Картофин-80	21,6	14,4	78	0,31	1,9
9	Картофин-160	20,0	14,3	147	0,35	2,9
10	Рябинушка	18,3	12,6	74	0,30	2,8
11	Невский	18,2	12,5	66	0,22	1,9
12	Лига	20,8	10,3	108	0,36	1,7
13	Елизавета	19,5	12,9	75	0,18	2,3

Заключение. В засушливых условиях 2021 года растения картофеля испытывали определенный стресс, который отразился как в снижении урожайности, так и в биохимическом составе клубней картофеля. Тем не менее, предпринятые действия, включая внесение компоста, проведение углубленной обработки междурядий картофеля, использование биопрепарата позволило несколько нивелировать вредное воздействие засушливых условий. Действие компоста обеспечило существенный подъем урожайности, до 20,9-22,7 т/га стандартных клубней. Углубленное рыхление междурядий показало свою эффективность. Биологическая урожайность картофеля, при углубленной обработке по сравнению с обычной, на варианте без внесения компоста,

увеличивалась на 8,7%, при первой дозе компоста – на 32%, и при второй дозе компоста – на 43,4%, при этом количество нестандартного картофеля по всем вариантам опыта снижалось. Из сортов, наибольшую урожайность продемонстрировал сорт Рябинушка. Биохимический состав клубней картофеля существенно не изменился при этих погодных условиях. Несколько меньшее содержание крахмала в клубнях, отмечено в сортоиспытательном опыте. Содержание нитратов в клубнях картофеля, даже при внесении повышенной дозы компоста, было ниже ПДК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Obidiegwu J.E., Bryan G. J., Jones H. G., Prashar A. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement //*Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. 00542. DOI: 10.3389/fpls.2015.00542

2. Furbank R. T., Tester M. Phenomics – technologies to relieve the phenotyping bottleneck // *Trends in Plant Science* · 2011. Vol. 16, issue 12, pp.635-644
DOI: 10.1016/j.tplants.2011.09.005

3. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Гуляев М. В., Первушина Н. К. Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 4 (207). С. 34-42. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.

4. Кинчарова М.Н. Влияние регуляторов роста и биопрепаратов на устойчивость картофеля к болезням и урожайность в зависимости от погодных условий // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* 2014. № 4(28). С. 14-19

5. Минин В.Б., Мельников С.П. Продуктивность биологизированного картофеля при меняющихся метеоусловиях / *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения.* Сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции. СПб: СПбГАУ. 2020. С. 50-55

6. Минин В.Б., Захаров А.М., Мельников С.П., Васильев М.А. Продуктивность и качество картофеля, возделываемого по биологизированной технологии в условиях Ленинградской области. *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 3 (108), С. 51-66

7. Минин В.Б., Мельников С.П. Прогнозирование содержания минеральных форм азота в дерново-подзолистой почве в агроценозе органического картофеля / *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения*. Сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. СПб: СПбГАУ, 2021. С. 21-25

8. Zakharov A.M., Maksimov D.A., Minin V.B., Murzaev E.A., Ivanov D.Yu. Dependences of the yield of organic potatoes on the variable composition of technological operations // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. Vol. 979. ID: 012081. DOI:10.1088/1755-1315/979/1/012081

9. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. *Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации.* Материалы международного проекта «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 140 с.

10. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroev A.A., Murzaev E.A., Melnikov S.P. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* Proceedings of AgroCON-2019 conference, Kurgan 18-19 April, 2019. IOP Publishing Ltd. 2019. Vol. 341, ID: 012088.
11. Устроев А.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А. Зависимость урожайности картофеля в биологизированной технологии возделывания от параметров базовых технологических процессов // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 1 (98). С. 93-101.

REFERENCES

1. Obidiegwu J.E., Bryan G. J., Jones H. G., Prashar A. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement //*Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. 00542. DOI: 10.3389/fpls.2015.00542
2. Furbank R. T., Tester M. Phenomics – technologies to relieve the phenotyping bottleneck // *Trends in Plant Science* · 2011. Vol. 16, issue 12: 635-644
DOI: 10.1016/j.tplants.2011.09.005
3. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Gulyaev M. V., Pervushina N. K. Vliyanie razlichnykh faktorov na formirovanie urozhaya i kachestvo produktsii kartofelya [Influence of various factors on crop formation and potato quality]. *Agrarnyi vestnik Urala*. 2021. No. 4 (207): 34-42 (In Russian) DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
4. Kincharova M.N. Vliyanie regulyatorov rosta i biopreparatov na ustoichivost' kartofelya k boleznyam i urozhainost' v zavisimosti ot pogodnykh uslovii [Influence of growth regulators and biological preparation on resistance of potato to disease and yield depending on weather conditions]. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.* 2014 No. 4(28): 14-19 (In Russian)
5.Minin V.B., Melnikov S.P. Produktivnost' biologizirovannogo kartofelya pri menyayushchikhsya meteousloviyakh [The productivity of biologized potatoes under changing weather conditions]. *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya* [Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution]. Coll. Sci. Papers of Int. Sci. Prac. Conf. Saint Petersburg: SPbGAU. 2020: 50-55 (In Russian)
6. Minin V.B., Zakharov A.M., Melnikov S.P., Vasilev M.A. Produktivnost' i kachestvo kartofelya, vozdelyvaemogo po biologizirovannoi tekhnologii v usloviyakh Leningradskoi oblasti [Yielding capacity and quality of potato cultivated by biology-based technology in the conditions of the Leningrad Region]. *AgroEkoInzheneriya*. 2021. No. 3 (108): 51-66 (In Russian)
7. Minin V.B., Melnikov S.P. Prognozirovanie soderzhaniya mineral'nykh form azota v dernovo-podzolistoi pochve v agrotsenoze organicheskogo kartofelya [Forecasting the content of mineral forms of nitrogen in soddy-podzolic soil in the agrocenosis of organic potatoes]. *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya* [Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution]. Coll. Sci. Papers of Int. Sci. Prac. Conf. dedicated to the Year of Science and Technology. Saint Petersburg: SPbGAU, 2021: 21-25 (In Russian)

8. Zakharov A.M., Maksimov D.A., Minin V.B., Murzaev E.A., Ivanov D.Yu. Dependences of the yield of organic potatoes on the variable composition of technological operations // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. Vol. 979. ID: 012081. (In English) DOI:10.1088/1755-1315/979/1/012081

9. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation]. *Materials of International Project "Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture– EFSOA",* Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM, 2021. 140 p. (In Russian)

10. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroev A.A., Murzaev E.A., Melnikov S.P. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* Proceedings of AgroCON-2019 conference, Kurgan 18-19 April, 2019. IOP Publishing Ltd. 2019. Vol. 341, ID: 012088 (In English)

11. Ustroev A.A., Kalinin A.B., Murzaev E.A. Otsenka effektivnosti tekhnologicheskikh operatsii v protsessakh osnovnoi obrabotki pochvy i ukhoda za posadkami v organicheskoi tekhnologii vozdelyvaniya kartofelya [Efficiency assessment of technological operations of primary soil tillage and crop care in organic potato cultivation]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. No. 96: 66-73 (In Russian)

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

УДК 631.363 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-137-145

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИСКОВОГО ДОЗАТОРА ДЛЯ СУХОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ ЦЕЛЬНОГО МОЛОКА

С.В. Вторый, канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

За качественное выполнение операции дозирования порошка при приготовлении смеси жидкого заменителя цельного молока отвечает дозатор, определяющими технико-технологическими характеристиками которого являются точность дозирования и производительность. Низкая точность дозирования при выполнении процесса отрицательно сказывается на приросте живой массы телят. Разработка новых средств дозирования способствует совершенствованию технологии приготовления жидкого ЗЦМ при одновременном повышении надежности и уменьшении энергоемкости процесса. Целью работы является повышение качества процесса дозирования сухого ЗЦМ путем совершенствования технических параметров дозатора. Исследуемый дозатор изготовлен из нержавеющей стали и состоит из двух элементов: бункера для сухого ЗЦМ и дозирующего устройства дискового типа. Дозирующее устройство имеет междисковое расстояние 68 мм, угол сектора диска 90º, частоту вращения дисков 2 об/с. На производительность и точность дозирования в значительной степени влияет процесс сводообразования. Одно из условий, препятствующих сводообразованию – это наличие ворошителя, который стабилизирует процесс истечения сухого ЗЦМ. При исследовании дозатора применялись два типа ворошителей. Определялись физико-механические свойства сухого ЗЦМ (плотность и влажность) и проводились эксперименты, где в качестве фактора выступало время дозирования порции сухого ЗЦМ, равное 6, 10, 15 и 20 секундам. Было установлено, что с дисковым дозатором целесообразнее использовать ворошителя, производительность которого составила 90 г/с при средней мощности на привод 226 Вт. Средняя погрешность процесса дозирования не превышала 3%. Получены уравнения для расчета времени работы дозатора от необходимого объема жидкого ЗЦМ.

Ключевые слова: молодняк КРС**,** заменитель цельного молока, дозатор, дозирование, ворошитель

Для цитирования: Вторый С.В. Совершенствование дискового дозатора для сухого заменителя цельного молока // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.137-

INVESTIGATION OF A DISC DISPENSER FOR THE DRY WHOLE MILK REPLACER

S.V. Vtoryi, Cand. Sc. (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The high-quality powder dosing when preparing a mixture of liquid whole milk replacer is the responsibility of a dispenser. Its defining technical and technological characteristics are dosing accuracy and productive capacity. The poor dosing accuracy during the mixing has a negative effect on the calf live weight increment. The development of new dosing devices contributes to the improvement of the technology for the preparation of liquid milk replacer with increasing the reliability and reducing the energy intensity of the process. The study aim was to enhance the dosing quality of the dry milk replacer by improving the dispenser's performance. The investigated dispenser was made of stainless steel and had two elements: a hopper for the dry milk replacer and a disk-type dosing device. A distance between the discs in the dosing device was 68 mm, a disc sector angle was 90º, and a disc rotation speed was 2 rpm. Arching of the material had a major effect on the productivity and dosing accuracy of the dispenser. To prevent this process, a stirrer was installed, which stabilized the dry milk replacer outflow. The study investigated two types of stirrers. The study determined the physical and mechanical properties of dry milk replacer – its density and humidity. In the performed experiments the factor was the dosing time of 6, 10, 15 and 20 seconds per a dry milk replacer batch. The study found more practical to use a disc dispenser with a stirrer with the productivity of 90 g/s and an average driver capacity of 226 W. The average dosing error did not exceed 3%. The study derived equations for calculating the operating time of the dispenser from the required volume of liquid milk replacer.

Key words: young cattle, whole milk replacer, dispenser, dosing, stirrer

For citation: Vtoryi S.V. Investigation of a disc dispenser for the whole milk dry replacer. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 137- (In Russian)

Введение

Корма являются одним из основных факторов определяющих эффективность и рентабельность молочного животноводства, в структуре затрат они занимают более 60%. При выращивании молодняка крупного рогатого скота (КРС), в настоящее время во многих хозяйствах, расходуется большое количество цельного молока, что приводит к значительно высокой стоимости прироста живой массы [1]. Так же выпаивание цельного молока не позволяет обеспечить темпы роста молодняка КРС, которые отвечают современным стандартам [2].

Одним из наиболее рациональных путей является использование его заменителей. В качестве альтернативы при выращивании телят используются жидкие заменители цельного молока (ЗЦМ), которые успешно применяют во многих странах [3]. В этом случае мы получаем существенную экономию цельного молока, а так же применение ЗЦМ благоприятно отразится на развитии органов пищеварения телят, и они быстрее адаптируются к потреблению растительных кормов [4].

Заменитель цельного молока по своей энергетической и биологической ценности и химическому составу не уступает цельному молоку. Его применение способствует

увеличению интенсивности роста телят при снижении затрат на 1 кг прироста их живой массы [5,6].

Использование смеси жидкого ЗЦМ позволяет исключить технологические проблемы при кормлении молодняка, благодаря тому, что сухой ЗЦМ имеет длительный срок хранения при постоянном составе [7].

Важнейшим показателем приготовленной смеси жидкого ЗЦМ является ее качество, которое достигается строгим соблюдением соотношения пропорции сухого и жидкого компонентов в процессе дозирования [8]. Готовая порция жидкого ЗЦМ это отношение одной части порошка к 8-10 частям подготовленной воды, в результате чего получается из 1 кг сухого ЗЦМ 9-11 л готовой смеси [6].

За качественное выполнение операции дозирования компонентов отвечает дозатор, определяющими технико-технологическими характеристиками которого являются точность и производительность [9]. Низкая точность дозирования при выполнении процесса отрицательно сказывается на приросте живой массы. Разработка новых средств дозирования будет способствовать совершенствованию технологии приготовления жидкого ЗЦМ, при повышении надежности и уменьшении энергоемкости процесса.

Целью работы является повышение качества процесса дозирования сухого ЗЦМ, путем совершенствования технических параметров дозатора.

Материалы и методы

Исследуемый дозатор изготовлен из нержавеющей стали и состоит из двух элементов: бункера для сухого ЗЦМ и дозирующего устройства. Дозирующее устройство дискового типа с использованием гравитационного истечения порошка ЗЦМ представлено на рисунке 1. Выгрузная горловина бункера 1 и корпус дозирующего устройства 3 жестко соединены между собой.

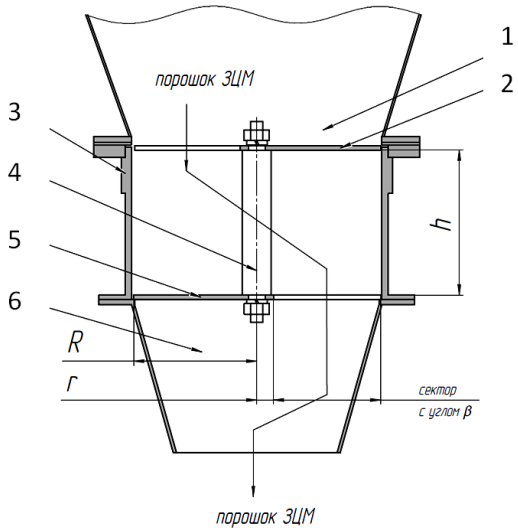

Рис. 1. Схема дозирующего устройства

1 –выгрузная горловина бункера; 2 – верхний диск с сектором 90°; 3 – корпус дозирующего устройства; 4 – ось крепления дисков; 5 – нижний диск с сектором 90°; 6 – выгрузная горловина дозирующего устройсва; h – междисковое расстояние; R –

радиус дисков.

Формирование порции сухого ЗЦМ дозатором состоит из двух периодов: первый (производительность Q_1) - движение порошка через выгрузную горловину и сектор верхнего диска с заполнением междискового пространства; второй (производительность Q_2) – движение порошка через сектор нижнего диска и в выгрузную горловину дозирующего устройства. Условием качественной работы является соотношение $Q_1 > Q_2$.

На производительность и точность дозирования в значительной степени влияет процесс сводообразования над выгрузной горловиной бункера препятствующий нормальной работе дозирующего устройства. Одно из первых условий предотвращения сводообразования – правильный выбор размеров выпускного отверстия бункера. В нашем случае выгрузная горловина бункера и загрузная горловина дозирующего устройства соединены между собой, при этом их диаметры одинаковы. Следующее условие препятствующее сводообразованию, это наличие ворошителя, который стабилизирует процесс истечения сухого ЗЦМ [10]. На рисунке 2 представлены два типа ворошителей применяемых при исследовании дозатора. Один ворошитель (рис. 2. поз. 1) представляет из себя пластину закрепленную и повернутую на плоскости верхнего диска на 45 градусов. Второй ворошитель (рис. 2. поз. 2) представлен двумя пластинами-ножами. Угол расположения ворошителей α относительно сектора верхнего диска, по движению часовой стрелки, равен 90 градусов.

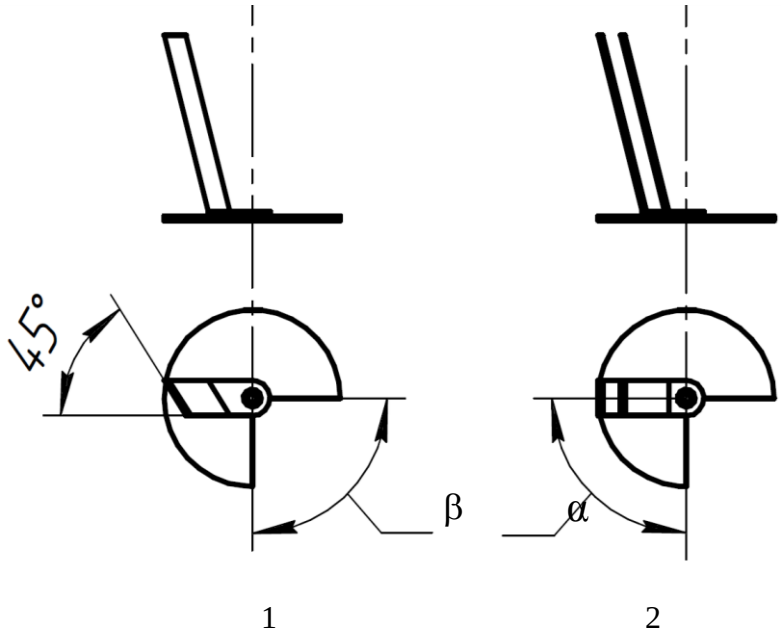

Рис. 2. Схемы ворошителей

Дозирующее устройство имеет: междисковое расстояние h=68 мм, угол сектора диска β=90º, угол расположения ворошителя α=90º, частота вращения дисков n=2 об/с.

В процессе исследования: определялись физико-механические свойства сухого ЗЦМ (плотность и влажность); проводились эксперименты, где в качестве фактора выступало время дозирования порции сухого ЗЦМ, равное - 6, 10, 15 и 20 секундам. Качество работы дозатора оценивалось по следующим признакам: отсутствие

сводообразования в процессе работы; отсутствие вращения сухого ЗЦМ при вращении дисков в номинальном режиме; отсутствие свободного истечения сухого ЗЦМ при неподвижных дисках; объем порции и стабильность истечения сухого ЗЦМ из выгрузной горловины дозирующего устройства.

В процессе исследования определены: масса отдозированного материала *M, кг*; сила тока *I*, А; напряжение *U*, В; cos φ электродвигателя.

Обработка результатов эксперимента проведена с использованием пакета MS Excel 2010, рассчитаны такие показатели как погрешность дозирования δ, %, производительность *Q*, кг/с и затраты мощности на процесс дозирования *N*, Вт.

Результаты и обсуждение

В соответствии с программой и методикой экспериментальных исследований определены физико-механические свойства дозируемого сухого ЗЦМ: среднее значение плотности - 454 кг/м^3, влажности – 12,3%.

По результатам обработки полученных данных, при испытаниях дозатора с ворошителем 1, производительность составила равна *Q = 70 г/с,* средняя мощность на привод *N=288 Вт.*

Работа дозирующего устройства представлена тремя режимами. Первый – режим пуска, угловая скорость дисков от нулевой возрастает до номинальной, имеется угловое ускорение. Второй - номинальный режим, угловая скорость номинальная (постоянная), угловое ускорение отсутствует. Третий режим - остановки, угловая скорость снижается до нулевой, имеется угловое ускорение. На рисунке 3 видно влияние режима пуска на погрешность, при использовании ворошителя 1, а так же выход на номинальный режим. Средняя погрешность на процесс дозирования уменьшалась, в зависимости от времени дозирования, до значения 3,9 %.

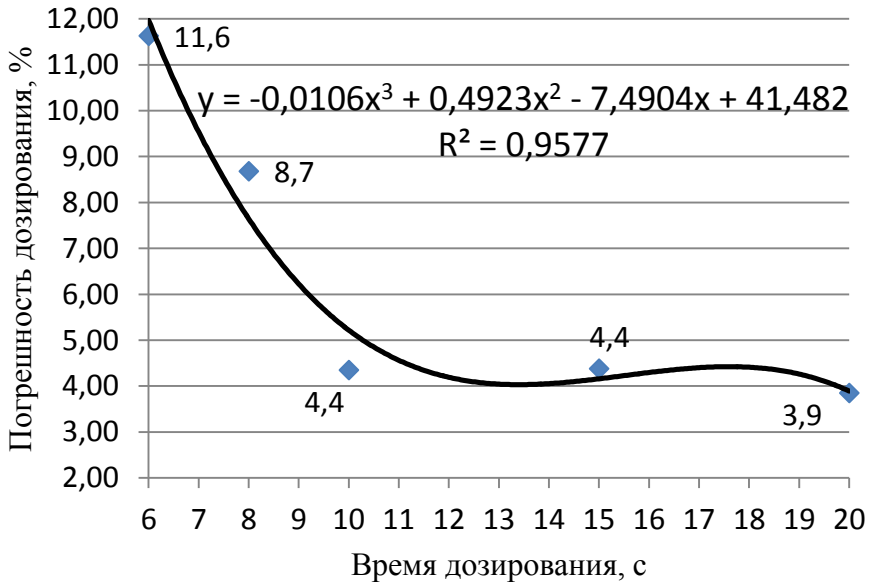

Рис. 3. График зависимости погрешности дозирования от времени работы дозатора с ворошителем 1

На рисунке 4 представлен график зависимости времени работы дозатора при дозировании сухого ЗЦМ от необходимого объема приготовленного жидкого ЗЦМ. Максимальное время работы дозатора, при приготовлении смеси 80 литров жидкого ЗЦМ в соотношении 1:8 составляет 127 секунд, минимальное при приготовлении смеси 40 литров в соотношении 1:10 равно 51-ой секунде.

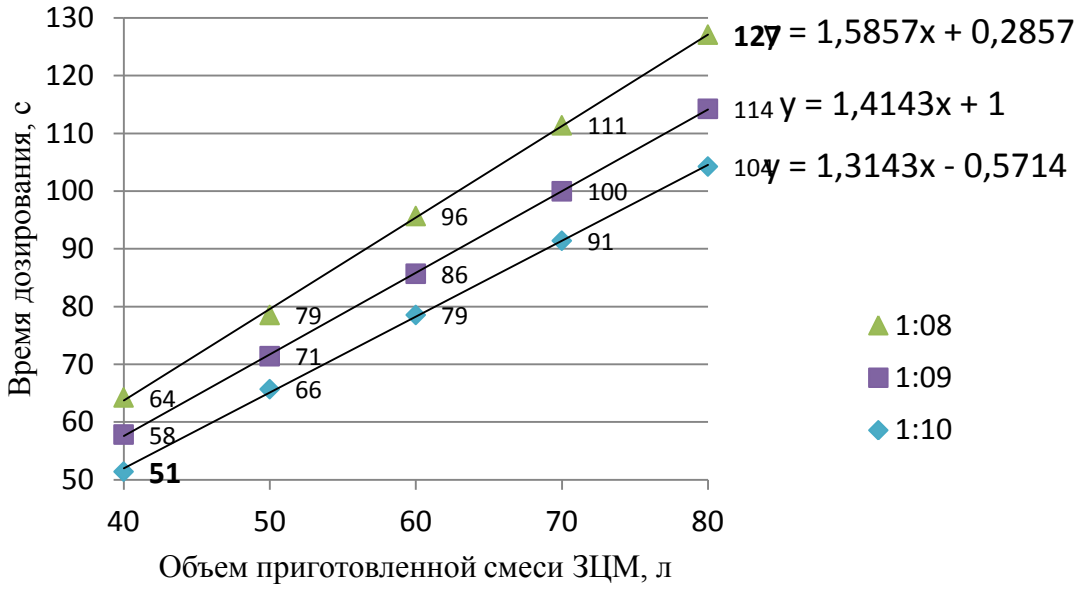

Рис. 4. График зависимости времени работы дозатора с ворошителем 1 от необходимого объема приготовленного жидкого ЗЦМ

Результаты при испытаниях дозатора с ворошителем 2 показаны на рисунках 5 и 6. Средняя погрешность на процесс дозирования не превышала 3%, производительность составила *Q = 90 г/с* при средней мощности на привод *N=226 Вт.*

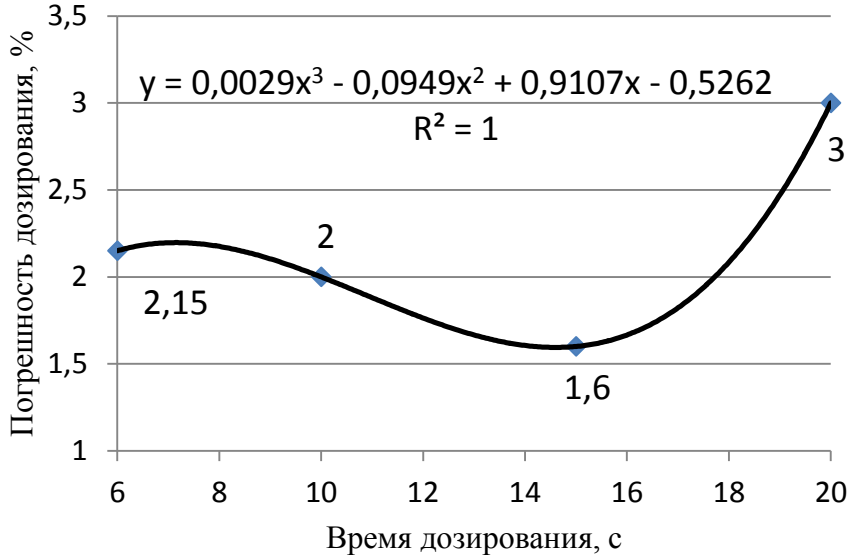

Рис. 5. График зависимости погрешности дозирования от времени работы дозатора с ворошителем 2

Максимальное время работы дозатора с ворошителем 2, при приготовлении смеси 80 литров жидкого ЗЦМ в соотношении 1:8 составляет 98 секунд, минимальное при приготовлении смеси 40 литров в соотношении 1:10 равно 40 секундам.

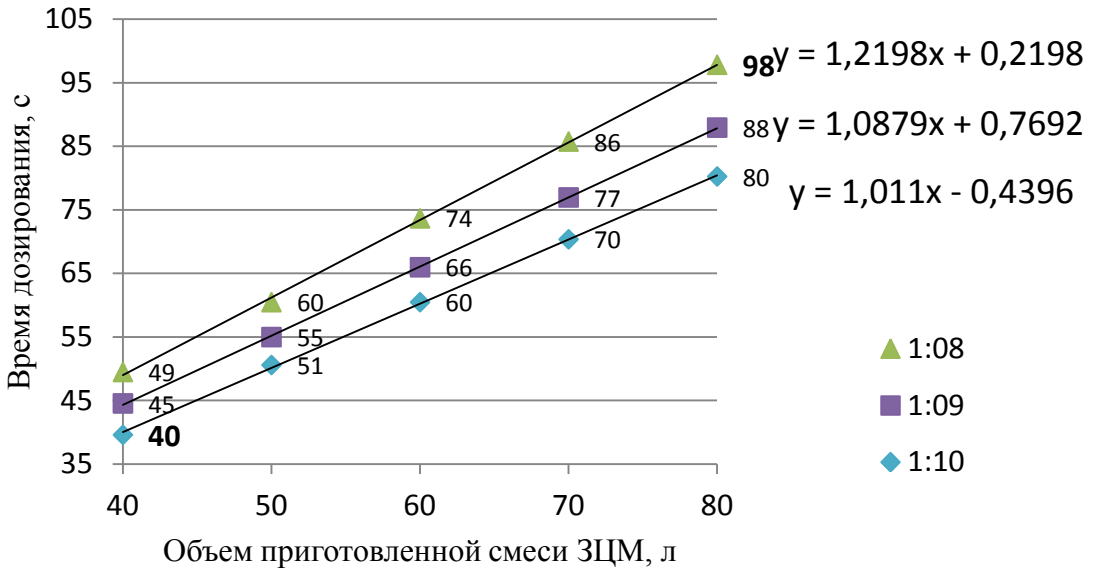

Рис. 6. График зависимости времени работы дозатора с ворошителем 2 от необходимого объема приготовленного жидкого ЗЦМ

На графиках рисунки 4, 6 представлены линейные уравнения для настройки работы дозатора на заданный состав готовой смеси (1:8, 1:9, 1:10).

В результате исследования установлено, что сводоразрушение происходит при использовании обоих типов ворошителей, свободное истечение сухого ЗЦМ при неподвижных дисках не наблюдается. Вращение сухого ЗЦМ при вращении дисков, в номинальном режиме, не происходит. Производительность в 90 г/с наиболее приемлема при приготовлении смеси жидкого ЗЦМ.

Выводы

Условием качественной работы дискового дозатора является наличие ворошителя -отвечающего за стабильное истечение сухого ЗЦМ. С дисковым дозатором целесообразней использование ворошителя 2. При использовании ворошителя 2 произошел рост производительности с 70 до 90 г/с, при значительном снижении погрешности, по сравнению с применением ворошителя 1. Средняя мощность на привод при использовании ворошителя 2 составила 226 *Вт,* что на 20% меньше средней мощности при использовании ворошителя 1.

Получены уравнения для расчета времени работы дозатора от необходимого объема приготовленного жидкого ЗЦМ, при разном соотношении сухого ЗЦМ в составе готовой смеси, необходимые при разработке программы системы управления дозирующим устройством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радчиков В.Ф. Приловская Е.И. Кот А.Н., Цай В.П. Кормление телят в молочный период // *Приоритетные и инновационные технологии в животноводстве – основа модернизации агропромышленного комплекса России:* сборник научных статей. Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2018. С. 276-282.

2. Редкозубова Л. Кормление телят в молочный период // *Животноводство России*. 2017. №3. С. 61-62.

3. Гвазава Д.Г. Заменители цельного молока в рационах кормления телок // *Владимирский земледелец*. 2010. №3 (53). С. 28-30.

4. Асафов В.А., Танькова Н.Л., Искакова Е.Л. Современные технологии производства высококачественных кормов для кормления молодняка сельскохозяйственных животных // *Эффективное животноводство*. 2019. №8 (156). С. 15-17. DOI: 10.24411/9999-007A-2019-1060

5. Абрамкова Н.В., Мошкина С.В. Эффективность различных схем кормления телят в молочный период // *Вестник аграрной науки*. 2020. №4(85). С. 37-41. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.37

6. Федюк А.В. Опыт использования заменителя цельного молока // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. Т3. №7. С. 287-290.

7. Турейко К.А., Показатели живой массы молодняка молочного периода при использовании заменителей цельного молока // *Научный журнал молодых ученых*. 2021. №2 (23). С. 45-49.

8. Вторый С.В. Алгоритм процесса автоматического приготовления смеси жидкого ЗЦМ молодняку КРС // *Агроинженерия*. 2021. №1(106). С. 118-127. DOI: 10.24411/2713-2641-2021-10284

9. Вторый С.В. Влияние физико-механических свойств сухого ЗЦМ на конструктивные параметры бункера-дозатора // *Агроэкоинженерия.* 2020. №3(104). С. 94-100. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10258

10. Вторый В.Ф., Вторый С.В., Михайлов А.С. Свойства сухого заменителя цельного молока и установка для его дозирования // Труды 8-ймеждународной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (16-17 мая 2012 г.). Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2012. Т 3. С. 143-147.

REFERENCES

1 Radchikov V.F., Prilovskaya E.I., Kot A.N., Tzai V.P. Kormlenie telyat v molochnyi period [Feeding calves during the milk period]. *Prioritetnye i innovatsionnye tekhnologii v zhivotnovodstve – osnova modernizatsii agropromyshlennogo kompleksa Rossii: sbornik*

nauchnykh statei [Priority and innovative technologies in animal husbandry are the basis for modernization of Russian agro-industrial complex: collection of scientific articles]. Stavropol': AGRUS Stavropol State Agrarian Univ., 2018: 276-282. (In Russian)

2. Redkozubova L. Kormlenie telyat v molochnyi period [Calf feeding during the suckling period]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2017. No.3: 61-62 (In Russian)

3. Gvazava D.G. Zameniteli tsel'nogo moloka v ratsionakh kormleniya telok [Whole milk replacers in heifer diets]. *Vladimirskii zemledelets*. 2010. No. 3 (53): 28-30 (In Russian)

4. Asafov V.A., Tan'kova N.L., Iskakova E.L. Sovremennye tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennykh kormov dlya kormleniya molodnyaka sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Modern technologies for the production of high-quality feed for feeding young farm animals]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2019. No. 8 (156): 15-17 (In Russian) DOI: 10.24411/9999-007A-2019-1060

5. Abramkova N.V., Moshkina S.V. Effektivnost' razlichnykh skhem kormleniya telyat v molochnyi period [Effectiveness of different feeding schemes of calves in dairy period]. *Vestnik agrarnoi nauki*. 2020. No. 4(85): 37-41 (In Russian) DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.37

6. Fedyuk A.V. Opyt ispol'zovaniya zamenitelya tsel'nogo moloka [Experience of use of whole milk substitute]. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*. 2014. Vol. 3. No. 7: 287-290 (In Russian)

7. Tureiko K.A., Pokazateli zhivoi massy molodnyaka molochnogo perioda pri ispol'zovanii zamenitelei tsel'nogo moloka [Indicators of live weight of young animals of the suckling period when using whole milk replacers]. *Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh*. 2021. No.2 (23): 45-49 (In Russian)

8. Vtoryi S.V. Algoritm protsessa avtomaticheskogo prigotovleniya smesi zhidkogo ZTsM molodnyaku KRS [Algorithm of automatic preparation of a mixture of liquid whole milk replacer for young cattle]. *Agroinzheneriya*. 2021. No. 1(106): 118-127 (In Russian) DOI: 10.24411/2713-2641-2021-10284

9. Vtoryi S.V. Vliyanie fiziko-mekhanicheskikh svoistv sukhogo ZTsM na konstruktivnye parametry bunkera-dozatora [Effect of physical and mechanical properties of dry whole milk replacer on construction parameters of the dosing hopper]. *Agroekoinzheneriya*. 2020. No. 3(104): 94-100 (In Russian) DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10258

10. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V., Mikhailov A.S. Svoistva sukhogo zamenitelya tsel'nogo moloka i ustanovka dlya ego dozirovaniya [Properties of dry whole milk replacer and installation for its dosing]. Proc. 8th Int. Sci. Tech. Conf. “Energy supply and energy saving in agriculture” (16-17 May 2012). Moscow: GNU VIESKh, 2012. Vol. 3: 143-147 (In Russian)

УДК 631.22 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-146-156

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА В СВИНАРНИКЕ

С. И. Иванов[1]
О. А. Герасимова[1], д.т.н.
С. В. Соловьев[1], .т.н.
В.И. Базыкин[2]

[1] Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, Великие Луки, Россия
[2] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрена актуальность и практическая значимость разработки и использования систем осушения воздуха в животноводческих помещениях. Оптимальный микроклимат в животноводческих помещениях способствует более полной реализации генетического потенциала животных, профилактике эпизоотических заболеваний, повышению естественной резистентности животных, а также увеличению срока службы основных и вспомогательных производственных зданий, сооружений и установленного в них технологического оборудования для механизации технологических процессов. Для проектирования животноводческих предприятий необходимо учитывать научно-обоснованные значения формирующих факторов среды обитания животных, которые обобщены и приведены для каждого вида животных в соответствующей нормативной документации, что обеспечивает оптимальный микроклимат в помещении для содержания животных. На организм животных оказывает значительное влияние как влажность, так и температура воздуха. Высокая и низкая температура усиливают неблагоприятное воздействие на организм животных при повышенной влажности воздуха. В комплексе, повышенная влажность и низкая температура способствуют увеличению конверсии корма на производство единицы продукции, у животных ухудшается аппетит, снижаются привесы и продуктивность. На основании вышеизложенного была разработана автоматизированная система осушения воздуха в свинарнике, позволяющая обеспечить необходимые параметры микроклимата. Представлена принципиальная схема системы осушения воздуха и расположение ее элементов в помещении. Проведены производственные испытания разработанной установки обеспечения микроклимата и получены зависимости производительности и мощности от площади поверхности воздуховода и перепада температур между наружной и внутренней поверхностью стенки воздуховода, позволяющие сделать выводы о эффективности использования системы осушения воздуха в животноводческих помещениях.

Ключевые слова: сельское хозяйство, свиноводство, микроклимат. система осушения воздуха, относительная влажность.

Для цитирования: Иванов С.И., Соловьев С.В., Герасимова О.А., Базыкин В.И. Автоматизированная система осушения воздуха в свинарнике // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С.146-156

AUTOMATED AIR DRYING SYSTEM IN A PIG HOUSE

S. I. Ivanov[1]; O. A. Gerasimova[1], DSc. (Engineering);
S. V. Soloviev[1], Cand. Sc. (Engineering); V.I. Bazykin[2]

[1]Velikiye Luki State Agricultural Academy, Velikiye Luki, Russia
[2]Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) - branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The article considers the relevance and practical significance of developing and use of air dehumidification systems in livestock houses. The optimal microclimate in these facilities contributes to fuller realization of the genetic potential of animals. It prevents the epizootic diseases and improves natural disease resistance of animals. It also provides longer service life of main and auxiliary production houses and structures and the technological equipment installed to mechanise the technological processes. The designing of livestock enterprises should take into account the science-based values of the factors that form the living environment of animals. This would ensure the optimal microclimate in the livestock houses. These values are summarized and presented in the relevant regulatory documents for each animal category. Both humidity and air temperature have a significant effect on animal organisms. The adverse effect of high and low temperatures enhances with the high humidity. In combination, high humidity and low temperature increase the feed conversion per unit produced, the animals' appetite, weight gain and productivity decrease. Based on the foregoing, we designed an automated system for dehumidifying air in a pig house provided the required microclimate parameters. The article presents a schematic diagram of the air drying system and the location of its elements in the premises. The study included the production tests of the system. The study outcomes were the dependences of between the productivity and power and the surface area of the air duct and the temperature difference between the outer and inner surface of the air duct wall. They allowed to draw the conclusion about the efficiency of installing the air dehumidification system in livestock buildings.

Key words: agriculture, pig husbandry, microclimate, air dehumidification system, relative humidity

For citation: Ivanov S.I., Soloviev S.V., Gerasimova O.A., Bazykin V.I. Automated air drying system in a pig house. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 146-156 (In Russian)

Введение

Микроклимат животноводческого помещения – это совокупность параметров окружающей среды животных, в частности, температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, а также примеси загрязняющих газов [1].

Специалистами в области микроклимата установлено, что продуктивность свиней на 50…65% зависит от кормов, на 20% от содержания и на 15…30% микроклиматом помещения [2].

Микроклимат оказывает огромное влияние на организм животных, несоблюдение установленных параметров микроклимата ведет к снижению продуктивных качеств, повышению расхода корма и различным заболеваниям, а также к гибели животных [3, 4].

Вопросами микроклимата в различных животноводческих помещениях занимаются множество ученых как отечественных, так и зарубежных [5, 6, 7]. Главной задачей создания требуемого микроклимата в зоне нахождения животных заключается в нахождении недорогих и эффективных способов поддержания основных параметров микроклимата в автоматическом режиме [8]. На основании вышеизложенного была разработана автоматизированная система осушения воздуха в свинарнике, позволяющая обеспечить необходимые параметры микроклимата в свинарнике.

Материалы и методы

Для поддержания оптимальной относительной влажности в животноводческом помещении в ФГБОУ ВО Великолукской ГСХА на кафедре "Механизации животноводства и применения электрической энергии в сельском хозяйстве" разработана и сконструирована экспериментальная установка, работающая в автоматическом режиме для осушения влажного воздуха в помещении [9].

Апробация автоматизированной системы осушения воздуха проводилась в ЛПХ Псковской области Великолукского района в свинарнике-откормочнике на 100 голов. На рис.1 представлена апробация автоматизированной системы осушения воздуха.

Рис. 1. Фиксация параметров микроклимата при испытании системы осушения воздуха

Установка содержит вентилятор и воздуховод, смонтированные под потолком животноводческого помещения, и соединенные со смесительной камерой, при этом воздуховод имеет круглую форму сечения, поддон дугообразной формы, две жалюзийные заслонки, установленные с возможностью работы в автоматическом режиме от датчиков температуры, установленных в смесительной камере, оборудованной ТЭНом, вентилятором, при этом датчики влажности воздуха расположены в животноводческом помещении. Также в систему осушения воздуха входит заслонка системы осушения воздуха, заслонка установки и калорифер (рис.2) [10].

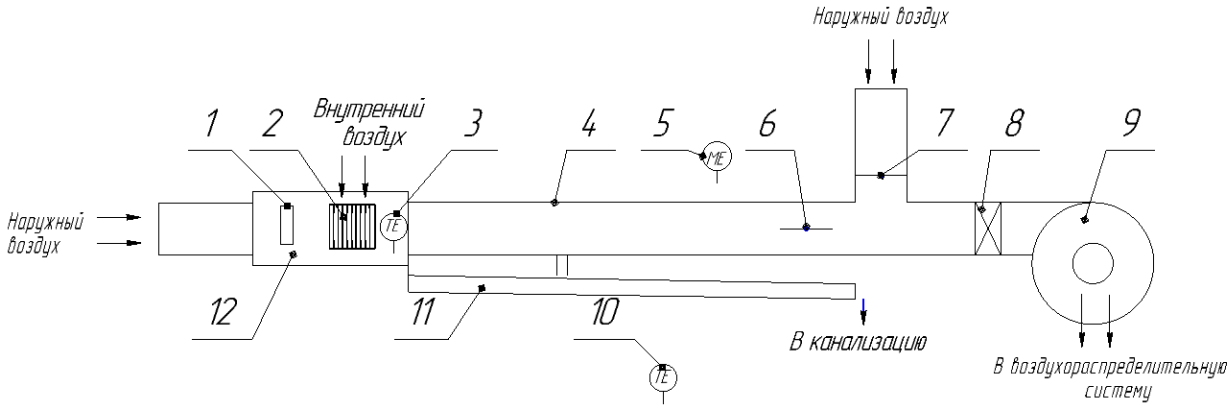

Рис. 2. Принципиальная схема системы осушения воздуха

1 – ТЭН; 2 – жалюзи подачи внутреннего воздуха; 3 – датчик температуры воздуха; 4 – воздуховод; 5 – датчик относительной влажности воздуха в помещении; 6 – заслонка системы осушения воздуха; 7 – заслонка установки; 8 – калорифер; 9 – вентилятор; 10 – датчик температуры воздуха в помещении; 11 – поддон

Благодаря разности температуры смеси воздуха в воздуховоде и температуры в помещении происходит конденсация влаги на наружную поверхность воздуховода.

Алгоритм согласованного управления системой осушения воздуха в зависимости от значений температуры воздуха в воздуховоде и относительной влажности воздуха в помещении, представлен на рис. 3. Он основан на выделении диктующего параметра – относительной влажности воздуха в помещении и подчиненного параметра – температуры воздушной смеси в воздуховоде.

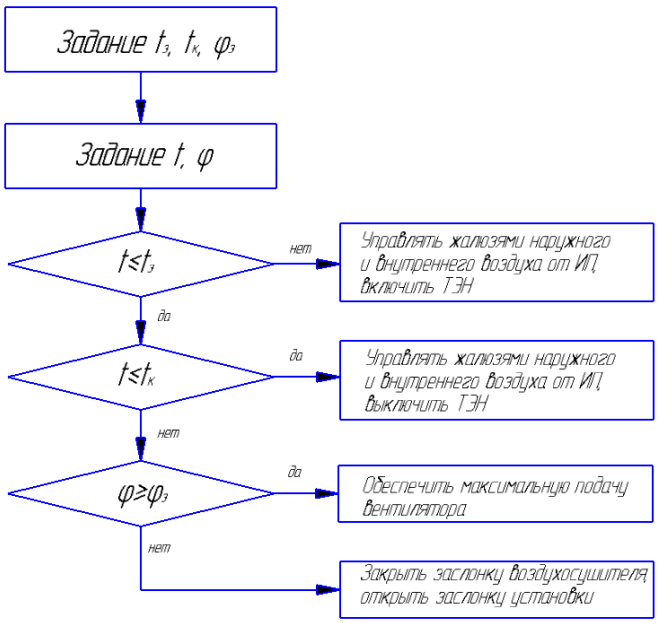

Рис.3. Алгоритм согласованного управления системой осушения воздуха
$t_з$, t, $t_к$, - заданное, текущее и критическое значения температуры; $\varphi_з$, φ – заданное и текущее значения относительной влажности воздуха

Для эффективной работы системы осушения воздуха необходимо поддерживать температуру воздуха в воздуховоде в пределах 1…2 ^{o}C, критической температурой является 0°C, вследствие чего происходит обледенение наружной поверхности воздуховода. Если текущее значение температуры t меньше заданного $t_з$, подается сигнал на исполнительные механизмы заслонок внутреннего и наружного воздуха, если значение температуры воздуха не приходит в норму, включается ТЭН для подогрева наружного воздуха. При текущем значении температуры t меньше критической $t_к$, приводится в движение заслонка подачи воздуха в воздуховод. Если заданное значение относительной влажности воздуха $\varphi_з$ больше текущего φ, увеличивается подача вентилятора, а, следовательно, и скорость движения воздуха, что приводит к меньшему нагреву воздуха в воздуховоде с течением его по длине. При достижении требуемого значения относительной влажности воздуха в помещении $\varphi_з$, контролируемой датчиками влажности, система для осушения воздуха отключается.

Схема расположения элементов разработанной системы осушения при производственной проверке в свинарнике представлена на рис. 4.

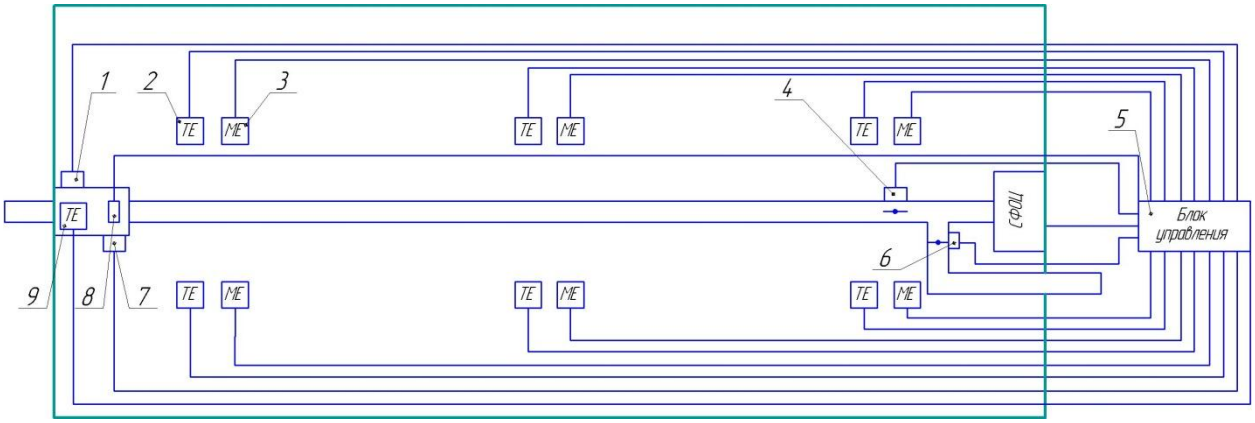

Рис. 4. Схема расположения элементов разработанной системы осушения при производственной проверке в свинарнике

1 – исполнительный механизм подачи наружного воздуха; 2 – датчик температуры; 3 – датчик влажности; 4 – заслонка системы осушения воздуха; 5 – блок управления; 6 – заслонка установки; 7 – исполнительный механизм подачи внутреннего воздуха; 8 – ТЭН; 9 – датчик температуры смеси воздуха

На рис. 5 представлен блок управления системой осушения воздуха. Данные, которые приходят с датчиков системы осушения воздуха, обрабатываются в блоке управления и далее подается сигнал исполнительным механизмам смесительной камеры, так чтобы температура воздуха в воздуховоде находилась в пределах $+1^0$С до 0^0С для предотвращения обледенения поверхности воздуховода.

Рис. 5. Блок управления системы осушения воздуха

В ходе производственных испытаний значения относительной влажности воздуха (рис. 6) в свинарнике – откормочнике на 100 голов находились в пределах 71,1…74,6%.

Рис. 6. Значения относительной влажности воздуха при производственных испытаниях

Результаты и обсуждение

Получены зависимости производительности $G_к$ и мощности P от площади поверхности воздуховода S и перепада температур между наружной и внутренней поверхностью стенки воздуховода Δt, представленные на рис. 7 и рис. 8.

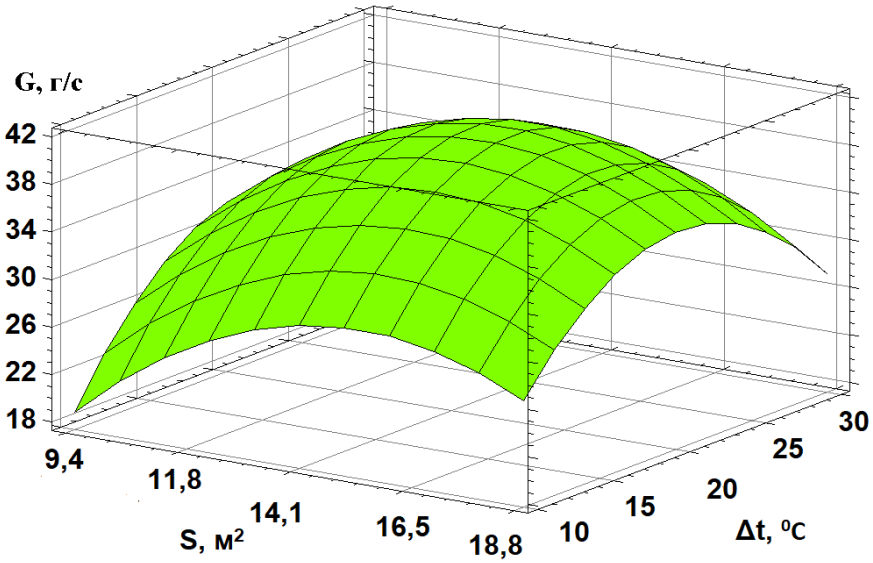

Рис. 7. Зависимость производительности $G_к$ от площади поверхности воздуховода S и перепада температур между наружной и внутренней поверхностью стенки воздуховода Δt

Поверхность отклика производительности $G_к$ (рис. 4.2) имеет явный максимум, который соответствует рациональному значению площади поверхности воздуховода S равной 13,8…14,3 м^2 и перепада температур между наружной и внутренней поверхностью стенки воздуховода Δt 18…22^{0}C. При разности

температур Δt от 10…18 ^{0}С и 22…30 ^{0}С наблюдается снижение производительности системы в пределах 18…34 г/с, что связано с образованием ледяной корки на поверхности воздуховода и, как следствие, снижению теплообмена. Увеличение площади поверхности воздуховода свыше 13,9…14,3 м^2, приводит к снижению производительности, в связи с увеличением длины воздуховода и диаметра, а уменьшение площади ниже 13,9 м^2 недостаточно для эффективного осушения свинарника на 100 голов.

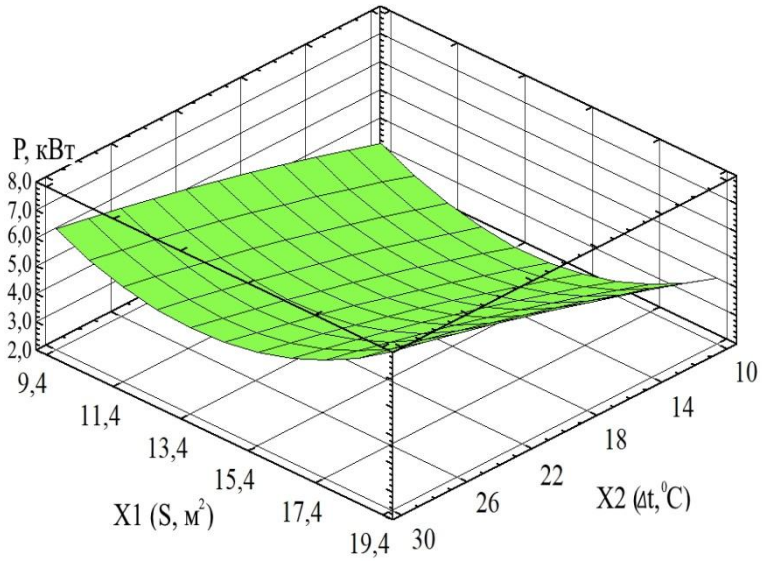

Рис. 8. Зависимость мощности P от площади поверхности воздуховода S и перепада температур между наружной и внутренней поверхностью стенки воздуховода Δt

Поверхность отклика мощности P (рис. 4.6) имеет минимальное значение при площади поверхности S равной 13,4…14,2 м^2. Такая площадь будет рациональной для данной конструкции установки. Так как при площади поверхности воздуховода S меньше 13,4 м^2 затрачиваемая мощность системы осушения воздуха увеличивается в связи с уменьшением диаметра воздуховода. Так же мощность увеличивается при площади поверхности воздуховода S больше 14,2 м^2, так как с увеличением диаметра снизится скорость воздушного потока в воздуховоде, следовательно, производительность системы осушения воздуха снизится. Для рациональной скорости воздушного потока в воздуховоде потребуется увеличить частоту вращения вентилятора, т.е. его мощность.

Выводы

С увеличением разности температур Δt увеличивается энергопотребление установки. Это связано с тем, что при температурах ниже -5^{0}С включается подогрев воздуха в камере смешивания.

Применение разработанной автоматизированной системы осушения воздуха в зимний период позволила увеличить продуктивность свиней на 14,1% за счет обеспечения оптимальных значений относительной влажности в свинарнике при снижении затрат электроэнергии на 15%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ходосовский Д. Н. Микроклимат в свиноводческих зданиях для ремонтных свинок и свиноматок мясного направления продуктивности // *Эффективное животноводство*. 2017. №8(138). С. 26-28.
2. Андреев Л. Н., Юркин В. В., Басуматорова Е. А. Эффективность применения систем частичной рециркуляции воздуха в свиноводческих помещениях // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 5 (85). С. 140-144.
3. Герасимова О. А., Соловьев С. В., Иванов С. И. Автоматизированная система управления микроклиматом в животноводческих помещениях // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. № 3 (35). С. 163-165.
4. Герасимова О. А., Соловьев С. В., Иванов С. И. Система управления микроклиматом в автоматическом режиме в животноводческих помещениях / *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве*. Сб. докладов XIV Международной научно-практической конференции (11-12 апреля 2019 г., Великие Луки). Великие Луки: Великолукская ГСХА. 2019. С. 182-186.
5. Кирсанов В. В., Игнаткин И. Ю. Энергоэффективная автоматизированная система микроклимата // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина"*. 2016. № 6 (76). С. 48-52.
6. Повод М. Г., Лозинська И. В. Сравнительная оценка эффективности авторского и базового проекта свиноводческого предприятия с законченным циклом производства свинины на 6300 ц // *Зоотехническая наука Беларуси*. 2017. Т. 52. № 2. С. 144-154.
7. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Перспективные направления развития технико-технологических решений для свиноводческих хозяйств всех категорий // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. №1(98). С. 168-179.
8. Тихомиров, Д. А., Тихомиров А. В. Совершенствование и модернизация систем и средств энергообеспечения сельхозпредприятий - важнейшее направление снижения энергоемкости сельхозпроизводства // *Вестник ВИЭСХ.* 2018. № 1 (30). С. 3-11.
9. Иванов С. И., Герасимова О. А., Соловьев С. В. Создание оптимального микроклимата в свинарнике с использованием естественного холода // *Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК*. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся (21-24 апреля 2021 г., Санкт-Петербург). СПб: СПбГАУ. 2021. С. 378-382.
10. Иванов С. И. Энергосберегающая установка для создания оптимального микроклимата в свинарнике // В сб.: *Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам.* Вологда: ВГМХА им. Н.В.Верещагина. 2021. Т. 2. С. 47-51.

REFERENCES

1. Khodosovskii D. N. Mikroklimat v svinovodcheskikh zdaniyakh dlya remontnykh svinok i svinomatok myasnogo napravleniya produktivnosti [Microclimate in pig houses for replacement gilts and meat sows]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2017. No. 8(138): 26-28 (In Russian)

2. Andreev L. N., Yurkin V. V., Basumatorova E. A. Effektivnost' primeneniya sistem chastichnoi retsirkulyatsii vozdukha v svinovodcheskikh pomeshcheniyakh [Efficiency of using the systems of partial air recirculation in pig houses]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2020.No 5 (85): 140-144 (In Russian)

3. Gerasimova O. A., Solov'ev S. V., Ivanov S. I. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya mikroklimatom v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Automated system of livestock rooms' microclimate control]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva.* 2019. No. 3 (35): 163-165 (In Russian)

4. Gerasimova O. A., Solov'ev S. V., Ivanov S. I. Sistema upravleniya mikroklimatom v avtomaticheskom rezhime v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Microclimate control system in automatic mode in livestock buildings]. In: *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve* [Scientific and technical progress in agricultural production]. Proc. XIV Int. Sci. Prac. Conf. (11-12 April 2019, Velikiye Luki). Velikyie Luki: Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2019: 182-186 (In Russian)

5. Kirsanov V. V., Ignatkin I. Yu. Energoeffektivnaya avtomatizirovannaya sistema mikroklimata [Power efficient automated microclimate system]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskii gosudarstvennyi agroinzhenernyi universitet imeni V. P. Goryachkina*". 2016. No. (76): 48-52 (In Russian)

6. Povod M. G., Lozynska I. V. Sravnitel'naya otsenka effektivnosti avtorskogo i bazovogo proekta svinovodcheskogo predpriyatiya s zakonchennym tsiklom proizvodstva svininy na 6300 ts [Comparative evaluation of efficiency of the author's and basic design of a pig-breeding enterprise with the finished cycle of pork production for 6300 hundred kg]. Zootekhnicheskaya nauka Belarusi. 2017. Vol. 52. No. 2:144-154 (In Russian)

7. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Perspektivnye napravleniya razvitiya tekhniko-tekhnologicheskikh reshenii dlya svinovodcheskikh khozyaistv vsekh kategorii [Perspective directions of development of technical and technological solutions for pig farms of all categories]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 1(98): 168-179 (In Russian)

8. Tikhomirov, D. A., Tikhomirov A. V. Sovershenstvovanie i modernizatsiya sistem i sredstv energoobespecheniya sel'khozpredpriyatii - vazhneishee napravlenie snizheniya energoemkosti sel'khozproizvodstva [Improvement and modernization of systems and

means of energy supply of agricultural enterprises is a key area for reducing energy intensity of agricultural production]. *Vestnik VIESH*. 2018. No. 1 (30): 3-11 (In Russian)

9. Ivanov S. I., Gerasimova O. A., Solov'ev S. V. Sozdanie optimal'nogo mikroklimata v svinarnike s ispol'zovaniem estestvennogo kholoda [Creating an optimal microclimate in a pigsty using natural cold]. In: *Intellektual'nyi potentsial molodykh uchenykh kak draiver razvitiya APK* [Intellectual potential of young scientists as a driver for the development of the agro-industrial complex]. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. of Young Scientisits and Students (21-24 April 2021, Saint Petersburg). Saint Petersburg: SPbSAU. 2021: 378-382 (In Russian)

10. Ivanov S. I. Energosberegayushchaya ustanovka dlya sozdaniya optimal'nogo mikroklimata v svinarnike [Energy-saving installation for creating the optimal microclimate in the pigsty]. In: *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam* [Contribution of young researchers of the agro-industrial and forestry complexes to the regions]. Vologda: VGMKhA named after N.V.Vereshchagin. 2021. Vol. 2:47-51 (In Russian)

УДК 631.22 DOI 10.24412/2713-2641-2022-2111-156-167

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСХОДА КОРМОВ И ПРИРОСТА ЖИВОЙ МАССЫ МОЛОДНЯКА КРОЛИКОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МОДУЛЕ

А.В. Трифанов, канд. техн. наук
В.И. Базыкин
И.Е. Плаксин, канд. техн. наук
А.М. Соколов

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

К 2020 году объём рынка мяса кролика в Российской Федерации вырос до 20 тыс. тонн. В структуре совокупного производства хозяйства населения с большой долей использования ручного труда занимают более 88%. Неудовлетворенный спрос на мясо кролика в России составляет более 300 тыс. т в год, что равноценно примерно 2-2,5 кг в расчете на одного жителя страны. Текущий же уровень потребления мяса кроликов составляет 0,009 кг на человека в год, тогда как в европейских странах эта цифра доходит до 2 кг на человека в год. Разработка технологических модулей для содержания и выращивания кроликов на сегодняшний день является перспективным направлением в кролиководстве ввиду недостатка технико-технологических и планировочных решений для мелкотоварного производства мяса кролика. Полученные в исследовании математические модели позволяют определить количество корма и прирост живой массы молодняка в зависимости от времени содержания кроликов в

технологическом модуле с регулируемым микроклиматом. Учитывая, что на закупку кормов приходится более 70 % от общих производственных затрат, точное определение обозначенных параметров играет важную роль в получении хозяйством конечной прибыли от реализации готовой продукции. Математические модели позволяют своевременно выявить отклонение в потреблении кормов и прироста живой массы молодняка в любой момент цикла выращивания кроликов и своевременно принять меры по устранению обнаруженных несоответствий, что способствует предотвращению перерасхода производственных ресурсов и позволяет увеличить рентабельность производства кролиководческого предприятия.

Ключевые слова: кролиководство, животноводческая ферма, математическая модель, модуль, технология, сельское хозяйство

Для цитирования: Трифанов А.В., Базыкин В.И., Плаксин И.Е., Соколов А.М. Математические модели расхода кормов и прироста живой массы молодняка кроликов при выращивании в технологическом модуле // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2(111). С. 156-167

MATHEMATICAL MODELS OF FEED CONSUMPTION AND LIVE WEIGHT GAIN OF YOUNG RABBITS GROWT IN A TECHNOLOGICAL MODULE

A.V. Trifanov, Cand. Sc. (Engineering); I.E. Plaksin, Cand. Sc. (Engineering);
V.I. Bazykin; A.M. Sokolov

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

By 2020, the volume of the rabbit meat market in the Russian Federation has grown to 20 thousand tons. In the total production structure, the population households with a large share of manual labour occupy above 88%. The unsatisfied demand for rabbit meat in Russia exceeds 300 thousand tons per year that is equal to about 2 to 2.5 kg per a country’s resident. The current level of rabbit meat consumption in this country is 0,009 kg per person per year, whereas in the European countries it reaches 2 kg per person per year. Development of technological modules for rabbit housing and growing is currently a promising direction due to the lack of technical, technological and planning solutions for the small-scale production of rabbit meat. The mathematical models obtained allow determining the amount of feed and the live weight gain of young animals depending on their housing period in a technological module with the controlled microclimate. Accurate estimation of these indicators is very important for the farm to earn the final profit from the sale of the end products since the feed purchases account for above 70% of the total production costs. The created mathematical models allow giving early warning of deviations in feed consumption and the live weight gain of young animals at any point in the rabbit breeding cycle and taking timely measures to rectify the identified non-compliance. This would help to prevent overspending of production resources and to increase the profitability of the rabbit breeding farm.

Keywords: rabbit husbandry, livestock farm, mathematical model, module, technology, agriculture.

For citation: Trifanov A.V., Bazykin V.I., Plaksin I.E., Sokolov A.M. Mathematical

models of feed consumption and live weight gain of young rabbits grown in a technological module. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 156-167 (In Russian)

Введение

Ёмкость российского рынка мяса кролика в 2020 году составила 20 тыс. тонн. Разведением кроликов в стране традиционно занимаются хозяйства населения, на долю которых приходится 88% производства [1, 2]. Неудовлетворенный спрос на мясо кролика в России составляет более 300 тыс. т в год, что равноценно примерно 2-2,5 кг в расчете на одного жителя страны. Текущий же уровень потребления мяса кроликов составляет 90г на человека, тогда как в европейских странах эта цифра доходит до 2 кг в год.

При применении интенсивной технологии выращивания кроликов на эффективность производства влияют определенные факторы: кормление – 65-70%, порода и методы работы с ней – 20-25%, условия содержания – 10-15% [3, 4, 5, 10].

Имеющиеся проекты, предназначенные для мелкотоварных кролиководческих предприятий, обладают рядом недостатков, не позволяющих производить конкурентоспособную продукцию, основными из которых являются: низкий уровень механизации, отсутствие современный наукоемких технических средств для производства продукции, а также высокий процент заболеваемости и падежа кроликов.

Разработка технологических модулей для содержания и выращивания кроликов на сегодняшний день является перспективным направлением ввиду недостатка технико-технологических и планировочных решений для мелкотоварного производства продукции кролиководства.

Исходя из этого в ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан проект технологического модуля для содержания и выращивания кроликов [6, 7].

Согласно «Нормам технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм. НТП-АПК 1.10.06.001-00» и методических рекомендаций по технологическому проектированию звероводческих и кролиководческих ферм крестьянских (фермерских) хозяйств РД-АПК 1.10.06.02-13 ранее были определены основные технологические показатели расчетным методом [8, 9].

Целью исследования является определение расхода кормов и прироста живой массы молодняка кроликов при выращивании в технологическом модуле.

Материалы и методы

Объект исследований – репродукторная секция технологического модуля содержания кроликов.

Технологический модуль для разведения и откорма кроликов выполнен в виде блок-контейнера габаритными размерами 6×2,4×2,5 м (рис. 1), разделён на две части (секции). В первой части расположены клетки для кроликоматок 5 и новорожденных кроликов, каждый из отсеков данной клетки оборудован бункерными кормушками 8 и ниппельными поилками 9, для притока свежего воздуха предусмотрены приточные вентиляционные окна 2. Удаление отработанного воздуха осуществляется за счет вытяжных вентиляторов 1. Во второй части модуля расположены клетки для откормочного молодняка 6, каждый из отсеков которой также оборудован бункерными кормушками и ниппельными поилками. Приток свежего и вытяжка отработанного

воздуха осуществляется аналогично первой части модуля за счет приточных окон и вытяжных вентиляторов. Для обогрева в обоих частях технологического модуля установлены тепловентиляторы 7 с термостатом, автоматически поддерживающим заданную температуру.

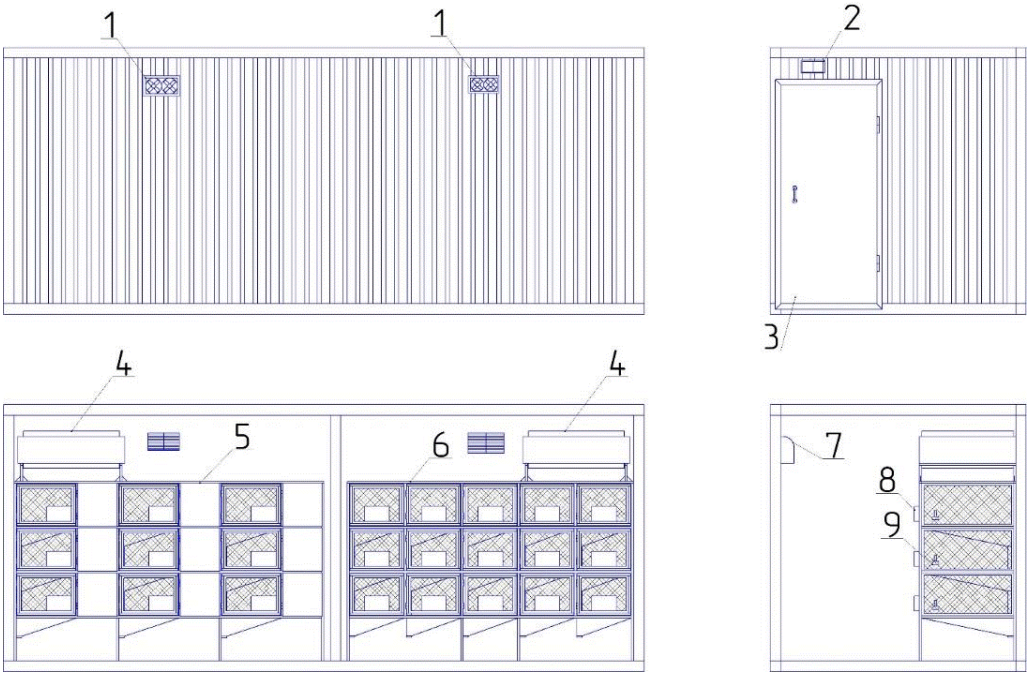

Рис. 1. Технологический модуль для разведения и откорма кроликов:
1-вытяжные вентиляторы; 2-приточные окна; 3-дверь; 4-водонакопительные баки; 5-клетка для кроликоматок; 6- клетка для откормочного молодняка; 7-тепловентилятор; 8-бункерные кормушки; 9-ниппельные поилки

Исследования проводились в соответствии с утвержденными программой и методикой выполнения экспериментальной научно-исследовательской работы «Опытно-производственная проверка работы технологического модуля для содержания кроликов».

Факторы, подлежащие исследованию: расход кормов, прирост живой массы молодняка.

Расход кормов определялся взвешиванием выдаваемой порции на лабораторных весах CAS SW-1. Остатки корма за предыдущие сутки не взвешивались. Корм засыпался в индивидуальные бункерные кормушки ежедневно до полного заполнения кормушки.

Прирост живой массы определялся еженедельным взвешиванием молодняка на лабораторных весах CAS SW-1. Все показания заносились в журнал наблюдений.

Результаты исследований обрабатывались с использованием программных средств: MC Excel и MC Word.

Результаты и обсуждение

Репродукторная секция технологического модуля для разведения и откорма кроликов работает следующим образом. В 8 клетках секции, совмещенных с ящиками-гнездами, размещены самки, а в 9 клетке – самец. По достижении самок веса в 5 кг

осуществляется двухкратное последовательное их оплодотворение. Через 28 - 32 дня после оплодотворения происходит окрол. Далее в течение месяца самки содержатся вместе с молодняком. Когда молодняк достигает возраста 28 дней, осуществляется следующее оплодотворение самки. В 42-45 дней происходит отъем молодняка и перевод его в откормочную секцию.

В соответствии с производственным календарем размещение самок и молодняка в репродукторной секции в марте приведено в таблице 1.

Таблица 1

Размещение самок с молодняком в марте

№ клетки	1 клетка	3 клетка	5 клетка	7 клетка
Поголовье	Самка + 6 крольчат возрастом 12-43 дня	Самка + 3 крольчат возрастом 6-37 дня	Самка + 6 крольчат возрастом 0-31 дня	Самка + 6 крольчат возрастом 8-39 дня
№ клетки	2 клетка	4 клетка	6 клетка	8 клетка
Поголовье	Самка + 6 крольчат возрастом 11-42 дня	Самка	Самка + 9 крольчат возрастом 10-41 дня	Самка

В секции находились 6 лактирующих самок с приплодом (от 3 до 9 крольчат) и 2 сукрольные самки.

Потребление комбикормов самками и молодняком в репродукторной секции в марте представлено на рис. 2. Среднее ежедневное потребление кормов составило 4,002 кг, при общем потреблении в 124,04 кг в месяц.

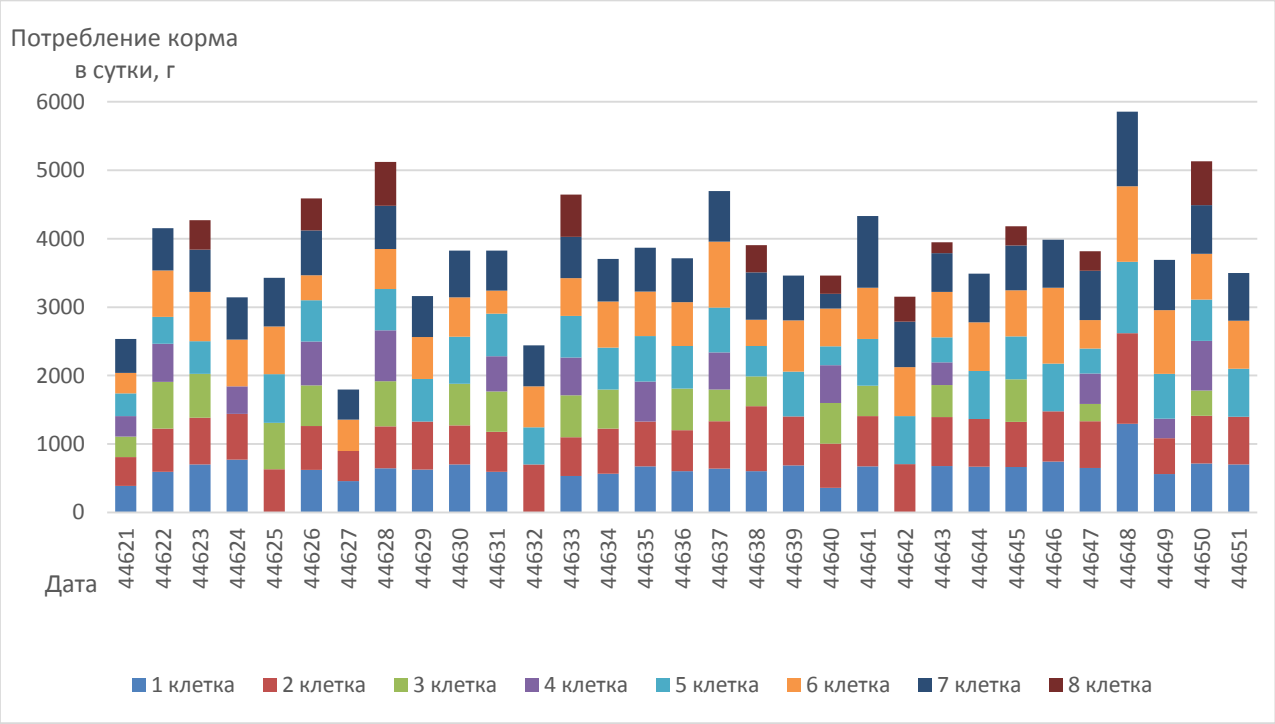

Рис. 2. Потребление кормов в репродукторной секции в марте 2022 года

При этом потребление самками и молодняком корма происходило с разной интенсивностью. На рис. 3 представлены зависимости потребления кормов самками нарастающим итогом в течение марта.

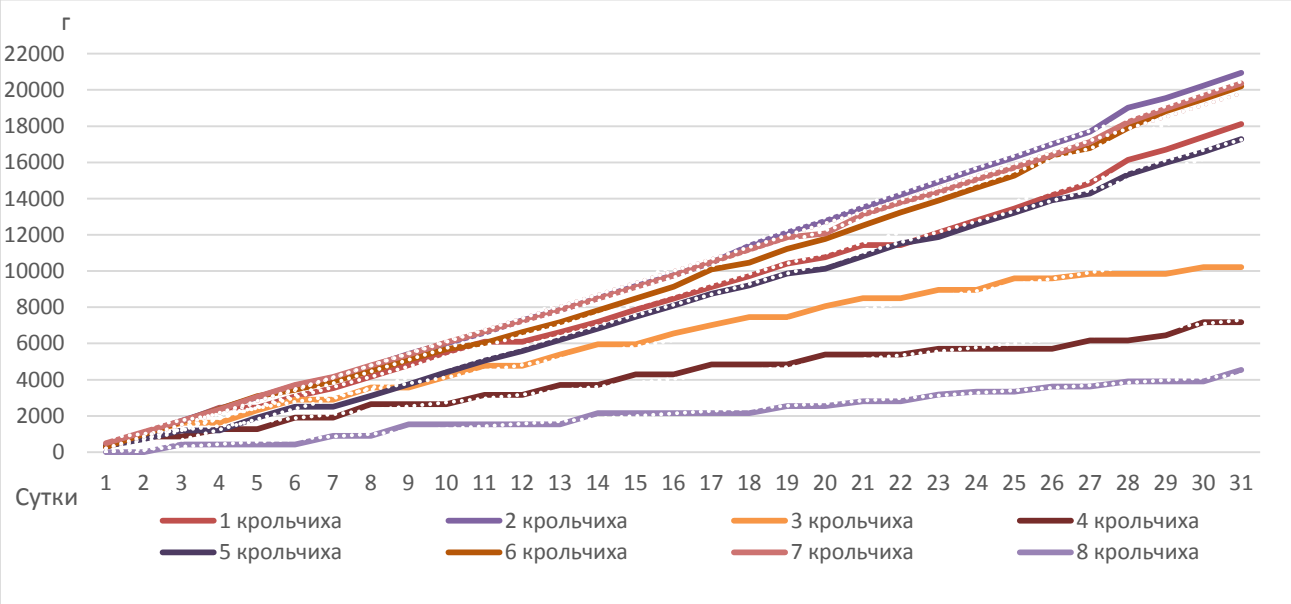

Рис. 3. Потребление кормов самками в репродукторной секции в марте 2022 года

Потребление корма сукрольными самками составило 141,58 и 216,88 граммов в сутки и описывается уравнениями:

$$y = 216{,}88x,\ R^2 = 0{,}9765$$

$$y = 141{,}58x,\ R^2 = 0{,}9835$$

Согласно нормам технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм НТП-АПК 1.10.06.001-00 потребление сукрольными самками составляет 220 граммов в сутки. В нашем случае получилось потребление в марте от 65 до 98% от норматива.

Потребление корма лактирующей самкой с 3 крольчатами составило 339,58 грамма в сутки и описывается уравнением:

$$y = 339{,}58x,\ R^2 = 0{,}98$$

Потребление корма лактирующими самками с 6 крольчатами составило от 568,76 до 681,71 грамма и описывается уравнениями:

$$y = 681{,}71x,\ R^2 = 0{,}9975$$

$$y = 648{,}73x,\ R^2 = 0{,}9944$$

$$y = 574{,}27x,\ R^2 = 0{,}9962$$

$$y = 568{,}76x,\ R^2 = 0{,}9944$$

Потребление корма лактирующей самкой с 9 крольчатами составило 653,13 грамма в сутки и описывается уравнением:

$$y = 653{,}13x,\ R^2 = 0{,}998$$

Согласно нормам технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм НТП-АПК 1.10.06.001-00 потребление лактирующими самками составляет от 330 до 700 граммов в сутки. В нашем случае все самки в этом диапазоне.

В соответствии с производственным календарем размещение самок и молодняка в репродукторной секции в апреле приведено в таблице 2.

Таблица 2

Размещение самок с молодняком в апреле

№ клетки	1 клетка	3 клетка	5 клетка	7 клетка
Поголовье	Самка	Самка + 15 дней 3 крольчат возрастом 38-53 дня	Самка + 15 дней 6 крольчат возрастом 32-47 дня	Самка
№ клетки	2 клетка	4 клетка	6 клетка	8 клетка
Поголовье	Самка	Самка + 9 крольчат возрастом 0-30 день	Самка	Самка+ 6 крольчат возрастом 0-30 день

В секции находились 4 лактирующих самок с приплодом (от 3 до 9 крольчат) и 4 сукрольные самки.

Потребление комбикормов самками и молодняком в репродукторной секции в апреле представлено на рис. 4. Среднее ежедневное потребление кормов составило 3,213 кг, при общем потреблении в 96,39 кг в месяц.

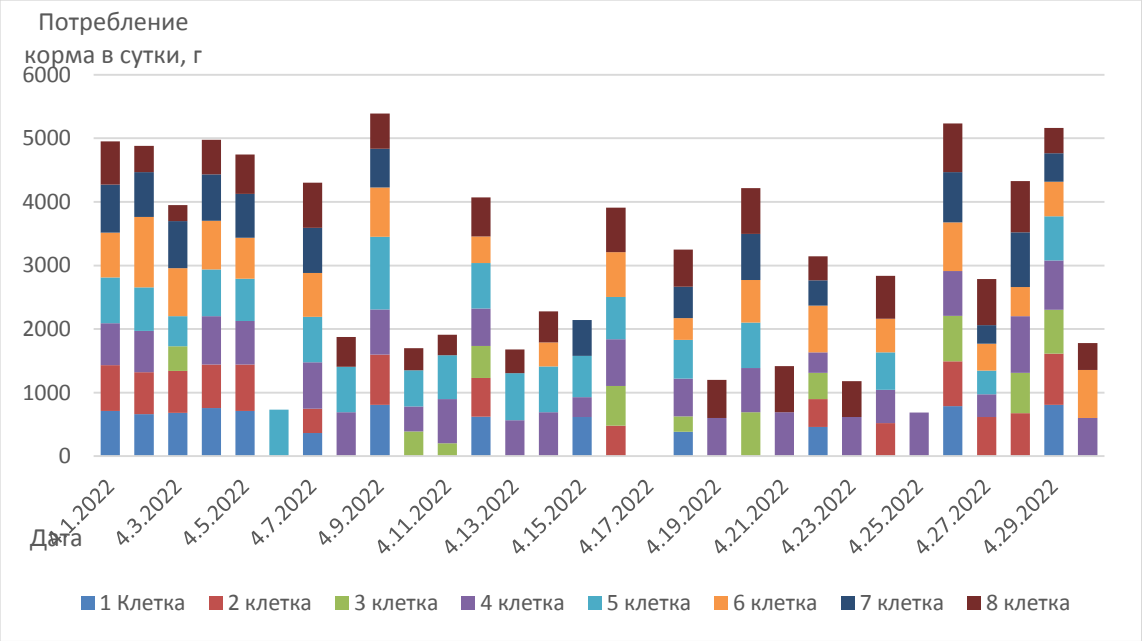

Рис. 4. Потребление кормов в репродукторной секции в апреле 2022 года

При этом потребление самками и молодняком корма также происходило с разной интенсивностью. На рис. 5 представлены зависимости потребления кормов самками нарастающим итогом в течение апреля.

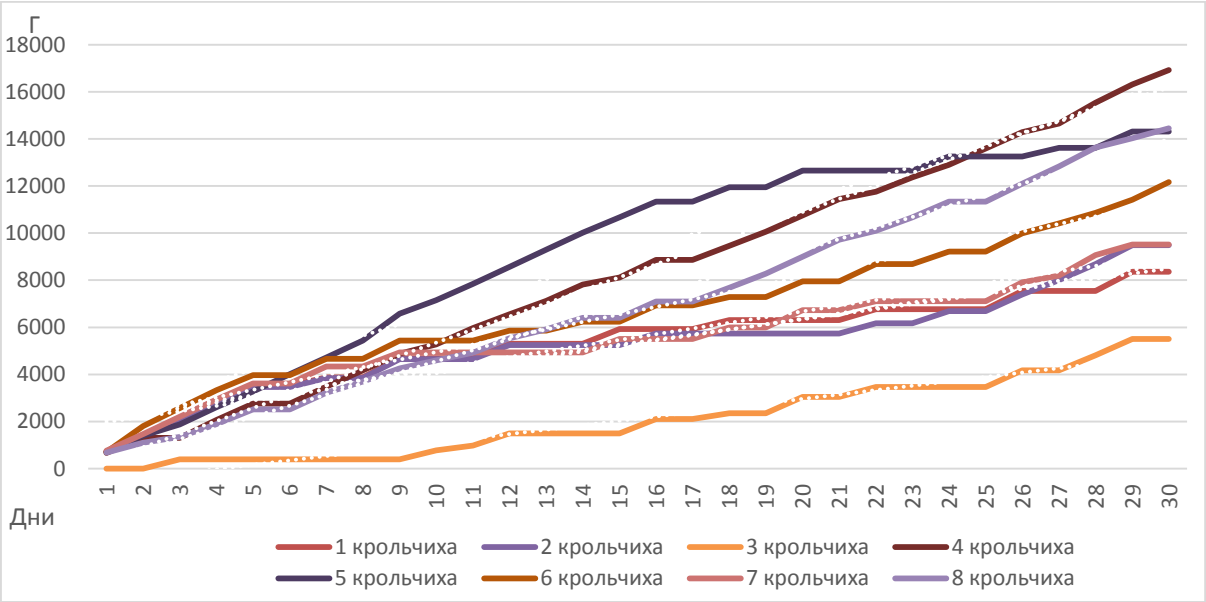

Рис. 5. Потребление кормов самками в репродукторной секции в апреле 2022 года

Потребление корма сукрольными самками составило от 215,51 до 319,93 граммов в сутки и описывается уравнениями:

$$y = 319{,}93x,\ R^2 = 0{,}9723$$

$$y = 242{,}02x,\ R^2 = 0{,}9425$$

$$y = 230{,}76x,\ R^2 = 0{,}916$$

$$y = 215{,}51x,\ R^2 = 0{,}9297$$

Согласно нормам технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм НТП-АПК 1.10.06.001-00 потребление сукрольными самками составляет 220 граммов в сутки. В нашем случае получилось потребление в апреле от 97 до 145 % от норматива.

Потребление корма лактирующей самкой с 3 крольчатами составило 186,51 грамма в сутки и описывается уравнением:

$y = 186{,}51x,\ R^2 = 0{,}9505$

Потребление корма лактирующими самками с 6 крольчатами составило 471,54 и 478,77 грамма и описывается уравнениями:

$$y = 478{,}77x,\ R^2 = 0{,}9289$$

$$y = 471{,}54x,\ R^2 = 0{,}9937$$

Потребление корма лактирующей самкой с 9 крольчатами составило 554,67 грамма в сутки и описывается уравнением:

$$y = 554{,}67x,\ R^2 = 0{,}9977$$

Согласно нормам технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм НТП-АПК 1.10.06.001-00 потребление лактирующими самками составляет от 330 до 700 граммов в сутки. В нашем случае все самки в этом диапазоне, кроме самки с 3 крольчатами.

На рис. 6 представлены графики прироста живой массы молодняка. Для построения графиков взвешивался весь молодняк в гнезде и делился на количество голов, получали средний вес 1 крольчонка в гнезде.

Согласно произведенным замерам, средний вес крольчонка у разных самок в возрасте 45 дней составил от 1100 до 1485 граммов.

Прирост живой массы молодняка запишем в виде полиномиальной регрессии 2 степени:

$$y = 0{,}5475x^2 + 5{,}9104x + 61{,}202,\ R^2 = 0{,}9932$$

$$y = 0{,}4061x^2 + 11{,}905x + 58{,}758,\ R^2 = 0{,}9964$$

$$y = 0{,}2854x2 + 10{,}045x + 75{,}156,\ R^2 = 0{,}9928$$

$$y = 0{,}3398x2 + 11{,}524x + 64{,}439,\ R^2 = 0{,}994$$

$$y = 0{,}2135x2 + 13{,}868x + 38{,}071,\ R^2 = 0{,}9996$$

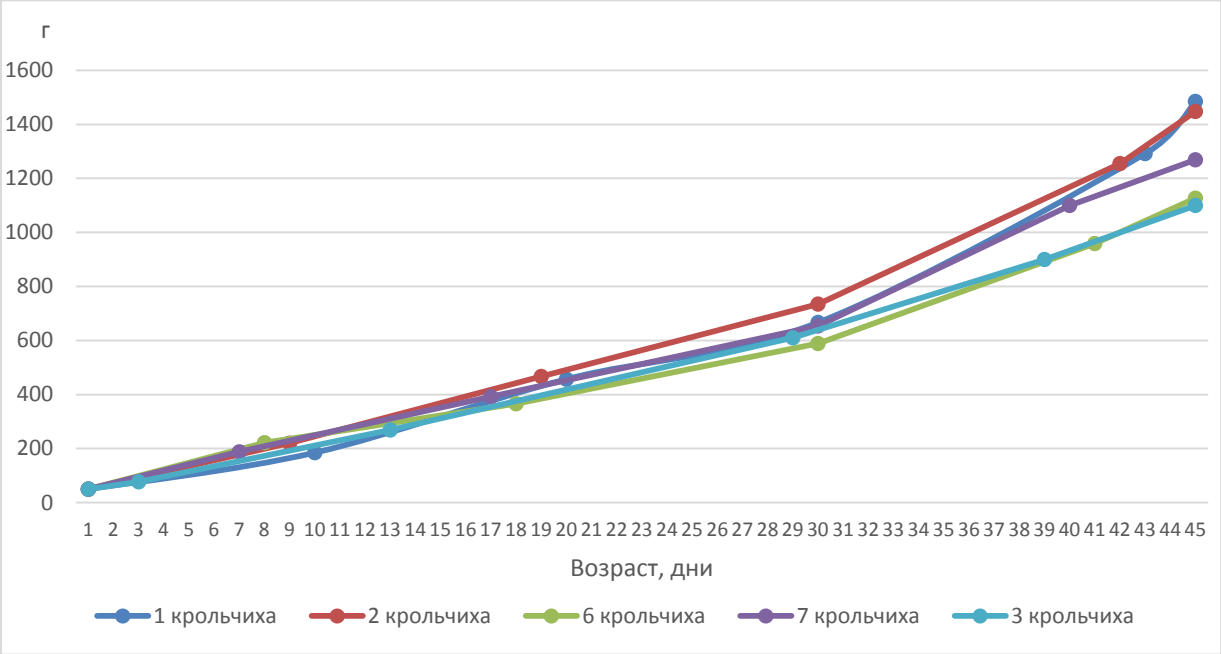

Рис. 6. Графики прироста живой массы молодняка

Выводы

Полученные математические модели позволяют определить расход корма и прирост живой массы молодняка в зависимости от времени содержания кроликов в технологическом модуле. Основное влияние на расход кормов оказывают биологические периоды самок, возраст молодняка и его количество. Потребление кормов сукрольными самками составил от 141,58 до 319 г в сутки, лактирующими самками от 186,51 до 681,71 г в сутки. Средний вес молодняка у разных самок в возрасте 45 дней составил от 1100 до 1485 граммов.

Учитывая, что на закупку кормов приходится 65-70 % от общих производственных затрат, точное определение обозначенных параметров играет важную роль в получении хозяйством конечной прибыли от реализации готовой продукции. Разработанные математические модели позволяют своевременно выявить отклонение в потреблении кормов и прироста живой массы молодняка в любой момент цикла выращивания кроликов и своевременно принять меры по устранению обнаруженных несоответствий, что способствует предотвращению перерасхода производственных ресурсов и позволяет увеличить рентабельность производства кролиководческого предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комлацкий В. И., Логинов С. В., Комлацкий Г. В., Игнатенко Я. А. *Эффективное кролиководство: Учебное пособие*. Ростов-на-Дону: ООО «Феникс», 2013. 224 с.

2. Шаклеин К. И., Шаклеина М. В. Стратегические приоритеты развития отрасли кролиководства в России до 2030 г. // *Экономические стратегии*. 2017. Т. 19. № 5(147). С. 226-240.
3. Велькина Л. В. Мировые и отечественные тенденции развития мясного кролиководства / *Доклады ТСХА*, Москва, 02–04 декабря 2020 г. Москва: РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. Вып. 293, часть II. С. 26-29.
4. Чутчева Ю. В., Велькина Л. В. Оценка рыночного потенциала кролиководческой продукции / *Доклады ТСХА*, Москва, 03–05 декабря 2019 г. Москва: РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. Вып. 292, часть III. С. 120-123.
5. Зверева Г. Н., Гребнева Д. А. Органическое кролиководство как перспективный вид деятельности на рынке аграрной продукции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 188-200. – DOI 10.32786/2071-9485-2021-04-20.
6. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Модульные технологии содержания и выращивания сельскохозяйственных животных и птиц на мелкотоварных предприятиях. СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 136 с.
7. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Модульная кроликоферма. Патент РФ на изобретение № 2747698, заявл. 28.09.2020, опубл. 12.05.2021.
8. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Определение необходимого воздухообмена каждой секции технологического модуля для содержания и выращивания кроликов // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2020. № 4(33). С. 78-84. DOI 10.35523/2307-5872-2020-33-4-78-84.
9. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Обоснование технико-экономических показателей технологического модуля для разведения и откорма кроликов // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 2(99). С. 317-326. DOI 10.24411/0131-5226-2019-10178.
10. Закиров В. В., Лопаева Л. Н. Влияние микроклимата на содержание кроликов // *Молодежь и наука.* 2021. № 3. Порядковый номер 35.

REFERENCES

1. Komlatskii V. I., Loginov S. V., Komlatskii G. V., Ignatenko Ya. A. Effektivnoe krolikovodstvo: Uchebnoe posobie [Effective rabbit breeding: Textbook]. Rostov-on-Don: Fenix Publ., 2013. 224 p. (In Russian)
2. Shaklein K. I., Shakleina M. V. Strategicheskie prioritety razvitiya otrasli krolikovodstva v Rossii do 2030 g. [Strategic priorities for developing the rabbit breeding industry in Russia until 2030]. Ekonomicheskie strategii. 2017. Vol. 19. No. 5(147): 226-240 (In Russian)
3. Velkina L. V. Mirovye i otechestvennye tendentsii razvitiya myasnogo krolikovodstva [World and national trends in the development of meat rabbit breeding]. In: *Doklady TSKhA* [Reports of the TSKhA]. Moscow, 02–04 December 2020. Moscow: RSAU - MSAA named after K.A. Timiryazev, 2021. Vol. 293, part II: 26-29 (In Russian)
4. Chutcheva Yu. V., Velkina L. V. Otsenka rynochnogo potentsiala krolikovodcheskoi produktsii [Assessment of the market potential of rabbit product]. *Doklady TSKhA*, [[Reports of the TSKhA]. Moscow, 03–05 December 2019]. Moscow: RSAU - MSAA named after K.A. Timiryazev, 2020. Vol. 292, part III: 120-123 (In Russian)

5. Zvereva G. N., Grebneva D. A. Organicheskoe krolikovodstvo kak perspektivnyi vid deyatel'nosti na rynke agrarnoi produktsii [Organic rabbit husbandry as a perspective activity in the agricultural products market]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2021. No. 4(64): 188-200 (In Russian) DOI 10.32786/2071-9485-2021-04-20.
6. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Modul'nye tekhnologii soderzhaniya i vyrashchivaniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i ptits na melkotovarnykh predpriyatiyakh [Modular technologies for housingg and growing farm animals and poultry at small-scale enterprises]. Saint Petersburg: IEEP – branch of FSAC VIM, 2021. 136 p. (In Russian)
7. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Modul'naya krolikoferma [Modular rabbit farm]. Patent RF on invention № 2747698. 2020 (In Russian)
8. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Opredelenie neobkhodimogo vozdukhoobmena kazhdoi sektsii tekhnologicheskogo modulya dlya soderzhaniya i vyrashchivaniya krolikov [Determining the required air exchange in each section of the technological module for housing and growing of rabbits]. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*. 2020. No. 4(33): 78-84 (In Russian) DOI 10.35523/2307-5872-2020-33-4-78-84.
9. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Obosnovanie tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei tekhnologicheskogo modulya dlya razvedeniya i otkorma krolikov [Justification of technical and economic performance of the technological module for rabbit growing and fattening]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2019. No. 2(99): 317-326 (In Russian) DOI 10.24411/0131-5226-2019-10178.
10. Zakirov V. V., Lopaeva L. N. Vliyanie mikroklimata na soderzhanie krolikov [Influence of microclimate on the keeping of rabbits]. *Molodezh' i nauka*. 2021. No 3:35 (In Russian)