СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ЭКОЛОГИЯ АГРОСИСТЕМ

Васильев Э.В., Козлова Н.П. Эффективность использования азота - индикатор экологического воздействия на окружающую среду сельскохозяйственного предприятия 4

Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Медведев Г.В. Определение индикатрис яркости поверхности листа растения при экологическом мониторинге ……23

Романов А.С., Васильев Э.В. Аэродинамический расчет системы воздуховодов автономного биоферментатора камерного типа ……...……..35

РАЗДЕЛ 2. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Безух Е.П., Зыков А.В., Юнин В.А., Егорова К.И. Сроки эксплуатации интенсивных маточно-черенковых насаждений яблони и груши ……46

Валге А.М., Смелик В.А., Перекопский А.Н. Математическая модель обоснования типоразмерного ряда сушилок зерна ……59

Чугунов С.В., Перекопский А.Н. Закономерности формирования продуктивности семян тимофеевки луговой в зависимости от параметров агроэкосистемы ……70

Джабборов Н.И., Захаров А.М., Жуйков И.И. Методика оценки и прогнозирования негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду……...82

Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Экспериментальные исследования комбинированного агрегата для внутрипочвенного внесения органических удобрений ……97

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Ковалев С.В., Гордеев В.В., Миронова Т.Ю. Анализ водопользования на фермах КРС...…108

Соколов А.М., Сошнев Д.А., Трифанов А.В., Плаксин И.Е., Базыкин В.И. Математические модели расхода кормов и прироста живой массы молодняка кроликов ……..123

Пашикова М.В., Касаткин В.В., Касаткина Н.Ю., Литвинюк А. А. Результаты исследований процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод с применением биогазовой установки …….……..140

Сидорова В.Ю. Особенности формирования зоны отдыха для экологичного содержания племенного мясного скота……158

РАЗДЕЛ 1. ЭКОЛОГИЯ АГРОСИСТЕМ

Обзорная статья
УДК 636.2 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-4-23

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА - ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Эдуард Вадимович Васильев[1] ✉, sznii6@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5793
Наталья Павловна Козлова[2] , natalia.kozlova@sznii.ru, https://orcid.org/0000-0003-0880-44IX

[1,2] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Разработка и реализация научно обоснованной стратегии управления азотом с целью минимизации нагрузки на окружающую среду при максимуме экономического и социального эффекта является актуальной задачей для российских условий. Цель исследования – оценить перспективы применения показателя «эффективность использования азота (NUE)» при экологической оценке сельхозпредприятия. В настоящее время не существует единой, стандартной методики расчета NUE. Для применения и оценки результатов расчета балансов питательных веществ требуется различать границы описываемого объекта, учтенные входные и выходные потоки системы, а также временные рамки. В качестве оцениваемой системы может рассматриваться отдельное поле, ферма, технология или элемент технологии, водосбор, регион, страна, планета, а также полностью или частично продовольственная цепочка от производителя до потребителя. По результатам расчётов баланса азота на уровне поля в Ленинградской области значение NUE составило 34%. В одиннадцати муниципальных районах области среднее значение NUE составило 59%. Четыре района с NUE от 1 до 37% были определены как «горячие точки». По результатам расчета баланса на уровне сельскохозяйственного предприятия молочного направления (farm-gate balance) NUE изменялась за 5 лет от 21 до 78% благодаря снижению количества вносимых минеральных удобрений. Выполненный обзор работ по применению метода баланса и показателя «эффективность использования азота» при анализе потоков азота в системах производства продовольствия разного уровня показал перспективность их использования при определении путей снижения негативного воздействия сельхозпроизводства на все среды – воздух, воду и почву, и при мониторинге реализации природоохранных мероприятий. Практическим результатом дальнейших исследований может стать разработка рекомендаций по расчету балансов питательных веществ сельскохозяйственного предприятия и применению их для экологической оценки.

***Ключевые слова*:** сельскохозяйственное производство, эффективность использования азота, азотный баланс, экологическая оценка

Для цитирования: Васильев Э.В., Козлова Н.П. Эффективность использования азота - индикатор экологического воздействия на окружающую среду сельскохозяйственного предприятия // АгроЭкоИнженерия. 2023. №. 2(115). С. 4-23

Review article

Universal Decimal Code
УДК 636.2

NITROGEN USE EFFICIENCY AS AN ENVIRONMENTAL IMPACT INDICATOR OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE

Eduard V. Vasilev[1]✉, sznii6@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5793
Natalia P. Kozlova[2], natalia.kozlova@sznii.ru, https://orcid.org/0000-0003-0880-44IX

[1,2]Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. An important task in Russian conditions is to develop and put in place a science-based nitrogen management strategy aimed to cut the environmental load with the greatest economic and social effect. The purpose of the study was to estimate the application prospects of the nitrogen use efficiency (NUE) indicator in the environmental assessment of an agricultural enterprise. Currently, there is no single, standard methodology for calculating NUE. To apply and evaluate the results of nutrient balance calculations, the boundaries of the described object, the considered input and output flows in the system, as well as the time frame need to be distinguished. The system being considered can be a single field, farm, technology or technology element, watershed, region, country, and planet, or the whole or part of the food chain from producer to consumer. According to the results of the nitrogen balance calculation, the NUE at the field level for the Leningrad Region was 34%. In eleven municipal districts of the region, the average NUE was 59%. Four districts with NUEs between 1 and 37% were identified as “hot spots”. According to the calculation results of the balance at the level of a large-scale dairy farm (farm-gate balance), NUE changed from 21 to 78% over 5 years due to smaller amount of mineral fertilizers applied. The performed review of research associated with the balance method and the nitrogen use efficiency indicator in the analysis of nitrogen flows in food production systems of different levels showed their promise in finding the ways to reduce the negative impact of agricultural production on all environments – air, water and soil, and in monitoring the introduced environmental protection measures. A practical output of further research can be the recommendations for calculation of nutrient balances of the agricultural enterprise and their application for environmental assessment.

***Key words*:** agricultural production, nitrogen use efficiency, nitrogen balance, environmental assessment

For citation: Vasilev E. V., Kozlova N. P. Nitrogen use efficiency as an environmental impact indicator of an agricultural enterprise. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 4-23.(In Russ.)

Введение

Азот (N) необходим для жизни, входит в состав белков и нуклеиновых кислот всех живых существ. Вода и N являются двумя основными ограничивающими факторами в сельском хозяйстве для обеспечения устойчивого производства продуктов питания. N, входящий в состав белков урожая, попадает в корм животных, и, наконец, попадает в тарелки потребителя после путешествия по продовольственной цепочке [1,2]. К сожалению, только часть азота, поступающего на пахотные земли или пастбища в виде минеральных и органических удобрений, и биологической фиксации попадают в организм человека. Остальная часть может быть потеряна по пути и попадает в окружающую среду, вызывая существенные негативные воздействия [3]. В последние десятилетия интенсификация систем земледелия и систем животноводства привела к изменению потоков питательных веществ. Так, применение концентрированных кормов в интенсивном животноводстве привело к увеличению зависимости от ресурсов вне фермы и отделению животноводства от растениеводства [4, 5]. Основным источником поступления в окружающую среду азотосодержащих соединений из животноводства являются системы сбора, хранения и использования навоза. В атмосферу выделяется загрязняющие газы – аммиак (NH_3), окись азота NO и парниковый газ – закись азота (N_2O). К выбросам, происходящим в растениеводстве, относятся выбросы N_2O от обрабатываемых почв.

Проблеме азота, его эффективному использованию и снижению его негативного воздействия на окружающую среду уделяется большое внимание в научном сообществе; действует ряд международных проектов [3]. ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (далее ИАЭП), является одним из 60 партнеров проекта INMS (Towards the Establishment of an International Nitrogen Management System (INMS) - Создание международной системы управления азотом (https://www.inms.international). Результатом проекта должна стать запланированная к выходу в 2023 году книга «Международная оценка азота» (International Nitrogen Assessment), которая обобщит основные выводы проекта по системам управления азотом. В рамках международной азотной инициативы (International Nitrogen Initiative - INI) (https://initrogen.org/), имеющей свои отделения на всех континентах, регулярно, начиная с 2009 года, проводятся международные конференции. ИАЭП принимал участие в конференциях INI в 2021и 2022 годах [6,7].

Проблема снижения негативного воздействия соединений азота на окружающую среду включена в ряд международных договоров и конвенций. Россия представляет ежегодные отчеты по выбросам аммиака в Конвенцию о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской Экономической комиссии ООН – один из важных международных договоров по контролю загрязнения воздушной среды, ратифицированных Россией (http//www.unece.org). Ежегодный кадастр выбросов парниковых газов Россия представляет в соответствии с требованиями Киотского протокола.

Целевая Группа по химически активному азоту Рабочей группы по стратегиям и обзору Конвенции - Task Force on Reactive Nitrogen (TFRN) (http://www.clrtap-tfrn.org) создана в 2008 году для разработки технической и научной информации и решений для обоснования политики в области снижения загрязнения воздуха азотом в контексте азотного цикла. Документы[1234], разработанные в рамках TFRN, на русском языке выложены на сайте ЕЭК ООН.

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

Часть документов, разработанных TFRN, опубликована в виде книг [8,9]. Рекомендации по ограничению выбросов, содержащиеся в документах TFRN, во многом совпадают с требованиями и рекомендациями других международных организаций, например ХЕЛКОМ [10]. В России требования к уровню выбросов загрязняющих и парниковых газов регламентируются российскими нормативными документами – Руководящими документами (РД), наилучшими доступными технологиями (НДТ).

Одним из ключевых при разработке мер по снижению негативного воздействия с/х производства является вопрос выбора и согласования критериев оценки воздействия объектов на окружающую среду. В соответствии с [11] насчитывают до 120 экологические показателей (индикаторов) - описательных (Descriptive indicators – DPSIR) и индикаторов отслеживания (Tracking indicators), которые используются для предоставления информации об экологических проблемах, поддержки разработки политики путем определения ключевых факторов, оказывающих давление на окружающую среду, отслеживания последствий ответных мер политики. Выбираемые для оценки критерии и показатели должны быть доступны [12,13] для понимания и интерпретации, иметь возможности сопоставимости, измерения и формализации.

Данная обзорная статья посвящена широко применяемому в научном сообществе индикатору – эффективности использования азота NUE (nitrogen use efficiency) и способам его определения и применения. Цель исследования – оценить перспективы использования показателя «эффективность использования азота» в качестве индикатора при экологической оценке и определении путей снижения негативного воздействия сельхозпроизводства на окружающую среду.

Материалы и методы

Для оценки результатов трансформации питательных веществ используется различная терминология в зависимости от применяемых моделей для описания процессов и задач. Показатель NUE, описывающий величину преобразования азота N, используемых ресурсов или образующихся отходов относится к группе индикаторов отслеживания по классификации [11].

В качестве оцениваемой системы может рассматриваться отдельное поле, ферма, технология или элемент технологии, водосбор, регион, страна, страны, а также полностью или частично продовольственная цепочка от производителя до потребителя.

Балансы питательных веществ отслеживают массу питательных веществ, добавляемых $\boldsymbol{N_{BX}}$ или удаляемых $\boldsymbol{N_{BЫX}}$ из рассматриваемой системы. Под потерями понимают соотношение количества питательных веществ, в данном случае, азота на входе $\boldsymbol{N_{BX}}$ и на выходе $\boldsymbol{N_{BЫX}}$ рассматриваемого объекта:

$$N_{пот} = \sum \boldsymbol{Nвх} - \sum \boldsymbol{Nвых}, \text{ кг N}$$

Как экологический показатель используется термин избыток азота, Nизб (Nsurplus)

---

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

[3]Руководящий документ по национальным балансам азота URL: https://unece.org/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE_EB.AIR_119_RUS.pdf

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

$$N_{изб} = \frac{\sum \boldsymbol{N_{вх}} - \sum \boldsymbol{N_{вых}}}{Площадь\ с.х\ угодий}$$, кг N/га

Коэффициент эффективности использования азота NUE обычно определяется в виде дроби как безразмерная величина:

$NUE = \frac{N_{вых}}{N_{вх}}$, либо в процентах: $NUE = \frac{N_{вых}}{N_{вх}} \cdot 100, \%$.

Во многих публикациях по исследованию потоков питательных веществ при производстве сельскохозяйственной продукции содержится визуальное представление процессов в виде рисунков и схем. На рис.1 показана концептуальная схема из обзорной статьи, иллюстрирующая движущие силы, материальные потоки и воздействия, возникающие и влияющие на различных уровнях (поле, ферма, водосбор и государство), выполненной в рамках крупного проекта [14].

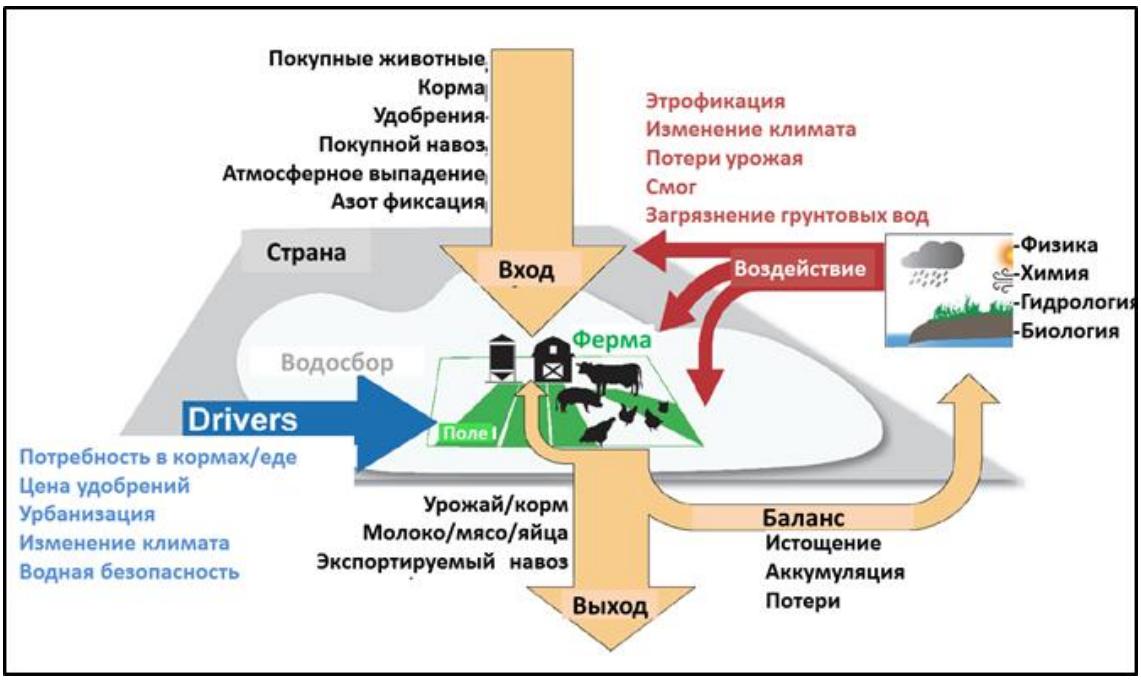


Рис. 1. Концептуальная схема систем потребления и производства сельскохозяйственной продукции [14]

Fig.1 Conceptual diagram of animal food systems [14]

В настоящее время не существует единой методики расчета NUE. Для применения и оценки опубликованных результатов расчета балансов требуется различать границы описываемого объекта, учтенные входные и выходные потоки системы, а также временные рамки.

Баланс азота на уровне поля

Для расчетов балансов на уровне поля широко применяется методика, разработанная ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) и ОЭСР (Организация Экономического Сотрудничества и Развития) [12,13]. Эта методика рассматривает основные показатели растениеводства, характеристика животноводства, косвенно учитывается в значениях азота в составе навоза и помета, вносимых в почву. Структура баланса, представленная на рис. 2, практически совпадает со структурой баланса российской методики [15].

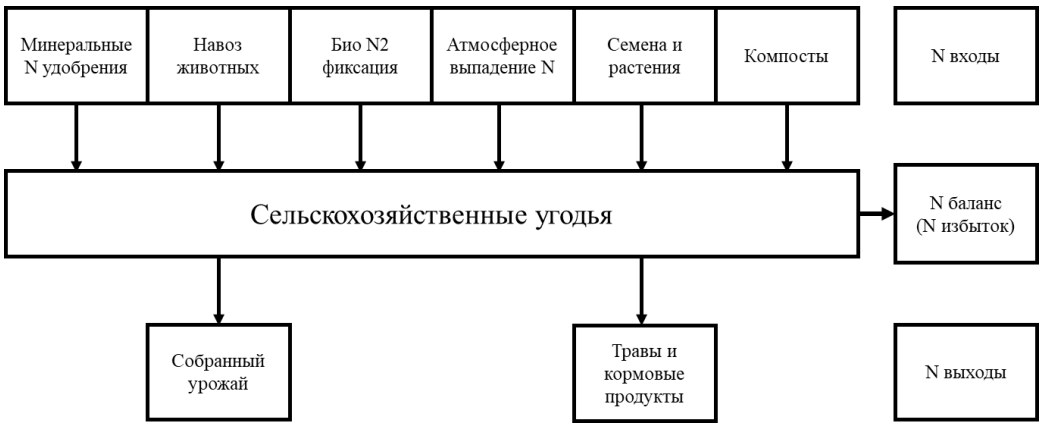


Рис. 2. Составляющие азотного баланса на поверхности почвы сельхозугодий [9]
Fig.2. Components of nitrogen balance on the farmland soil surface [9]

В настоящее время при анализе потоков азота на самых разных уровнях широко применяется предложенное в [16,17] графическое изображение составляющих эффективности использования азота NUE (рис.3).

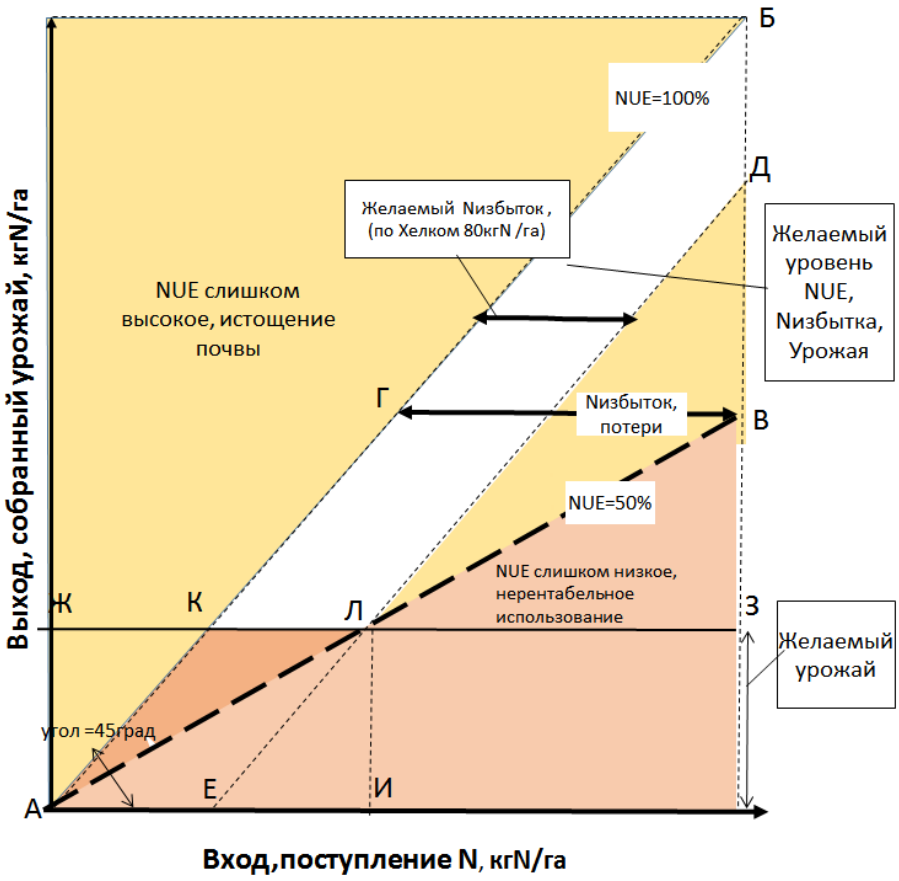


Рис.3. Схема взаимосвязи составляющих баланса азота на уровне поля сельхозпредприятия, построенная на основе подходов из [16,17]
Fig. 3. Interrelation scheme of nitrogen balance components at the field level of an agricultural enterprise, designed on approaches from [16, 17]

На схеме в координатах Nвход (ось ординат) и Nвыход (ось абсцисс), рассматриваются возможные сочетания Nизб и NUE. На схемах [16] верхнюю границу желаемого NUE принимают равной 90%, для простоты изображения на нашей схеме приняли равной 100%

- Все точки на линии АБ (это диагональ) соответствуют случаю, когда Nвход = Nвыход, NUE=100%, нет потерь. Все, что влево от этой линии, NUE>100%, Nизб <0, т.е получили с урожаем больше азота, чем внесли (значит, N взято из почвы, опасность истощения)
- Все точки на линии АВ соответствуют NUE = 50%; считается, что это приемлемый уровень эффективности использования азота
- Отрезок ВГ=БВ – это потери, Nизб (Surplus)
- Линия ДЕ – по всей линии одинаковое значение Nизб
- Значение АЖ – желаемый, рентабельный урожай (минимальная эффективность)
- Область КБДЛ – диапазон, в котором NUE, урожай, и Nизб находятся в допустимых пределах.
- Линия АИ – внесенный азот; превышение этой дозы приводит к увеличению риска потерь выше допустимого диапазона

Баланс «вход – выход» по азоту, « баланс у ворот хозяйства» (farm-gate balance)

Для экологической оценки сельхозпредприятия кроме балансов на уровне почвы [12,13] применяется баланс всего предприятия (farm-gate balance) [9]. С целью унификации расчетов международной группой ученых (http://www.eunep.com) разработана Методика (руководящий документ) оценки NUE на уровне фермы [17]. В документе содержатся справочные материалы для использования по умолчанию, в том числе, такие как усредненные значения содержания азота во входных и выходных составляющих балансов. В документе определен перечень входных и выходных потоков farm-gate balance (см таблицу 1), который должен уточняться в зависимости от типа предприятия (растениеводческое, животноводческое, смешанного типа).

Таблица 1. Составляющие входов и выходов баланса N хозяйства (farm-gate balance)
Table 1. N-inputs and N-outputs in the farm-gate balance

Азот в составе входных потоков	***Азот в составе выходных потоков***
Минеральные удобрения	*Продукты растениеводства, проданные*
Покупные корма	*Животные, проданные*
Покупные животные	*Продукты животноводства, проданные (молоко, мясо, яйцо, шерсть)*
Покупная подстилка (солома, опилки)	*Навоз, помет, проданный*
Семена покупные	
Покупные органические удобрения	

Биологическая фиксация азота	
Атмосферное осаждение	

Nизб и NUE зависят от специализации хозяйства и климатических условий (см. таблицу 2). Поэтому целевые уровни Nизб и NUE должны рассматриваться и оцениваться в региональном контексте.

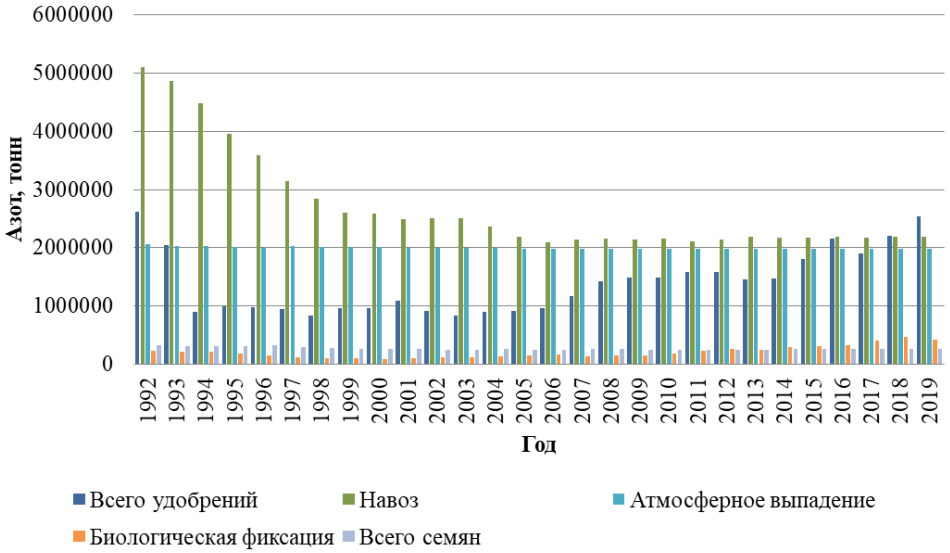
Таблица 2. Диапазон изменения значений Nизб и NUE по данным TFRN [9]
Table 2. Variation range of N surplus and NUE values according to TFRN [9]

Показатель	Тип сельскохозяйственного предприятия			
	Растениеводческие	Животноводческие		Смешанного типа
		Нет экспорта навоза	Весь навоз экспортируется	
NUE	0,6 – 1,0	0,4 – 0,6	0,8 – 0,95	0,5 – 0,6
$N_{изб}$	0 – 50 кг N/га	0 – 1000 кг N/га		0 – 200 кг N/га

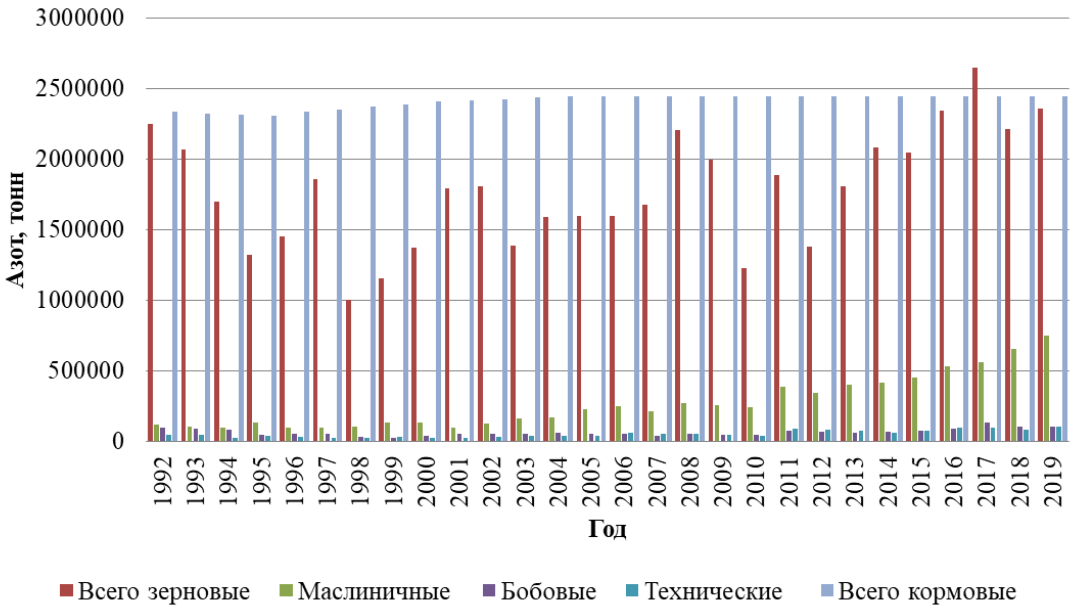
Результаты и обсуждение

Расчет баланса питательных веществ на уровне страны, региона или отдельного предприятия используется как инструмент для оценки эффективности использования питательных веществ и, соответственно, нагрузки на окружающую среду.

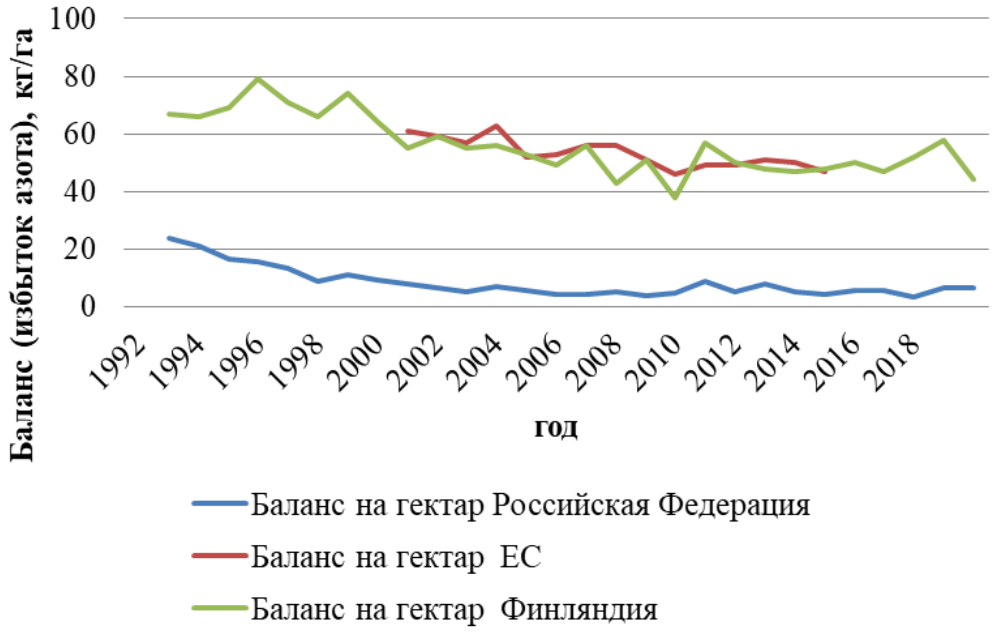
Результаты расчетов балансов азота (Nвх, Nвых, Nизб) для ведущих развитых стран по методике [12] в виде таблиц Excel ежегодно размещаются в открытом доступе на сайте ОЭСР в базе данных агроэкологических показателей сельского хозяйства. На рисунке 4 представлены построенные по этим данным графики изменения составляющих входа и выхода балансов, Nизб и NUE за 1990 – 2019 годы для Российской Федерации. На графики Nизб и NUE для сравнения дополнительно нанесены значения этих показателей для стран ЕС и Финляндии.



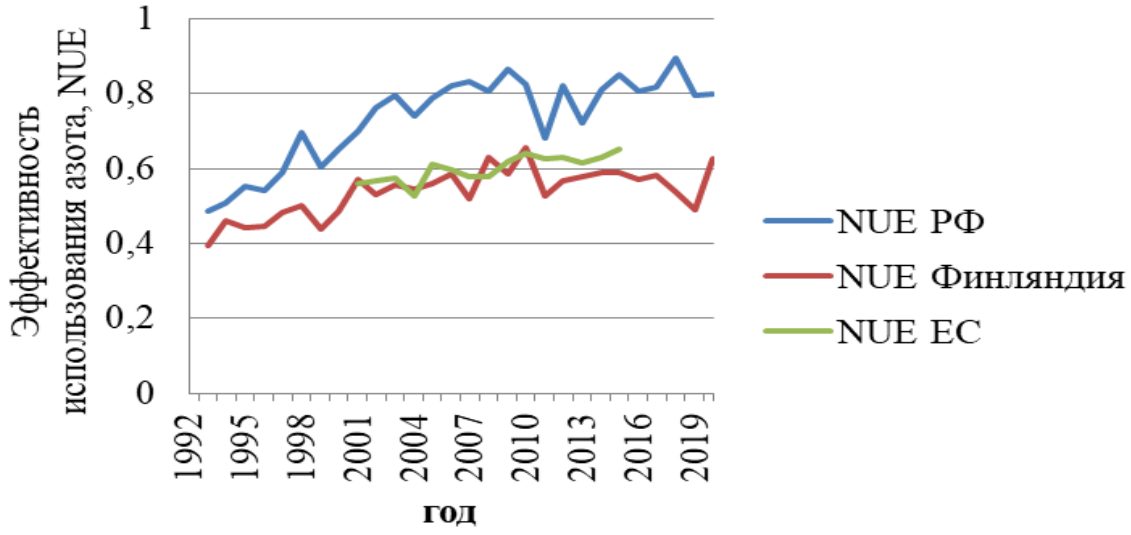
а) а)


3000000
2500000
2000000
1500000
1000000
500000
0
Азот, тонн
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
Год
Всего зерновые
Маслиничные
Бобовые
Технические
Всего кормовые

б) b)


100
80
60
40
20
0
Баланс (избыток азота), кг/га
1992
1994
1996
1998
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
год
Баланс на гектар Российская Федерация
Баланс на гектар ЕС
Баланс на гектар Финляндия

в) c)



г) d)

Рис. 4 Агроэкологические показатели сельскохозяйственного сектора Российской Федерации, по данным базы агроэкологических показателей ОЭСР[5] а) составляющие входа баланса по азоту; б) составляющие выхода по азоту; в) баланс (избыток азота), кгN/га; г) сффективность использования азота, NUE

Fig. 4. Agroecological indicators of the agricultural sector of the Russian Federation from the related OECD database: a) N-inputs; b) N-outputs; c) N surplus, kgN/ha; d) NUE

Как видно из графиков, динамика всех показателей составляющих баланса соответствует изменениям в экономике страны за эти годы. Значения составляющих входа баланса (азот минеральных удобрений, азот вносимого на поля навоза и помета) резко уменьшились с начала 1990 года с постепенным ростом в последние годы. Значения составляющих выхода – производство кормовых культур находилось примерно на одном уровне, а производство зерновых изменялось с изменением климатических условий. Значение избытка азота, менее 10 кгN/га, в целом в среднем по стране ниже в сравнении с данными ЕС и Финляндии и ниже рекомендуемых пределов 80 кгN/га [10]. Значение NUE до 0,8 в среднем по стране выше, чем в европейских странах; что свидетельствует об опасности истощения почвы. Такой вывод совпадает с результатами расчета балансов [18] по российской методике [15]. При рассмотрении этих результатов следует учесть, что приведенные данные относятся ко всей стране; для принятия конкретных решений по управлению потоками питательных веществ необходимо провести аналогичный анализ на региональном уровне.

В ряде европейских стран и в Японии ведутся работы по созданию национальных бюджетов азота в соответствии с подходами документа TFRN для всех отраслей экономики страны, в том числе и сельскохозяйственного сектора. Результаты анализа потоков азота на национальном уровне позволили ученым Германии [19] сформулировать глобальную цель экологической политики страны – до 2030 года на треть снизить потери азота.

[5] OECD.Stat. URL: https://stats.oecd.org/

Наибольшее количество исследований по оценке потоков питательных веществ и азота в нашей стране относится к системам растениеводства [20,21]. На практике в агрономии метод баланса питательных веществ, внесенных в почву и полученных с урожаем, применяется для расчета доз внесения удобрений для получения желаемого урожая. В работе Кудеярова В.Н. [18] проанализирован баланс питательных элементов (азота, фосфора и калия) в земледелии России за 25-летний период (1992–2016 гг.). Баланс рассчитан на основании данных валовых урожаев сельскохозяйственных культур, выноса ими из почв питательных веществ и внесенных количеств минеральных и органических удобрений. В расчет принимали основную и побочную продукцию сельскохозяйственных культур и пожнивные остатки. Расчеты выполнены в соответствии с методикой [15]. За 25-летний период в земледелии России вынос азота, фосфора и калия с урожаем сельскохозяйственных культур превысил внесение этих элементов со всеми видами удобрений в 3 раза, что свидетельствует о том, что в сельскохозяйственном производстве в значительной степени не реализуется почвенно-климатический потенциал.

Апробация метода применения NUE для почвенно-климатических условий России представлена в [22]. На основе баз данных длительных и краткосрочных опытов с удобрениями автором проведено исследование эффективности использования азота (NUE) озимой пшеницей. Предложенная система индикаторов азотного питания растений и ее графическая форма представления позволила одновременно оценить способ ведения сельскохозяйственного производства по трем важным параметрам: эффективности использования азота, величине урожайности и влиянию на окружающую среду. Показано, что неблагоприятные последствия могут быть вызваны как слишком низкими, так и слишком высокими дозами внесения азота.

Агрогеохимические подходы при определении необходимых направлений исследований по эффективности использования азота представлены в [23]. Показано, что массовое использование промышленных азотных удобрений удвоило потоки N в его глобальном биогеохимическом цикле. Показано, что необходимо снизить потери азота при выращивании сельскохозяйственных культур, обеспечивая при этом его достаточные ресурсы для продовольственной безопасности. Рассмотрены современные достижения и проблемы, связанные с эффективностью использования азота в сельском хозяйстве и определением возможностей исследований в области агрогеохимии азота, его почвенного цикла и агрономии для достижения устойчивого использования N в сельском хозяйстве. В [24] рассмотрены биологические приемы повышения эффективности использования азота, которые могут рассматриваться как улучшенные методы ведения сельского хозяйства, которые синхронизируют потребность в азоте сельскохозяйственных культур с доступностью его в почве. Селекция сельскохозяйственных культур, нацеленная на физиологические процессы в корнях и побегах, вероятно, увеличит поглощение азота и использование его почвенных форм, в то время как селекция, направленная на увеличение эффективности биологической фиксации азота бобовыми культурами, повысит общую эффективность системы.

В [25] рассмотрены плюсы и минусы различных методов определения NUE в исследованиях по растениеводству. Авторы считают, что будущие индикаторы NUE должны учитывать более широкий диапазон форм азота почвы, реакцию на состояние N почвы, соответствие доступного азота и потребности растений в азоте. Исследователи должны

стремиться сочетать агрономические показатели с показателями функционирования экосистем [14] .

NUE как индикатор широко применяется в различных задачах на самых разных уровнях с целью оценить или определить способы его улучшения. В [26] предлагается при анализе эффективности использования азота оценивать 5 систем управления азотом: система Почва-Растение, система Животноводство, система Животноводство-Растениеводство, Агро-Продовольственная система и Экосистема. Отмечается, что приоритеты улучшения управления азотом различаются между странами; например, повышение эффективности системы земледелия в Китае, корректировка структуры сельскохозяйственных культур в Нидерландах, сокращение потерь продовольствия в США, а также снижение потерь при хранении сельскохозяйственных культур и увеличение общего производственного потенциала в африканских странах.

Больше всего публикаций по NUE связано исследованиями в растениеводстве. Так [27,28] посвящены расчету азотного баланса на глобальном и национальном уровне для растениеводства. В [29, 30] рассмотрены различные типы ферм и обосновываются меры для улучшения сельскохозяйственного производства в Европейских странах. В [31] рассматривается азотный бюджет и эффективность использования азота в районе водосбора озера Виктория. Исследования, ведущиеся в Индии и Китае по улучшению NUE и Nизб при производстве зерна [32] показывают, что NUE может быть увеличен за счет совершенствования технологий и за счет снижения нормы азота в удобрениях без значительного снижения урожайности сельскохозяйственных культур, что позволяет дать рекомендации правительствам для разработки соответствующей политики.

Обзор литературы показывает, что большинство работ проводятся на уровне научных исследований. Реализация предложений осложняется трудностями получения исходных данных для расчёта балансов, существенной погрешностью результатов. Так, в [9] отмечается, что балансы «вход - выход» по азоту используются в научных исследованиях в течение уже более 100 лет; однако опыта использования балансов «вход – выход» по азоту как инструмента снижения выбросов NH_3 накоплено существенно меньше. Составление балансов «вход – выход» по азоту на уровне хозяйства требует знаний бухгалтерского учета в целом и знаний по поступлению азота и его выходу с продукцией. Имеющийся опыт показывает, что эти балансы хорошо понятны фермерам, и поэтому могут свободно использоваться при обмене информацией и для сравнения разных предприятий и их показателей. Это особенно важно, потому что улучшение баланса N позволяет фермерам сократить затраты на закупку минеральных удобрений. В ряде европейских стран (Германия, Дания, Швейцария) предусмотрена отчетность фермеров по балансам питательных веществ.

В последние годы российские исследователи стали проявлять интерес к использованию NUE в качестве экологического индикатора в растениеводстве [23, 22, 24]. Результаты апробации в ИАЭП методов расчета азотного баланса всего предприятия, farm-gate balance в животноводстве, показали целесообразность применения показателя эффективности использования питательных веществ как обобщающего при сравнительной оценке технологий. Динамика изменения этого показателя в комплексе с другими агроэкологическими показателями может использоваться для оценки результативности внедрения на предприятии НДТ. Расчеты балансов на уровне поля отдельных хозяйств, административных районов и всей Ленинградской области [33] применили в ИАЭП для обоснования централизованной системы управления обращением с навозом животных и

птицы. Значения NUE по результатам расчётов баланса на уровне поля по Ленинградской области составило 34%. В одиннадцати муниципальных районах средние значение NUE составило 59%. Четыре района были определены как «горячие точки» – с NUE от 1 до 37%. NUE по результатам расчета «farm-gate balance» молочного предприятия изменялась от 21 до 78% из-за изменения количества вносимых минеральных удобрений. В [7] показатель «эффективность использования азота», как индикатор потенциала снижения потерь и выбросов в окружающую среду определялся для всех производственных секторов молочных ферм. Полученные результаты анализа балансов азота сельхозпредприятия предназначены для мониторинга, оценки и управления экологическими показателями животноводства на разных уровнях.

Выводы

Проведенный обзор работ по применению метода баланса и показателя «эффективность использования азота» при анализе потоков азота в системах производства продовольствия разного уровня показал перспективность их использования при определении путей снижения негативного воздействия сельхозпроизводства на все среды – воздух, воду и почву, и при мониторинге реализации природоохранных мер.

В условиях России использование показателей баланса азота для экологической оценки на уровне хозяйства является актуальным для сельхозпроизводителей в условиях ужесточения природоохранного законодательства и внедрения системы НДТ. Согласно результатам исследования, для комплексной экологической оценки сельхозпредприятия, более четкого понимания негативного воздействий на почву, требуется анализ «баланса у ворот хозяйства, farm-gate N balance» и баланса азота на уровне поля. При этом необходимо оценивать, как значение NUE, так и Nизб.

Направлением дальнейших междисциплинарных исследований должно стать применение комплексного подхода при обосновании мер повышения эффективности использования питательных веществ, совершенствования технологий, организационной структуры системы управления азотом всей продовольственной цепочки.

Практическим результатом работ на первом этапе может стать разработка рекомендаций по расчету балансов питательных веществ сельскохозяйственного предприятия и применению их для экологической оценки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Westhoek H., Lesschen J.P., Leip A., Rood T., Wagner S., De Marco A., Murphy-Bokern D., Pallière C., Howard C.M. Nitrogen on the Table: The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment. (European Nitrogen Assessment special report on nitrogen and food). Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology; 2015. 69 p. URL: https://edepot.wur.nl/368693

2. Galloway J. N., Leach A. M., Bleeker A., Erisman J. W. A chronology of human understanding of the nitrogen cycle // Phil. Trans. Royal Soc. B. 2013. Vol. 368(1621). Art. 20130120. https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0120

3.Sutton M.A., Howard C.M., Erisman J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizetti B. The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2011. 664 p. URL: http://www.nine-esf.org/node/360/ENA-Book.html

4. Naylor R., Steinfeld H., Falcon W., Galloway J. et al. Losing the links between livestock and land // Science. 2005. Vol. 310(5754). P. 1621-1622. https://doi.org/10.1126/science.1117856

5. Garrett R. D., Ryschawy J., Bell L. W., et al. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales // Ecology&Society. 2020. Vol. 25(1). Art. 24. https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124

6. Брюханов А.Ю., Козлова Н.П., Васильев Э.В., ШалавинаЕ.В. Азот и цели устойчивого развития сельского хозяйства // АгроЭкоИнженерия. 2022. №2(111). С. 3-13. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-2111-3-13

7. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E. Integrated approach to estimation of nitrogen use efficiency in intensive dairy husbandry at farm level in the North-West Russia. In: Lassaletta Coto L., Sanz-Cobeña A., Pinsard C., Garde S. (Eds.) Proceedings of the XXI International Nitrogen Workshop Halving nitrogen waste by 2030 (24-28 October 2022, Madrid, Spain). 2022. P. 318. (In Eng.) URL: https://nworkshop.org/wp-content/uploads/2022/10/Abstract_Book_XXI_N_workshop_v221023.pdf

8. Sutton M. A., Howard C. M., Maso, K. E., et al. (Eds.) Nitrogen Opportunities for Agriculture, Food & Environment. UNECE Guidance Document on Integrated Sustainable Nitrogen Management. Edinburgh, UK: UK Centre for Ecology & Hydrology; 2022. URL: https://unece.org/sites/default/files/2022-11/UNECE_NitroOpps%20red.pdf

9. Сокращение выбросов аммиака: меры и действия. Рекомендации Целевой группы по химически активному азоту ЕЭК ООН (под ред. Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A.) Эдинбург, Великобритания: Центр экологии и гидрологии. 2014. 116 с. URL: https://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD%20-%20russian.pdf

10. HELCOM Recommendation 28E/4. Annex III “Criteria and Measures Concerning the Prevention of Pollution from Land-Based Sources” to Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 1992. URL: https://helcom.fi/about-us/convention/annexes-to-the-convention-2/annex-iii/ (accessed 21.03.2023).

11. Smeets E., Weterings R. Environmental indicators: typology and overview. Technical report No 25. The Netherlands: TNO Centre for Strategy, Technology and Policy; 1999. 19 p. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25

12. Gross nitrogen balances. Handbook. OECD and EUROSTAT. 2007. 24 p. URL: https://stats.oecd.org/wbos/fileview2.aspx?IDFile=fc286b6c-c339-48e6-8620-a4c28f3a1c25

13 Nutrients Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Luxembourg: Eurostat and OECD. 2013. 112 p. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2393397/2518760/Nutrient_Budgets_Handbook_%28CPSA_AE_109%29_corrected3.pdf/4a3647de-da73-4d23-b94b-e2b23844dc31

14. Sharara M., Kolesch R. K., Cortus E. L., Larson R. A., Classen J.J., Janni K.A. Addressing nutrient imbalances in animal agriculture systems // Journal of the ASABE; 2022. Vol. 65(2). P. 235-249, https://doi.org/10.13031/ja.14661

15. Сычев В.Г. др. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М. : ЦИНАО, 2000. 40 с.

16. 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) – An Indicator for the Utilization of Nitrogen in Agriculture and Food Systems. EU Nitrogen Expert Panel. Wageningen, The Netherlands: Wageningen University. 2015. 47 p.

17. 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.

18. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия. 2018. № 10. С. 3-11. https://doi.org/10.1134/S0002188118100101

19. Geupel M., Heldstab J., Schäppi B., Reutimann J., Bach M., Häußermann U., Knoll L., Klement L., Breuer L. A National Nitrogen Target for Germany // Sustainability. 2021. Vol.13, Art.1121. https://doi.org/10.3390/su13031121

20. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. 596 с.

21. Lukin S.M. Nitrogen loss when using organic and mineral fertilizers on soddy podzolic sandy-loam soil in Central Russia. In: Sutton M.A. et al. (eds.) Just Enough Nitrogen. Springer Cham. 2020: 173-185. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58065-0_12

22. Романенков В. А., Беличенко М. В., Рухович О. В., Никитина Л. В., Иванова О. И. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных опытах агрохимслужбы и геосети Российской Федерации // Агрохимия. 2020. № 12. С. 28-37. https://doi.org/10.31857/S0002188120120091

23. Башкин В. Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 1. Агрогеохимические подходы // Агрохимия. 2022. № 7. С. 82-96. https://doi.org/10.31857/S0002188122070031

24. Башкин В.Н., Галиулина Р.А. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 2. Биологические подходы // Агрохимия. 2022. № 10. С. 84-96, https://doi.org/10.31857/S0002188122090034

25. Congreves K.A., Otchere O., Ferland D., Farzadfar S., Williams S., Arcand M.M. Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow // Front. Plant Sci. 2021. Vol. 12. Art. 637108. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108

26. Li T., Zhang X., Zhong Y., Davidson E. A., Dou Z., Zhang W. et al. A hierarchical framework for unpacking the nitrogen challenge // Earth's Future. 2022. Vol. 10. Art. e2022EF002870. https://doi. org/10.1029/2022EF002870

27. Xin Zhang, Zhi Quan, Tan Zou, Tingyu Li, Lassaletta L., Davidson E. A. Nitrogen use efficiency in cropping systems and beyond. In: Lassaletta L., Sanz-Cobeña A., Pinsard C., Garde S. (Eds.) Halving nitrogen waste by 2030. Proceedings of the XXI International Nitrogen Workshop (24-28 October 2022, Madrid). Madrid, Spain: School of Agricultural, Food and Biosystems Engineering - Universidad Politécnica de Madrid. 2022 P. 112

28. Zhan X., Zou T., Lassaletta L. et al. Quantification of global and national nitrogen budgets for crop production // Nature Food, 2021. Vol. 2(7). P. 529-540. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00318-5

29. Quemada M., Lassaletta L., Jensen L.S. et al. Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies // Agric. Syst. 2020. Vol. 177. Art. 102689. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102689

30. Hutchings N.J., Soerensen P., Cordovil C. M.d.S., Leip A., Amon B. Measures to increase the nitrogen use efficiency of European agricultural production // *Global Food Security*. 2020. Vol. 26. Art. 100381 https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100381

31. Ntinyari W., Gweyi-Onyango J., Giweta M., Mutegi J., Mochoge B., Nziguheba G., Masso C. Nitrogen budgets and nitrogen use efficiency as agricultural performance indicators in Lake Victoria basin // Frontiers in Sustainable Food Systems Sec. Agroecology and Ecosystem Services 2022. Vol. 6. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1023579

32. Sapkota T. B., Bijay-Singh, Takele R. Improving nitrogen use efficiency and reducing nitrogen surplus through best fertilizer nitrogen management in cereal production: The case of India and China // Advances in Agronomy. 2023. Vol. 178 P. 233-294 https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.11.006

33. 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). Art. 6614 https://doi.org/10.3390/su13126614

REFERENCES

1. Westhoek H., Lesschen J.P., Leip A., Rood T., Wagner S., De Marco A., Murphy-Bokern D., Pallière C., Howard C.M. Nitrogen on the Table: The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment. (European Nitrogen Assessment special report on nitrogen and food). Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology. 2015. 69 p. URL: https://edepot.wur.nl/368693

2. Galloway J. N., Leach A. M., Bleeker A., Erisman J. W. A chronology of human understanding of the nitrogen cycle. Phil. Trans. Royal Soc. B, 2013; 368(1621). Art. 20130120. DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0120

3.Sutton M.A., Howard C.M., Erisman J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizetti B. The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011. 664 p. URL: http://www.nine-esf.org/node/360/ENA-Book.html

4. Naylor R., Steinfeld H., Falcon W., Galloway J. et al. Losing the links between livestock and land. Science. 2005; 310(5754): 1621-1622. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1117856

5. Garrett R. D., Ryschawy J., Bell L. W., et al. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. Ecology&Society. 2020; 25(1). Art. 24. https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124

6 Briukhanov A. Yu., Vasilev E.V., Kozlova N.P., Shalavina E.V. Nitrogen and sustainable development goals for agriculture. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2022; 2(111): 3-13 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-2111-3-13

7. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E. Integrated approach to estimation of nitrogen use efficiency in intensive dairy husbandry at farm level in the North-West Russia. In: Lassaletta Coto L., Sanz-Cobeña A., Pinsard C., Garde S. (Eds.) Proc. XXI Int. Nitrogen Workshop Halving nitrogen waste by 2030 (24-28 October 2022, Madrid, Spain). 2022: 318. (In Eng.) URL: https://nworkshop.org/wp-content/uploads/2022/10/Abstract_Book_XXI_N_workshop_v221023.pdf

8. Oenema O., Winiwarter W., Bittman S., Durand P., Kevin Hicks W., Kozlova N., Medinets S., Vasilev E., Sutton M. A. Chapter III: Principles of integrated sustainable nitrogen management. In: Sutton M. A., Howard C. M., Maso, K. E., et al. (Eds.) Nitrogen Opportunities for Agriculture, Food & Environment. UNECE Guidance Document on Integrated Sustainable

Nitrogen Management. Edinburgh, UK: UK Centre for Ecology & Hydrology. 2022: 43-55. URL: https://unece.org/sites/default/files/2022-11/UNECE_NitroOpps%20red.pdf

9 Bittman S.. Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A. (Eds.) Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen; Edinburgh, UK: UK Centre for Ecology & Hydrology, 2014; 82 p. URL: https://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD%20-%20russian.pdf

10. HELCOM Recommendation 28E/4. Annex III *"Criteria and Measures Concerning the Prevention of Pollution from Land-Based Sources"* to Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 1992. URL: https://helcom.fi/about-us/convention/annexes-to-the-convention-2/annex-iii/ (accessed 21.03.2023).

11. Smeets E., Weterings R. Environmental indicators: typology and overview. Technical report No 25. The Netherlands: TNO Centre for Strategy, Technology and Policy.1999. 19 p. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25

12. Gross nitrogen balances. Handbook. OECD and EUROSTAT. 2007. 24 p. URL: https://stats.oecd.org/wbos/fileview2.aspx?IDFile=fc286b6c-c339-48e6-8620-a4c28f3a1c25

13. Nutrients Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Luxembourg: Eurostat and OECD. 2013. 112 p. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2393397/2518760/Nutrient_Budgets_Handbook_%28CPSA_AE_109%29_corrected3.pdf/4a3647de-da73-4d23-b94b-e2b23844dc31

14. Sharara M., Kolesch R. K., Cortus E. L., Larson R. A., Classen J.J., Janni K.A. Addressing nutrient imbalances in animal agriculture systems. Journal of the ASABE. 2022; 65(2): 235-249. https://doi.org/10.13031/ja.14661

15 Sychev V.G. et al. Guidelines for determining the balance of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, humus, calcium]. Moscow : TsINAO Publ., 2000. 40 p. (In Russ.)

16. 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) – An Indicator for the Utilization of Nitrogen in Agriculture and Food Systems. EU Nitrogen Expert Panel. Wageningen, The Netherlands: Wageningen University. 2015. 47 p.

17. 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.

18. Kudeyarov V.N. The balance of nitrogen, phosphorus and potassium in agriculture of Russia. Agrokhimiya. 2018; 10: 3-11. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188118100101

19. Geupel M., Heldstab J., Schäppi B., Reutimann J., Bach M., Häußermann U., Knoll L., Klement L., Breuer L. A National Nitrogen Target for Germany. Sustainability. 2021;13, Art.1121. https://doi.org/10.3390/su13031121

20. Zavalin A.A., Sokolov O.A. Nitrogen fluxes in the agroecosystem: from the ideas of D.N. Pryanishnikov to the present day. Moscow: VNIIA, 2016. 596 p. (In Russ.)

21. Lukin S.M. Nitrogen loss when using organic and mineral fertilizers on soddy podzolic sandy-loam soil in Central Russia. In: Sutton M.A. et al. (eds.) Just Enough Nitrogen. Springer Cham. 2020: 173-185. (In Eng.) https://doi.org/10.1007/978-3-030-58065-0_12

22. Romanenkov V. A., Belichenko M. V., Rukhovich O. V., Nikitina L. V., Ivanova O. I. Nitrogen use efficiency in long-term and short-term experiments in the Russian Federation.

Agrokhimiya =Agrochemistry. 2020;12: 28-37 (In Russ.)
https://doi.org/10.31857/S0002188120120091

23. Bashkin V. N. Improving the efficiency of nitrogen use: problems and solutions. Part 1. Agrogeochemical approaches. Agrokhimiya. 2022; 7: 82-96 (In Russ.)
https://doi.org/10.31857/S0002188122070031

24. Bashkin V.N., Galiulina R.A. Improving the efficiency of nitrogen use: problems and solutions. Part 2. Biological approaches. Agrokhimiya. 2022; 10: 84-96 (In Russ.)
https://doi.org/10.31857/S0002188122090034

25. Congreves K.A., Otchere O., Ferland D., Farzadfar S., Williams S., Arcand M.M. Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. Front. Plant Sci. 2021; 12. Art. 637108. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108

26. Li T., Zhang X., Zhong Y., Davidson E. A., Dou Z., Zhang W. et al. A hierarchical framework for unpacking the nitrogen challenge. Earth's Future. 2022; 10. Art. e2022EF002870. https://doi. org/10.1029/2022EF002870

27. Xin Zhang, Zhi Quan, Tan Zou, Tingyu Li, Lassaletta L., Davidson E. A. Nitrogen use efficiency in cropping systems and beyond. In: Lassaletta L., Sanz-Cobeña A., Pinsard C., Garde S. (Eds.) Halving nitrogen waste by 2030. Proceedings of the XXI International Nitrogen Workshop (24-28 October 2022, Madrid). Madrid, Spain: School of Agricultural, Food and Biosystems Engineering - Universidad Politécnica de Madrid. 2022: 112.

28. Zhan X., Zou T., Lassaletta L. et al. Quantification of global and national nitrogen budgets for crop production. Nature Food, 2021; 2(7): 529-540. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00318-5

29. Quemada M, Lassaletta L., Jensen L.S. et al. Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. Agric. Syst. 2020; 177. Art. 102689. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102689

30. Hutchings N.J., Soerensen P., Cordovil C. M.d.S., Leip A., Amon B. Measures to increase the nitrogen use efficiency of European agricultural production. Global Food Security. 2020; 26. Art. 100381. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100381

31. Ntinyari W., Gweyi-Onyango J., Giweta M., Mutegi J., Mochoge B., Nziguheba G., Masso C. Nitrogen budgets and nitrogen use efficiency as agricultural performance indicators in Lake Victoria basin. Frontiers in Sustainable Food Systems Sec. Agroecology and Ecosystem Services. 2022; 6. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1023579

32. Sapkota T. B., Bijay-Singh, Takele R. Improving nitrogen use efficiency and reducing nitrogen surplus through best fertilizer nitrogen management in cereal production: The case of India and China. Advances in Agronomy. 2023; 178: 233-294 https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.11.006

33. 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). Art. 6614. https://doi.org/10.3390/su13126614

Об авторах

Васильев Эдуард Вадимович

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3

szniii6@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-5910-5793

Козлова Наталия Павловна

канд. техн. наук; Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3

natalia.kozlova@sznii.ru

ORCID: 0000-0003-0880-441X

About the authors

Eduard V. Vasilev, Cand. Sc. (Engineering), leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia

szniii6@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-5910-5793

Natalia P.Kozlova Cand. Sc. (Engineering),

lead specialist, Advisory and Expert Department, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia

natalia.kozlova@sznii.ru

ORCID: 0000-0003-0880-441X

Заявленный вклад авторов

Э.В. Васильев – концептуализация, методология, руководство исследованием

Н.П. Козлова – создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование, визуализация.

Authors'contribution

E.V. Vasilev – research concept, methodology, and guidance

N.P. Kozlova – drafting, editing, and shaping the final version (revision) of the manuscript, visualisation

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Статья поступила в редакцию: 14.03.2023 **Received:** 14.03.2023

Одобрена после рецензирования:13.05.2023 **Approved after reviewing:** 13.05.2023

Принята к публикации: 30.06.2023 **Accepted for publication:** 30.06.2023

Научная статья
УДК 535.241.44 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-23-34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИКАТРИС ЯРКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТА РАСТЕНИЯ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Елена Николаевна Ракутько[1], elena.rakutko@mail.ru,ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3536-9639.
Сергей Анатольевич Ракутько[2]✉, sergej1964@yandex.ru,ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2454-4534.
Геннадий Валерьевич Медведев[3], genatswaly@mail.ru

[1,2]Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия
[3]Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Актуальной задачей в настоящее время становится создание новых и совершенствование существующих методов экологического мониторинга и комплексной оценки состояния окружающей среды. Особенностью экологического мониторинга является интегральность производимой оценки действия совокупности экологических факторов на общее состояние растений. Быстрая и объективная оценка состояния растения возможна по оптическим свойствам листа, в частности, яркости его поверхности. Эта величина характеризует отражательные свойства листа, зависящие от состояния растения и протекающих в нем биохимических процессов. Разработан лабораторный гониорефлектометр, обеспечивающий получение цифрового снимка листа при различных углах освещения и наблюдения. Целью работы является оценка возможности проведения мониторинга состояния окружающей среды по индикатрисам яркости поверхности листа растений. Произведен анализ схемы измерения яркости листа, размещаемого на цилиндрической поверхности. Показано, что при этом отдельные участки поверхности листа находятся в разных условиях освещения и наблюдения. Это позволяет извлечь информацию о яркости отдельных точек поверхности по цифровому снимку. *Апробацию способа экологического мониторинга по индикатрисе отражения провели на примере листьев рассады огурца (Cucumis Sativus), выращенной под двумя разными спектрами.* Полученная индикатриса дает возможность оценки состояния растений по средней величине доли

зеркального отражения и по флуктуирующей асимметрии этой доли. Разработанное лабораторное устройство для определения индикатрис яркости по сравнению с известными отличается простотой, низкими затратами на изготовление, большей скоростью проведения исследований, повышенной информативностью результатов.

Ключевые слова: экологический мониторинг, растение, лист, яркость, индикатриса отражения, гониорефлектометр, флуктуирующая асимметрия

Для цитирования: Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Медведев Г.В. Определение индикатрис яркости поверхности листа растения при экологическом мониторинге // АгроЭкоИнженерия. 2023 № 2 (115). С. 23-35

Research article
Universal Decimal Code УДК 535.241.44

DETERMINATION OF INDICATRIXES OF THE PLANT LEAF SURFACE RADIANCE IN ENVIRONMENTAL MONITORING

Yelena N. Rakutko[1], elena.rakutko@mail.ru,ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3536-9639.
Sergey A. Rakutko[2]✉, sergej1964@yandex.ru,ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2454-4534.
Gennadi V. Medvedev[3], genatswaly@mail.ru

[1,2] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.
[3] Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. An urgent task of today is to create the new and improve the available methods of environmental monitoring and comprehensive assessment of the environment. Environmental monitoring features the integrality of the assessment of the effect of a combination of environmental factors on the general condition of plants. The optical leaf properties, may contribute to quick and accurate assessment of the plants state, namely, their surface radiance. It characterizes the reflective properties of the leaf depending on the plant state and ongoing biochemical processes. The designed laboratory gonioresectometer provided a digital photograph of a leaf at various angles of illumination and observation. The study aimed to evaluate the possibility of conducting the ecological monitoring by the indicatrixes of the plant leaf surface radiance. The scheme for measuring the radiance of a leaf placed on a cylindrical surface was analysed. It was shown that in this case different parts of the leaf surface were under different conditions of illumination and observation. This allowed extracting the information on the radiance of individual surface points from a digital image. The method of ecological monitoring by the reflection indicatrix was tested on the example of the cucumber (*Cucumis Sativus*) seedlings leaves grown under two different spectra. The study proved the reflection indicatrix made it possible to assess the state of plants by the average value of the specular component fraction and its fluctuating asymmetry. The designed laboratory device in comparison with the the known ones, is distinguished by its simplicity, low manufacturing costs, faster research, and increased information content of the results.

Key words: environmental monitoring, plant, leaf, radiance, reflection indicatrix, goniorescatterometer, fluctuating asymmetry

For citation: Rakutko E.N., Rakutko S.A., Medvedev G. V. Determination of indicatrixes of the plant leaf surface radiance in environmental monitoring // AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 23-35. (In Russ.)

Введение

В современных условиях, когда темпы антропогенного влияния на природные комплексы постоянно увеличиваются, насущной задачей становится создание новых и совершенствование существующих методов экологического мониторинга и комплексной оценки состояния окружающей среды [1, 2]. Естественным индикатором происходящих в экосистеме процессов являются растения, воспринимающие воздействие факторов, характеризующих окружающую среду. Стрессовые воздействия, вызванные внешними факторами, нарушают нормальное состояние организма, оказывая влияние на состояние и развитие растений.

В отличие от селективных методов, направленных на определение влияния отдельных факторов на различные отдельные показатели растений, методологией экологического мониторинга является интегральность производимой оценки действия совокупности экологических факторов на общее состояние растений.

Быструю и объективную оценку физиологического состояния растения позволяют производить оптические свойства листа [3,4,5].

Так, яркость поверхности объекта характеризует его отражательные свойства, зависящие от состояния растения и протекающих в нем биохимических процессах [6]. Этот параметр является информационным откликом, доступным при дистанционных неразрушающих измерениях [7]. Отражательные свойства листьев широко используются при при экологическом мониторинге и оценке качества среды [8].

Коэффициент яркости представляет собой отношение яркости исследуемого образца материала к яркости диффузного эталона при их одинаковом облучении источником излучения при различных углах падения и наблюдения [9]. Для исследования отражательной способности поверхности применяют фотометрические методы с применением специализированных приборов - гониорефлектометров – поворотных приборов, обеспечивающих в своих различных конструкциях поворот освещенного образца относительно приемного устройства, вращение приемной части вокруг образца или сочетание обоих поворотов поочередно и совместно [10]. Отраженный от листа растения смешанный световой поток содержит две составляющие: диффузную, в б*о*льшей или меньшей степени соответствующую закону Ламберта, и зеркальную, поток которой сосредоточен в достаточно узком телесном угле [11]. Диффузная составляющая образуется благодаря наличию на поверхности листа растения различных видов шероховатостей и неровностей. Причина их появления – сниженный тургор, дефицит элементов питания, повреждение поверхности под влияние неблагоприятных факторов окружающей среды. Напротив, б*о*льшая доля в смешанном потоке зеркальной составляющей свидетельствует о

лучшем экологическом состоянии растения, об отсутствии необходимости внешнего вмешательства (полив, подкормка или другие формы ухода за растением).

Целью работы является оценка возможности проведения экологического мониторинга по индикатрисам яркости поверхности листа растений.

Материалы и методы

Для проведения измерений был изготовлен лабораторный макет гониорефлектометра (рис.1). На двух штангах размещены источник света и цифровая камера.
Прибор позволяет получить снимки поверхности листа, размещаемого на измерительной площадке. Форма площадки может быть как плоской, так и цилиндрической.

Рис.1. Изготовленный гониорефлектометр и его использование при исследовании отражательной способности листьев огурца

Fig.1. Designed gonioreflectometer and its use in the study of reflection capacity of cucumber leaves

Фотометрические основы применяемого метода заключаются в следующем. Пусть лист растения *1* размещен на цилиндрической площадке *2* (достаточно половины цилиндра), а угол α между направлениями на источник света *3* и камеру *4*, измеряемый в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра фиксирован. За положительное направление угла ($+\alpha$) принято направление против часовой стрелки от линии визирования камеры до линии

направления света. Пусть расстояния от источника света и камеры до листа существенно превышают его размеры, а источник света коллимирован, т.е. испускает параллельный пучок (рис. 2).

Анализ показывает, что различные участки принятой листом криволинейной поверхности находятся в различных условиях освещения от источника и наблюдения камерой. Рассмотрим характерные точки поверхности листа. При положительных α крайней точкой, фиксируемой камерой, является крайне левая т. *A* – первая характерная точка. В ней луч визирования камеры касателен к цилиндрической поверхности, а значит, угол наблюдения равен нулю.

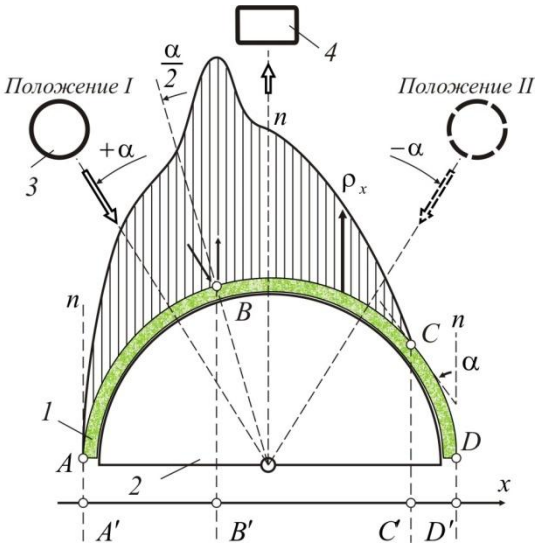


Рис. 2. Формирование индикатрисы яркости на цилиндрической поверхности

Fig. 2. Formation of the radiance indicatrix on a cylindrical surface

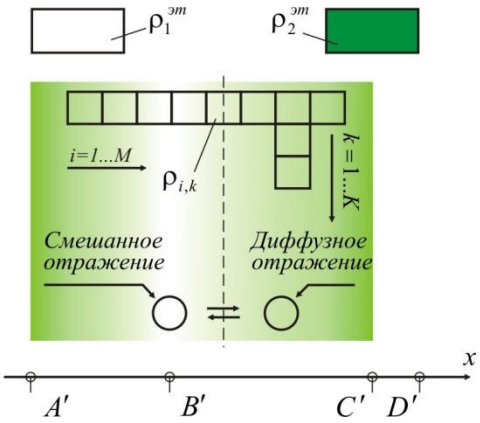


Рис. 3. Формирование поля яркости в плоскости чувствительной матрицы камеры

Fig. 3. Formation of the radiance field in the plane of the sensitive matrix of the camera

При любой отражающей способности листа коэффициент отражения данного участка так же равен нулю. При движении к другому краю вдоль цилиндрической поверхности участки листа характеризуются различным сочетанием углов падения и наблюдения. До т. *B* (вторая характерная точка), расположенной на биссектрисе угла α, наблюдается диффузное отражение. Окрестности т. *B* являются областью смешанного отражения, поскольку наряду с диффузной составляющей здесь появляется зеркальная, т.к. угол падения потока в этой точке равен углу отражения. Значения коэффициента отражения принимают здесь существенно б*о*льшие значения. При дальнейшем движении по полуцилиндрической поверхности наблюдается вторая зона диффузного отражения. При достижении третьей характерной точки *C* касательная равна углу α, падающий луч касателен к полуцилиндрической поверхности. Далее при любой отражающей способности образца коэффициент отражения данного участка равен нулю, поскольку освещение не попадает на этот участок. Четвертой характерной точкой является точка *D* – другой край полуцилиндрической поверхности. Отмеченные на поверхности листа реальные точки его поверхности *A, B, C* и *D* на снимке проецируются соответственно в точки A', B', C' и D'.

Камера создает изображение листа в пределах точек $A' - D'$ в плоскости, перпендикулярной своей оптической оси. Яркость каждого пикселя $L_{i,k}$ на снимке пропорциональна коэффициенту отражения участка поверхности листа $\rho_{i,k}$, соответствующему данному пикселю.

Для снимка в градациях серого пиксели на снимке характеризуются определенным уровнем серого. Область смешанного отражения из-за наличия зеркальной компоненты имеет вид светлой полосы, параллельной оси цилиндра. При сохранении снимка в 8 – битном формате максимальное значение интенсивности (уровень белого) пикселя на снимке составляет 255 ед. Нулевое значение соответствует уровню черного. Пиксели, лежащие на линии, перпендикулярной оси образующего цилиндра ($i = 1...M$, где M – количество пикселей на снимке, соответствующее ширине образца) используют для определения коэффициентов отражения различных точек поверхности листа. Пиксели на параллельных оси линиях ($k = 1...K$, где K – количество пикселей на снимке, соответствующее длине образца) используют как повторности измерения, для повышения точности измерений.

Для перехода от измеренного по цифровому снимку степени серого (яркости) пикселя $L_{i,k}$ к коэффициенту отражения соответствующего ему участка поверхности образца $\rho_{i,k}$ применяют формулу линейной интерполяции

$$\rho_{i.k} = \rho_1^{эт} + (L_{i,k} - L_1^{эт})\frac{(\rho_2^{эт} - \rho_1^{эт})}{(L_2^{эт} - L_1^{эт})},$$

где $\rho_1^{эт}$ и $\rho_2^{эт}$ – коэффициенты отражения эталонов (близкие соответственно к 0 и 100 %);

$L_1^{эт}$ и $L_2^{эт}$ – яркости пикселей их изображений, измеренные по цифровому снимку.

Известные программные средства, например, программа ImageJ, позволяют визуализировать распределение полей яркости на снимке в виде кривой в прямоугольных координатах

Весной 2023 г. в искусственных условиях выращивали рассаду огурца (Cucumis Sativus). Изучали влияние спектра излучения на состояние растений. Часть растений выращивали под люминесцентными лампами (ЛЛ), часть – под светодиодными источниками (СД) с красно–синим спектром при прочих равных условиях окружающей среды.

Исследуемые листья имели ширину порядка 10 см. Цилиндр, вокруг которого оборачивали лист, имел диаметр 3 см. При поочередном изменении положения источника света получали два цифровых снимка. Калибровку производили по двум эталонам с известными коэффициентами отражения. Лист растения, стрессовое состояние которого необходимо оценить, размещали на цилиндрической поверхности. При этом достаточно, что бы лист при его плотном прилегании охватывал половину цилиндра. Центральная жилка (ось симметрии листа) должна располагаться вдоль оси цилиндра, по центру его половины.

Цифровую камеру размещали напротив центра листа, на линии, перпендикулярной оси цилиндра. Источник света, создающий параллельный поток, размещали на линии, отклоненной под углом 20° в одну сторону от линии визирования камеры (точка пересечения линий лежит на оси цилиндра). При этом угле положение участков поверхности с

диффузным и смешанным отражением максимально разнесено в пределах границ цифрового снимка, поскольку расстояние $A' \ B'$ составляет одну треть от $A' \ D'$.

Производили первый снимок камерой. Изменяли положение источника света на симметричное относительно линии визирования камеры. Производили второй снимок. Определяли яркость изображений эталонов на снимках, по известным значениям коэффициентов их отражения определяют коэффициенты отражения участков поверхности листа. При этом коэффициенты отражения участков поверхности листа определяли по яркости соответствующих пикселей на снимках вдоль линий, перпендикулярных оси цилиндрической поверхности, участки изображения поверхности листа на параллельных оси цилиндра линиях используют для получения повторностей измерений.

Распределение поля яркости на цифровом снимке визуализировали в виде кривой (индикатрисы) зависимости коэффициента отражения от линейной координаты, измеряемой вдоль прямой, перпендикулярной линии визирования камеры. На полученной кривой смешанного отражения выделяли участок резкого всплеска, соответствующую появлению зеркальной составляющей отражения, определяли положение данного участка относительно края снимка и ее размер. На том же расстоянии от другого края снимка (симметрично относительно проекции центральной жилки на указанную линейную координату) выделяли участок диффузной составляющей отражения того же размера.

Находили коэффициенты отражения для каждого выделенного участка для смешанного потока и его диффузной составляющей при первом ρ_L^c и ρ_R^∂ и втором ρ_R^c и ρ_L^∂ положении источника света.

Находили значения билатерального признака для выделенных участков листа $v_L = \frac{\rho_L^c}{\rho_L^\partial}$ и $v_R = \frac{\rho_R^c}{\rho_R^\partial}$. Для повышения точности производили повторные измерения на снимках вдоль линий, параллельных оси цилиндра.

Находили среднее значение билатерального признака $\bar{v} = \frac{v_L + v_R}{2}$, по которому судили о функциональном состоянии растения.

Находили значение ФА билатерального признака $ФА_v = \frac{|v_L - v_R|}{2\bar{v}}$, по которому судили о стабильности развития растения.

Для повышения точности определения $\bar{v}$ и $ФА_v$ находили их средние значения по повторным измерениям.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены измеренные значения коэффициентов отражения участков поверхности листа растения, выращенного под ЛЛ. Данные представлены для каждого пикселя при обоих положениях источника света.

Анализ табличных данных показывает, что резкое увеличение коэффициента отражения (появление зеркальной составляющей в смешанном отражении для условно левого участка L) наблюдается с 211 по 215 пиксель. Здесь расположен блок данных ρ_L^c.

Данные для этих же пикселей, но при другом положении источника света составляют блок ρ_L^{∂} (диффузное отражение для условно левого участка *L).* Центром симметрии снимка, соответствующим середине листа, являются пиксели 320 и 321. На том же расстоянии в 210 пиксель, но от другого края снимка, начиная с 430 пикселя и по направлению к центру симметрии, до пикселя 426, располагается зона диффузного отражения ρ_R^{∂} для условно правого участка R при положении I источника света и зона смешанного отражения этого участка ρ_R^{c} при положении II источника света.

В таблице 2 показано определение итоговых показателей и их средних значений. У растений, выращенных под ЛЛ, среднее значение билатерального признака $\bar{v}_{ЛЛ}$ =3.662 отн.ед. Величина $ФА_{v_{ЛЛ}}$ =0.0187 отн.ед.

Аналогичные измерения проводили для растений, выращенных под СД. У них среднее значение билатерального признака $\bar{v}_{СД}$ =3.837 отн.ед., т.е. отличия несущественны (менее 5%). Это означает, что спектр излучения оказал слабое влияние на изменение отражающей способности листьев, незначительно повлиял на функциональное состояние растений.

Таблица 1. Яркости пикселей

Table 1. Pixel radiance

№ пикс.	Коэфф. отражения, отн.ед.	
	Положение I	*Положение II*
1	0.000	0.000
2	0.039	0.000
3	0.130	0.000
…	…	…
209	0.550	0.198
210	0.559	0.209
211	0.861	0.232
212	0.975	0.246
213	0.981	0.264
214	0.978	0.268
215	0.950	0.269
216	0.662	0.329
…	…	…
320	0.479	0.470
321	0.472	0.481
…	…	…
425	0.331	0.658
426	0.283	0.950
427	0.274	0.974
428	0.259	0.984
429	0.255	0.951
430	0.245	0.885
431	0.212	0.560
430	0.197	0.552
…	…	…
638	0.000	0.129
639	0.000	0.040
640	0.000	0.000

L

R

ρ_L^c

ρ_L^{∂}

Ось симметрии листа

ρ_R^c

ρ_R^{∂}

Таблица 2. Определение среднего значения доли зеркальной компоненты и величины ее флуктуирующей асимметрии

Table 2. The average value of the specular component fraction and the value of its fluctuating asymmetry

№№ пикс.	ρ_L^c	ρ_L^∂	ν_L	№№ пикс.	ρ_R^c	ρ_R^∂	ν_R	$\bar{\nu}$	$ФА_\nu$
211	0.861	0.232	3.711	430	0.885	0.245	3.612	3.662	0.0135
212	0.975	0.246	3.963	429	0.951	0.255	3.729	3.846	0.0304
213	0.981	0.264	3.716	428	0.984	0.259	3.799	3.758	0.0111
214	0.978	0.268	3.649	427	0.974	0.274	3.555	3.602	0.0131
215	0.950	0.269	3.532	426	0.950	0.283	3.357	3.444	0.0254
								3.662	0.0187

Однако величина $ФА_{\nu_{СД}}$ =0.0241 отн.ед., что больше аналогичного показателя для ЛЛ на 30%. Это означает, что спектр излучения повлиял на стабильность развития растения, на тонкие механизмы управления гомеостазисом, что пока не проявилось в физиологических процессах. Увеличение *ФА* свидетельствует о менее благоприятном спектре СД по сравнению с ЛЛ.

Выводы

Предложенный способ определения индикатрис яркости заключается в том, что поочередно делают снимок цифровой камерой листа растения, расположенного на цилиндрической поверхности при различном симметричном положении источника света относительно линии визирования камеры. На полученных снимках выделяют симметричные области смешанного отражения и его диффузной составляющей. В качестве билатерального признака используют отношение коэффициентов смешанного и диффузного отражения у выделенных областей. По среднему значению величины найденного билатерального признака судят о функциональном состоянии растения, по его флуктуирующей асимметрии - о стабильности развития растения.

Разработанный для определения индикатрис яркости макет лабораторного устройства по сравнению с известными отличается простотой, низкими затратами на изготовление, большей скоростью проведения исследований. Его особенностью является повышение информативности результатов измерений за счет сохранения параметров фотометрирования на снимке, содержащем изображение фотометрируемого образца. Устройство обеспечивает цифровую фотосъемку листьев растений в отраженном свете при различных углах падения и наблюдения.

При нахождении по результатам проведения экологического мониторинга соответствующих зависимостей параметров растений от уровня действующих факторов

окружающей среды возможна оптимизация параметров окружающей среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бондарева Л.А., Суханова М.В. Оценка возможности применения методов функциональной диагностики растений для решения проблем экологического мониторинга // Биотехносфера. 2015. № 6 (42). С. 11-15

2. Ракутько Е. Н., Ракутько С. А. О возможности биоиндикации окружающей среды по флуктуирующей асимметрии оптической плотности листьев растений // Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2023. №1(69). С. 563-575. https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-62.

3. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Чернова И.В. Оценка состояния растений методами экспресс-диагностики // Аграрный вестник Урала. 2019. № 7 (186). С. 19-25. https://doi.org/10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399

4. Кулик К.Н., Исаков А.С., Новочадов В.В. Новые возможности анализа листовых пластинок деревьев-биоиндикаторов в оценке состояния окружающей среды в условиях аридной зоны // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 25-36. https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-02

5. Ракутько С. А., Васькин А. Н., Ракутько Е. Н. Применение морфо-цветометрического анализа в биоиндикации экосистем // Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 3(67). С. 445-458. https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-03-51

6. Zhang X.Z., Du P.P., He Yю, Fang H. Review of research and application for vegetation BRDF. Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi. 2017. Vol. 37(3). P. 829-835. https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2017)03-0829-07

7. Lukeš P., Neuwirthová E., Lhotáková Z., Janoutová R., Albrechtová J. Upscaling seasonal phenological course of leaf dorsiventral reflectance in radiative transfer model // Remote Sens. Environ. 2020. Vol. 246, Art. 111862. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111862

8. Sun Z., Wu D., Lv Y., Lu S. Optical properties of reflected light from leaves: A case study from one species // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2019. Vol. 57 (7). P. 4388-4406 https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2890998

9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак. 2006. 972 с. URL: http://krispen.ru/knigi/ajzenberg_01.pdf

10. Лабунец Л.В., Борзов А.Б., Ахметов И.М. Регуляризованная параметрическая модель индикатрисы коэффициента яркости шероховатой поверхности // Оптический журнал. 2019. Т. 86. № 10. С. 20-29. https://doi.org/10.17586/1023-5086-2019-86-10-20-29

11. Okayama H. How different are the indicatrixes of the leaves of various woody plant species? Applied Optics. 1996. Vol. 35. No. 18. P. 3250-3254. https://doi.org/10.1364/AO.35.003250.

REFERENCES

1. Bondareva L.A., Sukhanova M.V. Assessment the possibility of applying of methods of functional diagnostics plants for solving the problems of ecological monitoring. Biotekhnosfera = Biotechnosphere. 2015; 6(42):11-15 (In Russ.)

2. Rakutko E. N., Rakutko S. A. Possibility of bioindication of environment by the fluctuating asymmetry of leaf optical density. Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2023; 1(69): 563-575 (in Russ.). https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-62

3. Eroshenko F.V., Storchak I.G., Chernova I.V. Assessment of the state of plants by methods of express diagnostics. Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019; 7 (186): 19-25 (In Russ.) https://doi.org/10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.

4. Kulik K.N., Isakov A.S., Novochadov V.V. New opportunities for the analysis of leaf blades of bioindicator trees in assessing the state of the environment in an arid zone. Izvestiya

Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021; 1(61): 25-36 (In Russ.) https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-02

5. Rakutko S.A., Vaskin A.N., Rakutko E.N. Application of morpho-colormetric analysis in the bioindication of ecosystem. Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2022; 3(67): 445-458 (In Russ.) https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-03-51

6. Zhang X-Z., Du P.P., He Y, Fang H. Review of research and application for vegetation BRDF. 2017. Guang pu xue yu guang pu fen xi = Guang pu 37(3):829. (Chinese, English) PMID: 30160390. https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2017)03-0829-07

7. Lukeš P., Neuwirthová E., Lhotáková Z., Janoutová R., Albrechtová J. 2020. Upscaling seasonal phenological course of leaf dorsiventral reflectance in radiative transfer model. Remote Sens. Environ., vol. 246, Sep. 2020, Art. no. 111862. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111862

8. Sun Z., Wu D., Lv Y., Lu S. 2019. Optical properties of reflected light from leaves: A case study from one species. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2019; 57 (7): 4388–4406, https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2890998

9. Eisenberg Yu.B. (Ed.) Reference book on lighting engineering. M.: Znal Publ. 2006. 952 p. (In Russ.) URL: http://krispen.ru/knigi/ajzenberg_01.pdf

10. Labunets L.V., Borzov A.B., Akhmetov I.M. Regularized parametric model of the angular distribution of the brightness factor of a rough surface. Opticheskii zhurnal = Journal of Optical Technology. 2019; 86(10): 20-29. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/1023-5086-2019-86-10-20-29

11. Okayama H. How different are the indicatrixes of the leaves of various woody plant species? Applied Optics. 1996; 35 (18): 3250-3254. https://doi.org/10.1364/AO.35.003250

Об авторах

Елена Николаевна Ракутько,

научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское ш., д. 3,

elena.rakutko@mail.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3536-9639

Сергей Анатольевич Ракутько,

доктор технических наук, главный научный

About the authors

Yelena N. Rakutko, researcher, Department of Agroecology in Livestock Production,

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia

elena.rakutko@mail.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3536-9639

Sergey A. Rekutko, DSc (Engineering), chief researcher, Department of Agroecology in

сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское ш., д. 3,

sergej1964@yandex.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2454-4534

Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia

sergej1964@yandex.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2454-4534

Геннадий Валерьевич Медведев,

доктор технических наук, профессор кафедры энергообеспечения предприятий и электротехнологий Санкт-Петербургского государственного аграрного университета,

Россия, 196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, дом 2, лит. А.

genatswaly@mail.ru

Gennadi V. Medvedev, DSc (Engineering), professor, Chair of Power Supply of Enterprises and Electrical Technologies, Saint Petersburg, State Agrarian University, 196601, Saint Petersburg, Peterburgskoje Shosse, 2, Lit. A, Russia

genatswaly@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы статьи принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и поиске литературы.

Authors’contribution

All authors of this paper have directly participated in the study planning and execution, and literature survey.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests

All authors have read and approved the final version of the paper submitted.

Статья поступила в редакцию:02.06.2023

Одобрена после рецензирования:27.06.2023

Принята к публикации:30.06.2023

Received: 02.06.2023

Approved after reviewing:27.06.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.86 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-35-45

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОВОДОВ АВТОНОМНОГО БИОФЕРМЕНТАТОРА КАМЕРНОГО ТИПА

Александр Сергеевич Романов[1]✉, alarm.romanoff@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-6604-5735
Эдуард Вадимович Васильев[2], sznii6@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5793

[1,2] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В сельскохозяйственном производстве при возделывании ряда культур для достижения необходимой урожайности в рамках устоявшегося технологического процесса предусматривается внесение органических удобрений. Источником таких удобрений являются органические отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, работы животноводческих комплексов, птицеводческих предприятий, конюшен. Перед внесением удобрений в почву органические отходы сельскохозяйственных животных необходимо подвергнуть переработке. Для крестьянских (фермерских) хозяйств, малых сельскохозяйственных предприятий и конюшен среди имеющихся способов переработки с учетом достижения необходимого качества удобрения при умеренных затратах больше всего подходит переработка в установках камерного типа. Одними из важнейших факторов, влияющих на процесс ферментации отходов, являются время и скорость аэрации. Целью исследования был подбор оптимальных параметров системы аэрации автономного биоферментатора камерного типа по итогам расчета методом математического анализа. Разработана схема воздуховода автономного биоферментатора камерного типа в соответствии с предварительно выбранными параметрами установки и режимом аэрации ферментируемой смеси. Проведены расчеты необходимого расхода воздуха и напора вентилятора с учетом потерь на трение и в местных сопротивлениях участков воздуховода. Рассчитаны диаметры труб и размеры отверстий. Подобраны размеры труб из стандартного ряда. Для главного воздуховода предварительно выбрана труба размером (244,5х6) мм, для общего воздуховода выбрана труба размером (193,7,5х3) мм, перфорированные трубы размерами (70х3) мм, (73х3) мм и (76х3) мм. Диапазон диаметров отверстий перфорированных труб составил (15,5…17,5) мм. По найденным потребному напору 1656,5 Па и расходу воздуха 1834 кубометров в час, в соответствии с аэродинамической характеристикой предварительно выбран напорный вентилятор марки ВЦ 14-46-2,5 с двигателем мощностью 2,2 кВт. Приведенная методика аэродинамического расчета позволяет подобрать напорный вентилятор для камерного биоферментатора в зависимости от плотности перерабатываемой смеси, времени и скорости аэрации, размеров камеры ферментера, числа воздуходувных перфорированных труб и отверстий в них.

Ключевые слова: экологическая безопасность, технологии переработки, биоферментатор, органические удобрения, аэродинамический расчет

Для цитирования: Романов А.С., Васильев Э.В. Аэродинамический расчет системы воздуховодов автономного биоферментатора камерного типа // АгроЭкоИнженерия. 2023. №. 2(115). С. 35-46

Research article
Universal Decimal Code
УДК 631.86

AERODYNAMIC CALCULATION OF AN AIR DUCTING SYSTEM FOR AN AUTONOMOUS CHAMBER-TYPE FERMENTER

Aleksandr S. Romanov[1]✉; alarm.romanoff@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-6604-5735
Eduard V. Vasilev[2] , sznii6@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5793

[1,2]Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. Achievement of target yields of some cultivated agricultural crops requires the organic fertilization in the framework of established technological process. The fertilizers originate from the organic waste resulting from the vital activity of farm animals, operation of livestock complexes, poultry enterprises, and stables. Prior to soil application, the organic waste from farm animals should undergo the processing. The chamber-type processing installations are most suited for peasant (private) farms, small agricultural enterprises, and stables. They allow reaching the required fertilizer quality at moderate costs. The most important factors affecting the fermentation process of waste are the time and speed of aeration. The purpose of the study was to determine the optimal parameters of the aeration system for an autonomous chamber-type fermenter based on the calculation results of the mathematical analysis. The study designed an air ducting system for an autonomous chamber-type fermenter in accordance with the pre-selected installation parameters and the aeration mode of the fermented mixture. The required air flow and the fan pressure were calculated taking into account the friction loss and local resistances of the duct sections. Pipe diameters and hole sizes were calculated. The pipe sizes were selected from the standard series. A 244.5x6 mm pipe was pre-selected for the main air duct, and a 193.7.5x3 mm pipe – for the shared ductwork. The perforated pipes had the dimensions of (70x3) mm, (73x3) mm, and (76x3) mm. The diameter range of the holes of the perforated pipes was (15.5-17.5) mm. The required pressure was found to be 1656.5 Pa and air consumption – 1834 cubic meters per hour, in accordance with the aerodynamic characteristics, ВЦ 14-46-2.5 pressure fan with 2.2 kW engine was pre-selected. The given method of aerodynamic calculation allows choosing a pressure fan for a chamber fermenter depending on the density of the processed mixture, the time and speed of aeration, the size of the fermenter chamber, the number of perforated blower pipes and the holes in them.

***Key words*:** environmental safety, processing technologies, fermenter, organic fertilizer, aerodynamic calculation

For citation: Romanov A.S., Vasilev E. V. Aerodynamic calculation of an air ducting system for an autonomous chamber-type fermenter. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 35-46.(In Russ.)

Введение

Для применения органических отходов, образующихся в результате жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, в качестве удобрения, во избежание загрязнения окружающей среды необходимо осуществить переработку таких отходов [1-3].

Существует множество способов переработки органических отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных с целью получения побочных продуктов животноводства – органического удобрения. Для небольших предприятий, крестьянских (фермерских) хозяйств, конюшен в силу сбалансированных затратах и качестве итогового продукта наибольший интерес представляет переработка органических отходов в установках камерного типа [4-6].

Для протекания процесса ферментации в таких установках необходимо соблюсти ряд требований как к исходному сырью, так и к условиям протекания процесса. К таким требованиям относят влажность и плотность смеси, соотношение углерода к азоту, высота закладки смеси в камеру биоферментатора, время и скорость аэрации.

Проводись исследования по выявлению степени влияния различных факторов на процесс ферментации. Установлено, что наибольшее влияние оказывает такой фактор, как скорость аэрации [7].

По различным данным скорость аэрации будет зависеть от условий режима аэрации, конкретной смеси и применяемой установки, в результате чего может варьироваться в широком диапазоне [8, 9].

В проведенных исследованиях даны рекомендации к скорости аэрации и приведены математические модели, позволяющие определять конструктивные параметры воздухоподводящих элементов, влияющих на процесс аэрации. Однако их применимость, по большей части, ограничена конкретными видами исходных смесей и не может быть распространена на широкий диапазон органических отходов, например, для бесподстилочного помета и конского навоза [7, 10].

В рамках исследования технологического процесса переработки органических отходов в камерном биоферментаторе предлагается в качестве теоретических предпосылок к моделированию процесса аэробной ферментации органических отходов в автономной установке камерного типа провести аэродинамический расчет системы воздуховодов ферментера.

Материалы и методы

При подборе оптимальных параметров системы аэрации автономного биоферментатора камерного типа по итогам расчета применяется метод математического анализа. Дальнейшие расчеты проведены по методике[6] и адаптированы к представленной системе аэрации автономного биоферментатора камерного типа.

В процессе биоферментации подача воздуха в ферментируемую смесь колеблется от 0,6 м^3/ч на 1 кг до 4-6 м^3/ч на 1 т смеси, в зависимости от конкретной смеси и режима аэрации: постоянно или временно.

[6] Ильин В. К., Гусячкин А. М. Курсовое проектирование по теплоснабжению предприятий АПК: Учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2018. 150 с.

Для разложения 1 кг органического вещества необходимо 7,4 м^3 воздуха [7].

Высота установки берется с учетом полезной высоты слоя закладной смеси 2 метра[8]. Предварительно выбраны ширина 2,5 м, длина 2 м, исходя из конструктивных и технологических соображений по части применимости данной установки.

Примем занимаемый смесью объем 8 м^3. С учетом плотности компостируемой смеси 0,65 т/ м^3, общая масса смеси m составит 5200 кг.

Для переработки всей массы необходимый объем воздуха составит:

$$V = 7{,}4 \cdot m = 7{,}4 \cdot 5200 = 38480 \text{ м}^3 \quad (1)$$

Время переработки в установках камерного типа составляет 7-9 суток. Тогда при непрерывной аэрации в течение 8 суток необходимо 200 м^3 воздуха в час. Примем время работы вентилятора 7 минут в час или 0,12 ч.

Минимальный расход воздуха вентилятора составит:

$$Q = \frac{200}{0{,}12} = 1667 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2)$$

Задачами аэродинамического расчета системы воздуховодов ферментера являются определение размеров поперечного сечения воздуховодов и отверстий в них, определение потерь давления по всей системе воздуховодов.

Результаты и обсуждение

Предварительно задаемся количеством труб и отверстий в них исходя из анализа литературных источников и конструктивных соображений рассматриваемого ферментера (рис. 1). Необходимо добиться одинакового расхода воздуха, подаваемого через отверстия перфорированных труб к смеси, для равномерного процесса ферментации по всему объему емкости.

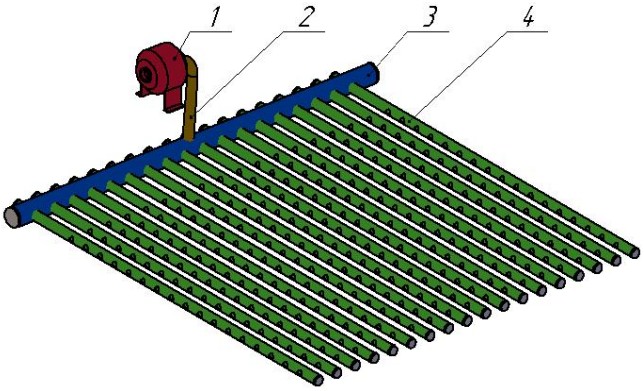


Рис. 1. Схема воздуховода автономного биоферментатора камерного типа

1 – вентилятор; 2 – главный воздуховод; 3 – общий воздуховод; 4 – перфорированные трубы.

Fig. 1. Diagram of the air duct of an autonomous chamber-type fermenter

[7] Брюханов А.Ю. Методы проектирования и критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающие экологическую безопасность: дис... докт. техн. наук. СПб.: СПбГАУ. 2017. 440 с.

[8] Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта РД-АПК 1.10.15.02-17. М.: Росинформагротех, 2017. 177 с.

1 – ventilator; 2 – main duct; 3 – shared ductwork; 4 – perforated pipes.

Рассчитаем площадь поперечного сечения главного воздуховода, м^2:

$$F_i = \frac{Q}{3600 \cdot \nu} \ , \qquad (3)$$

где ν = 11 м/с - скорость воздуха.

$$F_i = \frac{1667}{3600 \cdot 11} = 0{,}042 \ \text{м}^2$$

Площадь каждого из ответвлений общего воздуховода с учетом одинакового расхода воздуха составит:

$$F_i = \frac{833{,}5}{3600 \cdot 8} = 0{,}029 \ \text{м}^2$$

Обеспечение равного расхода воздуха по всему объему емкости ферментера будет происходить за счет различных по площади поперечного сечения труб и отверстий в них.

Площадь последнего по ходу воздуха отверстия, м^2:

$$S_1 = \frac{Q_1}{3600 \cdot m \cdot \nu} \ , \qquad (4)$$

где Q_1=833,5 м^3/ч - Расход воздуха через рассчитываемый воздуховод; m – число выпускных труб (отверстий)

Площадь i-ой выпускной трубы (отверстия), м^2:

$$S_i = B_i \cdot S_1 \ , \qquad (5)$$

Коэффициент B_i определяется по формуле:

$$B_i = \sqrt{\frac{1}{1 - \left[\frac{\mu(i-1)S_1}{S_B}\right]^2}} \ , \qquad (6)$$

где μ = 0,65 - коэффициент расхода; S_B - площадь сечения воздуховода), м^2.

По найденной площади находим диаметр трубы (отверстия):

$$d_i = \sqrt{\frac{4S_i}{\pi}} \ , \qquad (7)$$

Расчет проводился в программе Excel. По результатам расчета получили следующие размеры труб и отверстий.

Главный воздуховод d=232 мм. По ГОСТ 10704-91 принимаем трубу размером (244,5х6) мм

Два ответвления общей длины 2,5 м, диаметром d=192 мм. По ГОСТ 10704-91 принимаем трубу размером (193,7,5х3) мм.

Восемнадцать труб длиной 1,7 м по девять труб на сторону относительно главного воздуховода. Диаметр трубы уменьшается по мере отдаления от главного воздуховода.

Диапазон диаметров труб $d_{труб}$= (64…71) мм. Выбираем трубы в соответствии с ГОСТ 10704-91 размерами (70х3) мм, (73х3) мм и (76х3) мм.

В каждой из восемнадцати труб сделано семнадцать отверстий, диаметр которых уменьшается по мере отдаления от главного воздуховода.

Диапазон диаметров отверстий $d_{отв.}$ = (15,5…17,5) мм.

Подача напорного вентилятора с учетом подсосов воздуха в воздуховодах равна, м^3/ч:

$$Q_B = k_n Q \frac{273+t}{273+t_B} \ , \tag{8}$$

где k_n = 1,1 - поправочный коэффициент на подсосы воздуха в воздуховодах; t =10 °С - температура воздуха, проходящего через вентилятор; t_B=10 °С - температура воздуха в рабочей зоне помещения,

$$Q_B = 1{,}1 \cdot 1667 \frac{273+10}{273+10} = 1834 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Потребный напор вентилятора с учетом потерь давления на трение и в местных сопротивлениях участков воздуховода, Па:

$$P_B = 1{,}1\left[\Sigma(Rl+Z)+P_{Вых}\right], \tag{9}$$

где 1,1 - запас давления на непредвиденные сопротивления [3]; $\Sigma(Rl + Z)$ – потери давления на трение и в местных сопротивлениях в наиболее протяженной ветви вентиляционной сети, Па; R – удельная потеря давления на трение, Па/м; l – длина участка воздуховода, м; $Z = \Sigma\zeta P_д$ – потеря давления в местных сопротивлениях участка воздуховода, Па; $\Sigma\zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке; $P_д = \upsilon^2\rho/2$ – динамическое давление потока воздуха, Па; υ – скорость движения воздуха в воздуховоде (в магистральных линиях 10…15 м/с, в ответвлениях 6…9 м/с); ρ =1,22 кг/м3 – плотность воздуха в воздуховоде; $P_{Вых}$ – динамическое давление на выходе из сети, Па.

Удельная потеря давления на трение может быть рассчитана по формуле:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho v_{ср}^{\ 2}}{2}, \tag{10}$$

где λ - коэффициент трения воздуховода; d – диаметр воздуховода, м; $v_{ср}$ - средняя скорость, м/с.

Коэффициент трения воздуховода находим по формуле С. Ф. Копьева:

$$\lambda = \frac{0{,}014}{\sqrt[4]{d}}, \tag{11}$$

Коэффициент трения воздуховода для участков:

диаметром 192 мм

$$\lambda = \frac{0{,}014}{\sqrt[4]{192}} = 0{,}021$$

диаметром 64 мм

$$\lambda = \frac{0{,}014}{\sqrt[4]{64}} = 0{,}028$$

Удельная потеря давления на трение для участов:

диаметром 192 мм

$$R = \frac{0{,}021}{0{,}192} \cdot \frac{122 \cdot 8^2}{2} = 4{,}3 Па/м$$

диаметром 64 мм

$$R = \frac{0{,}021}{0{,}064} \cdot \frac{122 \cdot 8^2}{2} = 17 Па/м$$

Потери давления на трение для участков:

диаметром 192 мм

$$Rl = 4{,}3 \cdot 2{,}5 = 10{,}75 Па$$

диаметром 64 мм

$$Rl = 17 \cdot (1{,}7 \cdot 18) = 519{,}53 Па$$

Сумма потерь давления на трение на прямолинейных участках равна:

$$\Sigma Rl = 10{,}75 + 519{,}53 = 530{,}28 Па$$

В проектируемой системе вентиляции используются:

один отвод под углом 90°, ξ = 0,09:

$$\Sigma\zeta = 0{,}09$$

восемнадцать тройников под углом 90°, ξ = 0,7 :

$$\Sigma\zeta = 12{,}6$$

Суммарные потери давления в местных сопротивлениях определяем равны:

$$Z = (0{,}09 + 12{,}6) \cdot \frac{122 \cdot 11^2}{2} = 936{,}6 Па$$

Определим суммарные потери давления по участкам для всей системы воздуховодов:

$$\Sigma(Rl + Z) = 530{,}28 + 936{,}6 = 1466{,}88 \text{ Па}$$

Определяем давление на выходе из сети:

$$P_{Вых} = \frac{\rho v_{вых}^{\ 2}}{2}, \qquad (12)$$

$$P_{Вых} = \frac{1{,}22 \cdot 8^2}{2} = 39{,}04 \text{ Па}$$

Потребный напор вентилятора с учетом потерь давления на трение и в местных сопротивлениях участков воздуховода, Па:

$$P_B = 1{,}1[1466{,}88 + 39{,}04] = 1656{,}5 \text{ Па}$$

По найденным потребному напору и подаче осуществляется подбор вентилятора.

Необходимая мощность для привода напорного вентилятора, кВт:

$$N_B = \frac{Q_B P_B}{3{,}6 \cdot 10^6 \eta_B \eta_П}, \qquad (13)$$

где ηв – КПД вентилятора, принимаемый по его характеристике; ηп – КПД передачи (при непосредственной насадке колеса вентилятора на вал электродвигателя ηп = 1, для муфтового соединения ηп = 0,98, для клиноременной передачи ηп = 0,95).

Установленная мощность электродвигателя, кВт:

$$N_{уст} = k_З N_B, \qquad (14)$$

где $k_З$ – коэффициент запаса мощности.

$$N_B = \frac{1834 \cdot 1656,5}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 0,6 \cdot 1} = 1,53 кВт$$

$$N_{уст} = 1,2 \cdot 1,53 = 1,84 кВт$$

По найденным потребному напору и подаче, осуществляется подбор вентилятора. Пользуясь аэродинамической характеристикой, предварительно выбираем вентилятор ВЦ 14-46-2,5 с двигателем мощностью 2,2 кВт. Характеристики данного вентилятора представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики вентилятора ВЦ 14-46-2,5.
Table 1. Specifications of ВЦ 14-46-2.5 pressure fan.

Показатели	Значения
Мощность, кВт	2,2
Частота вращения, мин-1	2900
Производительность, тыс.м3 /ч	1,8 – 2,45
Полное давление, Па	1600 - 1830
Масса, кг	38

Выводы

Таким образом по предварительно выбранным размерам автономного биоферментатора камерного типа и параметрам воздуховода, по найденным потребному напору 1656,5 Па и расходу воздуха 1834 кубометров в час, в соответствии с аэродинамической характеристикой подобран напорный вентилятор марки ВЦ 14-46-2,5 с двигателем мощностью 2,2 кВт, обеспечивающий аэрацию ферментируемой смеси в соответствии с заданными требованиями. Для главного воздуховода предварительно выбрана труба размером (244,5х6) мм, для общего воздуховода выбрана труба размером (193,7,5х3) мм, перфорированные трубы размерами (70х3) мм, (73х3) мм и (76х3) мм. Диапазон диаметров отверстий перфорированных труб составил (15,5…17,5) мм.

Данная методика позволяет подобрать напорный вентилятор для камерного биоферментатора в зависимости от плотности перерабатываемой смеси, размеров камеры ферментера, числа воздуховодных труб и отверстий в них. Впоследствии планируется проверить полученные результаты экспериментальным путем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Субботин И. А., Васильев Э. В. Модель прогнозирования комплексного негативного воздействия технологий сельхозпроизводства на водные объекты // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 2. С. 227-240. https://doi.org/10.15507/2658-123.031.202102.227-240

2. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Воробьева Е. А. и др. Экологическое состояние животноводства и птицеводства Ленинградской области // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 3(100). С. 121-130. https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10194

3. Самсонов А. Н., Тончева Н. Н., Кузнецов Н. Н. К вопросу об утилизации навоза на фермах крупного рогатого скота // Инновационные технологии и современные материалы в автомобилестроении: сб. науч. тр. по материалам Междунар. заочной науч.-практ. конф., Чебоксары, 15 апреля 2016 г. / Под ред. Н. Н. Тончевой. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2016. С. 80-85.

4. Уваров Р. А. Анализ технологий переработки твердого навоза и помета, адаптированных к условиям Северо-Западного федерального округа // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 93. С. 133-146.

5. Романов А. С., Васильев Э. В. Анализ интенсивных технологий переработки побочных продуктов животноводства с внедрением альтернативных источников энергии // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 4(48). С. 90-97. https://doi.org/10.51794/27132064-2022-4-90

6. Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Уваров Р. А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 3(108). С. 128-140. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140

7. Guo R. et al. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost // Bioresource technology. 2012. Т. 112. С. 171-178. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099

8. Мамедов А. Ш., Куденко В. Б. Мобильное устройство для аэрации компостируемой массы воздушным потоком // Наука и Образование. 2020. Т. 3, № 2. С. 36.

9. Алимов А. Ю., Куденко В. Б. Результаты экспериментальных исследований потерь напора воздуха в аэрационных трубах // Наука и Образование. 2019. Т. 2, № 2. С. 199.

10. Bekchanov M., Mirzabaev A. Circular economy of composting in Sri Lanka: Opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health // Journal of Cleaner Production. 2018. Т. 202. С. 1107-1119. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.186

REFERENCES

1. Subbotin I. A., Vasilev E. V. A forecast model of the complex negative impact of agricultural production technologies on water bodies. Inzhenernye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31 (2): 227-240 (In Russ.) https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202102.227-240

2. Briukhanov A. Yu., Shalavina E. V., Vorobyeva E. A. et al. Survey of livestock and poultry farming in Leningrad Region in terms of their environmental impact. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2019; 3(100): 121-130 (In Russ.) https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10194

3. Samsonov A. N., Toncheva N. N., Kuznetsov N. N. On manure utilization on cattle farms. In: N. N. Toncheva (ed.) Innovative technologies and modern materials in the automotive industry: Proc. Int. Virtual Sci. Prac. Conf. (Cheboksary, April 15, 2016) Cheboksary: Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, 2016: 80-85 (In Russ.)

4. Uvarov R. A. Survey of solid animal and poultry manure processing technologies adapted to the North-West Federal District conditions. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2017; 93: 133-146 (In Russ.)
5. Romanov A. S., Vasilev E. V. Analysis of livestock's by-products processing intensive technologies at the alternative energy sources introducing. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock Production. 2022; 4(48): 90-97 (In Russ.) https://doi.org/10.51794/27132064-2022-4-90
6. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Uvarov R. A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad Region. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2021; 3(108): 128-140 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140
7. Guo R. et al. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. Bioresource technology. 2012; 112: 171-178 (In Eng.) https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099
8. Mamedov A. Sh., Kudenko V. B. Mobile device for aeration of compostable mass by air flow. Nauka i obrazovanie = Science and Education. 2020; 3(2): 36 (In Russ.)
9. Alimov A. Yu., Kudenko V. B. The results of experimental studies of loss of air pressure in the aeration pipes. Nauka i obrazovanie = Science and Education. 2019; 2 (2): 199 (In Russ.)
10. Bekchanov M., Mirzabaev A. Circular economy of composting in Sri Lanka: Opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health. Journal of Cleaner Production. 2018; 202: 1107-1119 (In Eng.) https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.186

Об авторах

Романов Александр Сергеевич

аспирант, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3

alarm.romanoff@yandex.ru,

ORCID: 0009-0004-6604-5735

Васильев Эдуард Вадимович

Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-

About the authors

Aleksandr S. Romanov

Post-graduate student, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia

alarm.romanoff@yandex.ru,

ORCID: 0009-0004-6604-5735

Eduard V. Vasilev, Cand. Sc. (Engineering), leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint

Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3

szniii6@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-5910-5793

Заявленный вклад авторов

А.С. Романов – разработка методики проведения исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи.
Э.В. Васильев – руководство исследованием, концептуализация, создание окончательной версии (доработка).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Статья поступила в редакцию:11.04.2023

Одобрена после рецензирования:16.05.2023

Принята к публикации:30.06.2023

Petersburg, Russia

szniii6@ya.ru

https://orcid.org/0000-0002-5910-5793

Authors'contribution

A.S. Romanov – development of research methodology, data administration, drafting the manuscript.

E.V. Vasiliev – research concept and guidance, shaping the final version of the manuscript (revision).

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Received:11.04.2023

Approved after reviewing:16.05.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 634.11:631.11 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-46-59

СРОКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНТЕНСИВНЫХ МАТОЧНО-ЧЕРЕНКОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЯБЛОНИ И ГРУШИ

Евгений Петрович Безух[1], info@petrosad.ru, https://orcid.org/0000-0002-3444-0632
Андрей Владимирович Зыков[2]✉, sznii@inrternet.ru, https://orcid.org/0000-0002-3435-7468
Вячеслав Александрович Юнин[3], vim_iaep@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8111-1727
Ксения Игоревна Егорова[4], unknown_06@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-2400-2863

[1,2,3,4]Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследований продолжительности сроков эксплуатации маточно-черенковых насаждений яблони и груши в связи с их интенсификацией. Маточно-черенковый сад яблони и груши был заложен в 2008 году на территории Красной Славянки в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Насаждения являются интенсивными, так как заложены по плотным схемам посадки – 100х150 см и 50х150 см с двумя системами формирования маточных растений – горизонтальной и вертикальной. В саду высажено 19 сортов яблони и 3 сорта груши. Выявлено, что жизнестойкость маточных растений разных сортов яблони и груши была разной. Характерно, что при схеме посадки 150х50 см маточных деревьев выпало больше, чем при схеме 150х100 см. Наиболее жизнестойкими оказались сорта яблони Коричное новое, Белорусское малиновое, Осенняя радость, Душистое, Ладога, Лавриково, Антоновка обыкновенная, Звездочка и Коричное полосатое. Если сравнивать жизнестойкость маточных растений с типом маточника, то можно с уверенностью сказать, что в горизонтальном маточнике выпадов по сортам не наблюдалось. По маточным деревьям груши установлено, что наибольшей жизнестойкостью обладали сорта Чижовская, Отрадненская и Лада. Длина однолетних ветвей при схеме посадки 150х50 см и 150х100 см существенно не отличалась и составила в среднем 124-126 см. При горизонтальной схеме формирования средняя длина прироста однолетних ветвей у яблони была существенно больше – 143 см, у груши этот показатель составил 119 см. Наибольший прирост по яблоне дали такие сорта как Коричное полосатое, Дочь папировки, Балтика, Коричное новое и Антоновка обыкновенная, по груше – Чижовская. Выход однолетних ветвей с учетом выпадов маточных растений в пересчете на 1 га при вертикальной формировке и схеме посадки 150х50 см составил в среднем 389,5 тыс. шт., при схеме 150х100 см – 292,7 тыс. шт., а при горизонтальной формировке – 539,4 тыс. шт. По груше выход составил 501,0 тыс. шт. Как видим, выход однолетних ветвей с четырнадцатилетнего интенсивного маточника, несмотря на выпады, остается высоким, а их качество вполне отвечает стандарту. Особенно высокий выход ветвей отмечен при горизонтальной формировке маточных растений. Исходя из вышеизложенных параметров, эксплуатацию четырнадцатилетнего интенсивного маточно-черенкового сада следует считать целесообразной.

Ключевые слова: маточно-черенковый сад, яблоня, груша, биометрический показатель, срок эксплуатации

Для цитирования: Безух Е.П., Зыков А.В., Юнин В.А., Егорова К.И. Сроки эксплуатации интенсивных маточно-черенковых насаждений яблони и груши // АгроЭкоИнженерия. 2023. №2(115). С. 46-59

Research article
Universal Decimal Code 634.11:631.11

USEFUL LIFE OF INTENSIVE MOTHER PLANTATIONS OF APPLE AND PEAR TREES

Evgeny P. Bezukh[1], [1] info@petrosad.ru, https://orcid.org/0000-0002-3444-0632
Andrei V. Zykov[2]✉, [2] sznii@inrternet.ru, https://orcid.org/0000-0002-3435-7468
Viacheslav A. Yunin[3], vim_iaep@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8111-1727
Ksenia I. Egorova[4] , unknown_06@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-2400-2863

[1,2,3,4] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. The article presents the study results on the duration of useful life of apple and pear tree mother plantations owing to their intensification. Apple and pear tree mother plantation was laid in 2008 on the territory of Krasnaya Slavyanka of IEEP - branch of FNAC VIM. The plantation could be considered intensive as the planting patterns were dense – 100x150 cm and 50x150 cm with two systems of mother plants formation: horizontal and vertical. 19 apple tree varieties and 3 pear tree varieties were planted. The viability of mother plants of different apple tree and pear tree varieties was revealed to differ. Specifically, more mother trees died out under the 150x50 cm planting pattern compared to the 150x100 planting pattern. The most viable apple varieties were Korichnoe novoe, Belorusskoe malinovoe, Osennyaya radost', Dushistoe, Ladoga, Lavrikovo, Antonovka obyknovennaya, Zvezdochka, and Korichnoe polosatoe. The viability of mother plants was compared in different mother plantation types, and the horizontal plantation demonstrated no plant mortality by varieties. The mother pear trees of Chizhovskaya, Otradnenskaya and Lada varieties were found to be the most viable. The length of one-year branches under the 150x50 cm and 150x100 cm planting patterns did not differ significantly and averaged 124-126 cm. Under the horizontal scheme of mother plants formation, the average length increment of one-year branches of apple trees was significantly longer – 143 cm; in pear trees this indictor was 119 cm. Such apple tree varieties as Korichnoe polosatoe, Doch' papirovki, Baltika, Korichnoe novoe, and Antonovka obyknovennaya as well as the pear tree variety Chizhovskaya demonstrated the biggest length increment of one-year branches. The output of one-year branches of apple-trees, taking into account the fallout of mother plants, in terms of 1 ha with vertical formation and the 150x50 cm planting pattern, averaged 389.5 thousand pieces, with the 150x100 cm pattern – 292.7 thousand pieces, and with horizontal formation – 539.4 thousand pieces. The output of pear tree branches amounted to 501.0 thousand pieces. The study results proved the output of one-year branches from a fourteen-year-old intensive mother plantation to remain sufficiently high, despite the plant mortality, with their quality fully meeting the standards. Particularly high

yield of branches was noted in the horizontal formation of mother plants. Based on the above parameters, the operation of fourteen-year intensive mother plantation should be considered reasonable.

Key words: mother plantation, apple tree, pear tree, biometric indicator, useful life

For citation: Bezukh E.P., Zykov A.V., Yunin V.A., Egorova K.I. Useful life of intensive mother plantations of apple and pear trees. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 46-59. (In Russ.)

Введение

Маточно-черенковые насаждения являются обязательным подразделением для всех плодопитомников. Они создаются для выращивания чистосортных черенков сортов плодовых культур свободных от вирусов и других болезней. Сорта должны быть районированными и перспективными для конкретной зоны. Черенки используются для окулировки и зимней прививки. Разнообразие почвенно-климатических условий диктует необходимость использования зональных технологических схем выращивания сортовых черенков. Использование прогрессивных технологий производства посадочного материала плодовых культур – один из основных путей интенсификации питомниководства. Главная задача питомниководства - максимально повысить продуктивность закладываемых маточников плодовых культур.

Эксперименты по закладке маточно-черенковых интенсивных насаждений плодовых культур вертикального типа проводились в Краснодарском крае [1], Московской области [2], Вологодской области [3, 4], Мичуринске [5] и других регионах страны. В ФГБНУ ФНЦ Садоводства разработана «Технология возделывания маточно-черенковых садов для размножения сортов семечковых и косточковых культур», которая позволяет получить суперинтенсивный черенковый маточник в виде сада-луга. Срок заготовки черенков в год закладки. Выход стандартных черенков – 460 тыс. шт./га. Сокращение площади маточника в 3,5-3,7 раза. Снижение себестоимости черенков в 1,3 раза [6]. В ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработана интенсивная технология размножения черенков семечковых культур для Северо-Запада РФ [7].

Схемы посадки маточно-черенковых садов рекомендуются разные, но основная тенденция направлена на сокращение расстояния между деревьями в ряду до 1,5-2 м, тогда как междурядья в интенсивных маточниках составляют 4 метра. Сроки эксплуатации интенсивных маточно-черенковых садов определены нормативами и не должны превышать 10-12 лет, для луговых маточников этот срок уменьшается до 7 лет. Однако при хорошем состоянии маточника и исходной продукции с него можно этот срок увеличить, но до каких пределов. Именно этому вопросу и посвящена данная статья.

Цель исследования

Целью исследования является определение, по биометрическим показателям маточных растений, целесообразности использования четырнадцатилетнего интенсивного черенкового сада.

Объекты и методы исследований

Все исследования проведены в опытных маточно-черенковых насаждениях Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Маточно-черенковый сад заложен в 2008 году. Схемы закладки – вертикальный тип 150х50 см, 150х100 см, горизонтальный тип 150х100 см. (рис. 1, 2, 3, 4).

Рис. 1. Вертикальный тип маточника яблони, посаженный по схеме 150х100 см
Fig.1. Vertical mother plantation of apple trees with 150x100 cm planting pattern

Рис. 2. Вертикальный тип маточника яблони, посаженный по схеме 150х50 см
Fig.2. Vertical mother plantation of apple trees with 150x50 cm planting pattern

Рис. 3. Горизонтальный тип маточника яблони, посаженный по схеме 150х100 см
Fig.3. Horizontal mother plantation of apple trees with 150x100 cm planting pattern

Рис. 4. Вертикальный тип маточника груши, посаженный по схеме 150х50 см
Fig.4. Vertical mother plantation of pear trees with 150x50 cm planting pattern

В сад высажено 19 сортов яблони и 3 сорта груши. Все маточные растения привиты на сеянцы: яблоня – Антоновка обыкновенная, груша – Северянка. Черенки обычно срезают поздно осенью до наступления сильных морозов, на одном уровне. Как правило, у средне и слаборастущих сортов на 2-3 почки, а у сильнорастущих – больше на 3-4 почки. Содержание междурядий черный пар.

Учеты, наблюдения, анализы и обработку данных в исследованиях проводили согласно общепринятой в плодоводстве методике [8]. Оценку качества саженцев яблони и груши осуществляли на основании существующего ГОСТ [9,10]. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методом дисперсионного анализа [11].

Результаты и обсуждение

В результате проведенных 14- летних исследований выявлено, что жизнестойкость маточных растений разных сортов яблони и груши была разной (табл. 1).

Таблица 1. Жизнестойкость маточных растений различных сортов яблони и груши после четырнадцатилетней эксплуатации интенсивного черенкового маточника
Table 1. Viability of mother plants of different apple and pear varieties after fourteen years of operation of the intensive mother plantation

	Культура/сорт	% живых маточных растений	% погибших маточных растений
Яблоня. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х50 см			
1	Коричное новое	100	0
2	Балтика	40	60
3	Осеннее полосатое	40	60
4	Ренет Черненко	60	40
5	Мелба	60	40

6	Башкирский красавец	80	20
7	Белорусское малиновое	100	0
	Среднее	69	31
Яблоня. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х100 см			
8	Дочь папировки	80	20
9	Осенняя радость	100	0
10	Душистое	100	0
11	Теллисааре	80	20
12	Ладога	100	0
13	Память Лаврика	80	20
14	Дружное	60	40
15	Лавриково	100	0
16	Антей	80	20
17	Антоновка обыкновенная	100	0
	Среднее	88	12
Яблоня. Горизонтальный тип маточника, схема посадки 150х100 см			
18	Звездочка	100	0
19	Коричное полосатое	100	0
	Среднее	100	0
Груша. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х50 см			
20	Лада	60	40
21	Чижовская	100	0
22	Отрадненская	80	20
	Среднее	80	20

Характерно, что при схеме посадки 150х50 см маточных деревьев выпало больше, чем при схеме 150х100 см. Наиболее жизнестойкими оказались сорта Коричное новое, Белорусское малиновое, Осенняя радость, Душистое, Ладога, Лавриково, Антоновка обыкновенная, Звездочка и Коричное полосатое. Если сравнивать жизнестойкость маточных растений с типом маточника, то можно с уверенностью сказать, что в горизонтальном

маточнике выпадов по сортам не наблюдалось. По маточным деревьям груши установлено, что наибольшей жизнестойкостью обладал сорт Чижовская затем Отрадненская и Лада.

Биометрические показатели маточных деревьев яблони и груши показали, что они зависели как от схемы посадки, так и от типа маточника (табл. 2).

Таблица 2. Биометрические показатели маточных деревьев яблони и груши осенью 2022 г.
Table 2. Biometrics of mother apple and pear plants in autumn 2022

Сорт	Объем маточного растения длина/ширина, см	Кол-во отросших за сезон ветвей, шт.	Длина ветвей, см	Диаметр ветвей, мм
Яблоня. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х50 см				
Коричное новое	70х140	48	140	9,0
Балтика	70х110	40	140	9,5
Осеннее полосатое	70х110	35	105	9,0
Ренет Черненко	80х130	50	125	9,0
Мелба	70х110	41	130	9,5
Башкирский красавец	80х120	38	115	8,5
Белорусское малиновое	70х110	42	125	9,5
Среднее	73х 119	42	126	9,1
Яблоня. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х100 см				
Дочь папировки	110х140	42	142	9,5
Осенняя радость	100х120	58	125	9,0
Душистое	100х130	55	120	8,5
Теллисааре	110х130	45	130	9,0
Ладога	100х130	52	116	8,5
Память Лаврика	110х130	50	110	9,5
Дружное	110х120	44	120	9,5
Лавриково	110х140	43	108	9,5

Антей	110х120	41	125	9,5
Антоновка обыкновенная	130х140	60	140	10,0
Среднее	109х130	49	124	9,3
Яблоня. Горизонтальный тип маточника, схема посадки 150х100 см				
Звездочка	100х140	85	140	10,0
Коричное полосатое	100х140	76	145	9,5
Среднее	100х140	81	143	9,7
Груша. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х50 см				
Лада	90х120	41	110	9,5
Чижовская	100х140	50	127	10,5
Отрадненская	100х140	48	120	9,0
Среднее	97х133	46	119	9,7
$НСР_{05}$	**-**	**2,96**	**3,58**	**0,35**

Во-первых, при более плотной схеме посадки длина куста была намного меньше в пределах 73 см, тогда как ширина маточного растения зависела всецело от сорта. Другая картина наблюдалась при схеме посадки 150х100 см, где длина маточного растения достигала в среднем 109 см. Ширина растения при этой схеме посадки не отличалась от предыдущей схемы посадки. Длина маточных растений груши была средней и составляла 97 см при ширине 133 см. Как видно из таблицы 2, длина однолетних ветвей при схеме посадки 150х50 см и 150х100 см существенно не отличалась, друг от друга и составила в среднем 124-126 см. При горизонтальной схеме формирования средняя длина прироста однолетних ветвей была существенно больше – 143 см., у груши этот показатель составил 119 см. Наибольший прирост по яблоне дали такие сорта как Коричное полосатое, Дочь папировки, Балтика, Коричное новое и Антоновка обыкновенная по груше Чижовская.

Отличались маточные деревья яблони и по выходу однолетних ветвей. Если при схеме посадки 150х50 см их было в среднем 42 шт. с дерева, то при схеме 150х100 уже 49 шт., а при горизонтальной системе формирования 81 шт. По груше выход составил в среднем 46 шт. с дерева (табл. 3).

Таблица 3. Выход однолетних ветвей яблони и груши с интенсивного маточника
Table 3. The output of one-year branches of apple and pear trees grown in the intensive mother plantation

Сорт	Выход ветвей с 1 растения, шт.	Выход ветвей в пересчете на 1 га, тыс.шт.	Выход ветвей в пересчете на 1 га с учетом выпадов,

			тыс.шт.
Яблоня. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х50 см			
Коричное новое	48	638,4	638,4
Балтика	40	532,0	212,8
Осеннее полосатое	35	465,5	186,2
Ренет Черненко	50	665,0	399,0
Мелба	41	545,3	327,2
Башкирский красавец	38	505,4	404,3
Белорусское малиновое	42	558,6	558,6
Среднее	42	558,6	389,5
Яблоня. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х100 см			
Дочь папировки	42	281,4	225,1
Осенняя радость	58	388,6	388,6
Душистое	55	368,5	368,5
Теллисааре	45	301,5	241,2
Ладога	52	348,4	348,4
Память Лаврика	50	335,0	268,0
Дружное	44	294,8	176,9
Лавриково	43	288,1	288,1
Антей	41	274,7	219,8
Антоновка обыкновенная	60	402,0	402,0
Среднее	49	328,3	292,7
Яблоня. Горизонтальный тип маточника, схема посадки 150х100 см			
Звездочка	85	569,5	569,5
Коричное полосатое	76	509,2	509,2
Среднее	81	539,4	539,4
Груша. Вертикальный тип маточника, схема посадки 150х50 см			

Лада	41	545,3	327,2
Чижовская	50	665,0	665,0
Отрадненская	48	638,4	510,7
Среднее	46	616,2	501,0
$НСР_{05}$	2,96	-	34,71

Таким образом, выход однолетних ветвей с учетом выпадов маточных растений в пересчете на 1 га при вертикальной формировке и схеме посадки 150х50 см составил в среднем 389,5 тыс. шт., при схеме 150х100 см – 292,7 тыс. шт., а при горизонтальной формировке – 539,4 тыс. шт. По груше выход составил 501,0 тыс. шт. Как видим выход однолетних ветвей с четырнадцатилетнего интенсивного маточника несмотря на выпады остается высоким, а их качество вполне отвечает стандарту. Особенно высокий выход ветвей отмечен при горизонтальной формировке маточных растений.

Выводы

В исследовании установлено что, не смотря на четырнадцатилетний возраст интенсивного маточника размер растений, остается компактным при схеме 150х50 см длина в ряду составляла в среднем 70 см, при схеме 150х100 см – 110 см при ширине маточного растения 120-130 см. Сохранность маточных растений в насаждениях зависит от схемы посадки при 150х50 см она была ниже 69 %, против 88 % при схеме 150х100 см.

Годовалые приросты маточных растений в 2022 году были высокие и составили в среднем по вариантам 124-126 см, выход однолетних ветвей, не смотря на выпады, был значительный, особенно при горизонтальной системе формировки до 539,4 тыс. шт./ га.

Исходя из вышеизложенных параметров, эксплуатацию четырнадцатилетнего интенсивного маточно-черенкового сада следует считать целесообразным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Кондратьева О.В. и др. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2019. 88 с.

2. Атажанова Е. В., Лукичева Л. А. Анализ состояния и мировые тенденции выращивания и селекции яблони // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. №160. С. 76-85. https://doi.org/10.36305/2712-7788-2021-3-160-76-85

3. Краюшкина Н.С. Становление товарного садоводства на Северо-Западе Нечерноземья и роль Ленинградской плодоовощной опытной станции в развитии отрасли садоводства // Садоводство Северо-Запада России: история и перспективы развития. Сб. науч. тр., посвященный 80-летию со дня основания Государственного научного учреждения «Ленинградская плодоовощная опытная станция». СПб. 2011. С. 5-25.

4. Салихов М.М. Производственный опыт выращивания плодовых культур путем зимней прививки в условиях Вологодской области // Садоводство Северо-Запада России: история и перспективы развития. Сб. науч. тр., посвященный 80-летию со дня основания

Государственного научного учреждения «Ленинградская плодоовощная опытная станция». СПб., 2011. С. 103-112.

5. Дубровский М.Л., Соболева К.О., Хорошкова Ю.В. Особенности развития листовой поверхности у новых клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ на маточнике // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 2. URL: http://opusmgau.ru/index.php/see/issue/view/19

6. Куликов И.М., Минаков И.А. Приоритетные направления развития садоводства в условиях импортозамещения: монография. Москва: ВСТИСП. 2020. 114 с.

7. Безух Е.П. Интенсивные технологии выращивания привойного материала в маточно-черенковых насаждениях семечковых культур на Северо-Западе РФ. СПб.: ИАЭП, 2018. 121 с.

8. Прудников П.С., Ожерельева З.Е. Физиолого-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии (методические рекомендации). Орел: ВНИИСПК, 2019. 46 с.

9. Коршунов С.А., Любоведская А.А., Асатурова А.М. и др. Органическое сельское хозяйство: инновационные технологии, опыт, перспективы. М.: Росинформагротех, 2019. 92 с.

10. Безух Е.П. Новые подходы к выращиванию саженцев плодовых культур при сочетании защищенного и открытого грунта // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. №91. С. 92-104. https://doi.org/10.24411/0131-5226-2017-00005

11. Дисперсионный анализ: соединение теории и практики. [Электронный ресурс]. URL: https://function-x.ru/statistics_dispersion_analysis.html (дата обращения 11.04.2023)

REFERENCES

1. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Kondrateva O.V. et al. Analysis of the state and future directions of development of nursery planting and horticulture: a scientific analytical review. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019. 88 p. (In Russ.)

2. Atazhanova E. V., Lukicheva L. A. Analysis of the state and global trends in the cultivation and breeding of apple trees. Biologiya rastenii i sadovodstvo: teoriya, innovatsii = Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2021; 3(160): 76-85. (In Russ.) https://doi.org/10.36305/2712-7788-2021-3-160-76-85

3. Krayushkina N.S. Formation of commercial horticulture in the North-West of Non-Chernozem region and the role of the Leningrad Fruit and Vegetable Experiment Station in the development of horticulture.In: Sadovodstvo Severo-Zapada Rossii: istoriya i perspektivy razvitiya = Horticulture in the North-West of Russia: history and prospects of development. Coll. Sci. Papers devoted to the 80th anniversary of the state scientific institution “Leningrad Fruit and Vegetable Experimental Station”. Saint Petersburg. 2011: 5-25. (In Russ.)

4. Salikhov M.M. Production experience of growing fruit crops by winter grafting under the conditions of the Vologda Region. In: Sadovodstvo Severo-Zapada Rossii: istoriya i perspektivy razvitiya = Horticulture in the North-West of Russia: history and prospects of development. Coll. Sci. Papers devoted to the 80th anniversary of the state scientific institution “Leningrad Fruit and Vegetable Experimental Station”. Saint Petersburg. 2011: 103-112 (In Russ.)

5. Dubrovskii M.L., Soboleva K.O., Khoroshkova Yu.V. Peculiar features of leaf surface development in new clonal rootstocks of apple trees bred at Michurinsky State Agrarian University

on the mother plantation. Nauka i Obrazovanie = Science and Education. 2021; 4 (2) (In Russ.) URL: http://opusmgau.ru/index.php/see/issue/view/19
6. Kulikov I.M., Minakov I.A. Priority directions for the development of horticulture in the context of import substitution: monograph. Moscow: VSTISP. 2020. 114 p. (In Russ.)
7. Bezukh E.P. Intensive technologies for growing graft material in mother plantations of pome crops in the North-West of the Russian Federation. Saint Petersburg: IEEP. 2018. 121 p. (In Russ.)
8. Prudnikov P.S., Ozhereleva Z.E. Physiological and biochemical methods for diagnosing resistance of fruit crops to drought and hyperthermia (guidelines). Orel: VNIISPK, 2019. 46 p. (In Russ.)
9. Korshunov S.A., Lyubovedskaya A.A., Asaturova A.M. et al. Organic agriculture: innovative technologies, experience, prospects. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019. 92 p. (In Russ.)
10. Bezukh E.P. New approaches to fruit crop seedlings growing in combination of protected and open ground. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2017; 91: 92-104. (In Russ.) https://doi.org/10.24411/0131-5226-2017-00005
11. Analysis of variance: Connecting theory and practice. Available at: https://function-x.ru/statistics_dispersion_analysis.html (accessed 11.04.2023) (In Russ.)

Об авторах

Евгений Петрович Безух

канд. с/х наук; ведущий специалист, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское ш., д. 3)

info@petrosad.ru

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3444-0632

Андрей Владимирович Зыков

научный сотрудник, отдел агроэкологии в садоводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское ш., д. 3)

About the authors

Evgeny P. Bezukh, Cand. Sc. (Agriculture), lead specialist, Advisory and Expert Department, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

info@petrosad.ru

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3444-0632

Andrei V. Zykov, researcher, Department of Agroecology in Horticulture,

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

sznii@inrternet.ru, ResearcherID: A-7155-2015,

sznii@inrternet.ru, ResearcherID: A-7155-2015,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3435-7468

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3435-7468

Вячеслав Александрович Юнин

канд. техн. наук; старший научный сотрудник, отдел агроэкологии в садоводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское ш., д. 3)

vim_iaep@mail.ru, ResearcherID: A-7155-2015,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8111-1727

Viacheslav A. Yunin, Cand. Sc. (Engineering), senior researcher, Department of Agroecology in Horticulture

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

vim_iaep@mail.ru

ResearcherID: A-7155-2015,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8111-1727

Ксения Игоревна Егорова

младший научный сотрудник, отдел агроэкологии в садоводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское ш., д. 3)

Unknown_06@list.ru

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2400-2863

Ksenia I. Egorova, junior researcher, Department of Agroecology in Horticulture, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

Unknown_06@list.ru

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2400-2863

Заявленный вклад авторов

Е.П. Безух – научное руководство, формулирование основной концепции исследования и структуры статьи, написание первоначального варианта статьи;

В.А. Юнин – обработка и анализ

Authors’contribution

E.P.Bezukh – research concept and guidance, structuring and drafting the manuscript.

V.A. Yunin – analysis of experimental data, review of literature, conclusions.

A.V. Zykov – experiments and outcomes analysis

экспериментальных данных, анализ научных источников, формулирование выводов;

А. В. Зыков – участие в исследованиях и обработка экспериментальных данных

К.И. Егорова – участие в исследованиях и обработка экспериментальных данных

K.I. Egorova – experiments and outcomes analysis

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Статья поступила в редакцию: 01.03.2023

Одобрена после рецензирования:26.05.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

Received: 01.03.2023

Approved after reviewing: 26.05.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.153;631.36 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-59-69

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА СУШИЛОК ЗЕРНА

Александр Мартынович Валге[1], [1] valgeam@yandex.ru
Виктор Александрович Смелик[2] , smelik_va@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5004-9457
Александр Николаевич Перекопский[3]✉ , aperekopskii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

[1,2,3] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Зерновые культуры являются одними из важнейших продовольственных и кормовых культур в мире. Основными задачами послеуборочной обработки зерна являются: сохранение зерна без потерь, доведение его качества до норм, установленных

государственными стандартами в зависимости от назначения, обеспечивающих состояние зерна стойкого для хранения. В работе рассмотрена возможность использования нескольких типов зерновых сушилок, наиболее характерных для сушки высоковлажного зерна в условиях Северо-Запада России. Как рассмотренные варианты предлагаются: бункерные передвижные сушилки, позволяющие оперативно решать вопросы сушки (подсушки) зерна, рассредоточенного малыми партиями по разным местам обработки и хранения; карусельные стационарные, обеспечивающие сушку средних партий семенного, продовольственного и фуражного зерна; шахтные стационарные сушилки для обработки больших партий зерна и семян. Отмечается, что наиболее важным этапом выбранного линейного программирования является постановка задачи, включающая выбор неизвестных и критериев, систематизацию исходной информации, экономическую или техническую интерпретацию неизвестных, коэффициентов при них, свободных членов и целевой функции. Из полученного оптимального решения при использовании системы EXCEL следует, что для среднего хозяйства Северо-Западного региона (на примере Ленинградской области) необходима производительность сушилок 20 т/ч, в т.ч. предприятие должно иметь бункерную передвижную сушилку пропускной способностью 5 плановых тонн в час, карусельную сушилку пропускной способностью 3 плановые тонны в час и шахтную сушилку пропускной способностью 12 плановых тонн в час. При этом будет допущен самый минимальный ущерб (7,28%) от повреждений и отходов зерна.

Ключевые слова: математическая модель, сушка зерна, линейное программирование, карусельная сушилка

Для цитирования: Валге А.М., Смелик В.А., Перекопский А.Н. Математическая модель обоснования типоразмерного ряда сушилок зерна // АгроЭкоИнженерия. 2023. №2(115). С. 59-70

Research article
Universal Decimal Code УДК 631.153;631.36

MATHEMATICAL MODEL FOR SUBSTANTIATION OF STANDARD SERIES OF GRAIN DRYERS

Aleksandr M. Valge[1], [1] valgeam@yandex.ru
Viktor A. Smelik[2], smelik_va@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5004-9457
Alexandr N. Perekopskiy[3]✉ , aperekopskii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

[1,2,3] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. Cereals are one of the most important food and fodder crops in the world. The main objectives of the post-harvest grain treatment are to preserve the grain without losses, to improve its quality to meet the requirements of its usage-dependent state standards, and to ensure the grain storage resistance. The study considered the applicability of several types of most common grain dryers for high-moisture grain in the conditions of the North-West Russia. The investigated options were hopper mobile dryers that allowed to quickly address the issues of drying or preliminary drying of grain found in small batches in different handling and storage places;

stationary rotary dryers designed to dry the medium batches of seed, food, and fodder grain; and stationary column dryers for large batches of grain and seeds. Linear programming was applied as a computational mathematical method. The mathematical model included the following dryer parameters: drying capacity, energy intensity, metal consumption and the efficiency of supplied heat use. The objective function determining the damageability and waste of grain should take on the smallest value. The EXCEL system was used for calculations. The resulting optimal solution showed that an average farm in the North-West Russia (by the example of the Leningrad Region) in terms of the grain production required the dryer capacity to be 20 t/h. This farm should have a mobile hopper dryer with a throughput of 5 planned tons per hour, a rotary dryer with a throughput of 3 planned tons per hour, and a column dryer with a throughput of 12 planned tons per hour. This case allowed for the smallest damage of 7.28% from grain injury and waste.

Key words: mathematical model, grain drying, linear programming, universal dryer

For citation: Valge A.M., Smelik V.A., Perekopskiy A.N. Mathematical model for substantiation of standard series of grain dryers. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 59-70.(In Russ.)

Введение

Зерновые культуры являются одними из важнейших продовольственных культур в мире. Для продовольственного и семенного зерна сушка до безопасного хранения зависит от нескольких факторов. Имеется несколько факторов, которые играют значительную роль в сушке зерна и применяемом оборудовании. Эти факторы включают температуру окружающего воздуха, относительную влажность воздуха, расход воздуха сушилкой, скорость воздуха внутри слоя зерна, начальное содержание влаги в зерне, продолжительность сушки и «отлежки» (выдержки и охлаждения), а также различные конструкции сушилок [1, 2].

Основными задачами послеуборочной обработки зерна являются: сохранение зерна без потерь, доведение его качества до норм (кондиций), установленных государственными стандартами в зависимости от назначения, обеспечивающих состояние зерна стойкого для хранения [1, 3, 4].

В увлажненных регионах России, к которым относится и Северо-Западный регион, вследствие неблагоприятных погодных условий, уборку зерновых культур приходится проводить при повышенной влажности, высокой засоренности посевов и неоднородности семян основной культуры по степени их созревания. В результате этого зерновой ворох, поступающий на пункты его послеуборочной обработки, имеет высокую влажность, засоренность и большое количество недозревших и травмированных семян основной культуры [2, 5, 6].

Что лучше - иметь одну сушилку пропускной способностью 20 пл.т/ч (например, типа С-20) или несколько сушилок классом поменьше, но которые в сумме обеспечивают те же 20 пл.т/ч.

Ясно, что в условиях, когда сушки одновременно требует зерно разных видов (причем не в равнозначных количествах), выгоднее иметь несколько сушильных линий. Это тем более необходимо, если приходится разделять зерно по сортам, репродукциям и другим потребительским свойствам. Кроме того, мощные сушилки (а они, как правило, стационарные шахтного типа) не в состоянии сушить зерно, поступающее малыми партиями

в объемах, меньших пусковых порций (меньших одной полной или 2/3 загрузки шахт), что случается часто при необходимости сушки зернобобовых, масличных, мелкосеменных и других культур.

Если ориентироваться на несколько сушильных линий, то следует определиться, сколько должно их быть в хозяйстве, какого типа и мощности, т.е. решить вопрос о типаже. Общее количество возможных вариантов достигает большого количества и теоретически стремится к бесконечности. Поэтому для решения поставленных задач необходимо выбрать наиболее подходящий метод, разработать математические модели и выбрать соответствующее программное обеспечение.

Решением многовариантных задач занимаются различные поисковые методы, объединенные в научное направление, получившее название «Исследование операций». В качестве расчетных методов используются различные направления математического программирования. Основными из них являются линейное, нелинейное, динамическое программирование, методы имитационного моделирования, градиентные методы, все методы теории массового обслуживания, теории управления запасами. Наиболее разработанным направлением является использование методов математического программирования (линейного, нелинейного), что предполагает разработку соответствующих задач, отвечающих основным требованиям данных методов [7, 8, 9].

В математическом смысле эта задача (определение количества, типажа, производительности сушилок) после изложенного выше сводится к типичной распределительной, которая может быть успешно решена методами линейного программирования [7, 10, 11].

Материалы и методы

Известны различные типы сушилок, отличающиеся не только технологическим процессом, но и конструкцией. Это шахтные, бункерные, колонковые, карусельные, барабанные, лотковые, напольные, закромные, непрерывного и периодического действия, передвижные и стационарные, прямоточные и противоточные и т.д [1, 2, 12]. Известны также многочисленные комбинации указанных типов. Вызвано это стремлением уменьшить неравномерность сушки и повреждаемость зерна, лучше использовать энергоресурсы, приспособить сушилки к обработке зерновых культур, значительно разнящихся по своим физико-механическим и тепловым параметрам, меньше тратить ресурсов на их изготовление, повысить мобильность. Тем не менее, в практике большинства стран мира, в том числе и в России, наибольшее распространение из сушилок заводского изготовления получили первые три как наиболее производительные, надежные, простые в изготовлении и обслуживании, обладающие достаточно высокими технологическими, экономическими, энергетическими и другими потребительскими качествами. Понятно, что и эти три типа сушилок по своим технико-экономическим показателям неравноценны, более того, одни из них выигрывают, скажем, в энергоемкости процесса, но проигрывают в металлоемкости, другие - по качеству сушки и т.д.

Таким образом, оказывается, что одним каким-то типом сушилки обойтись также невозможно, но поскольку в прогнозах на будущее [1, 2] не усматривается коренного перехода на какие-то другие типы сушилок, а широко распространены в Северо-Западном регионе РФ шахтные, бункерные и карусельные, то их и заложим в расчет, т.е. примем, что хозяйствам необходимо иметь: 1) бункерные передвижные сушилки, позволяющие

оперативно решать вопросы сушки (подсушки) зерна, рассредоточенного малыми партиями по разным местам обработки и хранения, а также обеспечивающие регулируемый режим сушки по температуре нагрева зерна; 2) карусельные стационарные, обеспечивающие сушку средних партий семенного, продовольственного и фуражного зерна; 3) шахтные стационарные сушилки для обработки больших партий зерна и семян.

Возникает вопрос, какие из параметров сушилок следует заложить в разрабатываемую модель, чтобы она была максимально адекватна условиям задачи и отвечала производственным потребностям? На первом месте, очевидно, надо поставить производительность, на втором - энергоемкость, на третьем - металлоемкость, на четвертом - степень использования подводимого тепла на нагрев зерна. Совокупным результатом действия указанных показателей, определяющих технологический уровень той или иной сушилки, т.е. критерием сушки, должно стать качество сушки, включающее оценку повреждаемости и отходов зерна. Можно, конечно, привести и другие, менее важные показатели, однако всякое увеличение числа показателей усложняет модель, но самое главное, понижает устойчивость получаемого решения, т.е. приводит к уменьшению резервов, необходимых в случае изменения некоторых параметров задачи [1, 5, 6, 12].

Поскольку в линейном программировании решение задач связано с распределением (использованием) каких-то ресурсов, а они, как правило, ограничены, то в изначальном виде модель строят в виде системы ограничений (неравенств) и дополняют ее целевой функцией, т.е. любая модель должна состоять из двух частей: системы ограничений и целевой функции.

Для математической записи изложенного в развернутом виде общеприняты следующие обозначения:

1) искомые неизвестные:

$x_1, x_2, \ldots, x_p$ или x_j, где j - номер неизвестной ($j= 1, 2,\ldots, p$), в нашем случае обозначаем x_1 - пропускную способность (производительность) бункерной сушилки, пл.т/ч; x_2 - пропускную способность карусельной сушилки, пл.т/ч; x_3 - пропускную способность шахтной сушилки, пл.т/ч. В отличие от $p = 3$ неизвестных количество n переменных в модели значительно больше. Это будет видно из дальнейших построений;

2) имеющиеся в наличии производственные ресурсы (свободные члены в неравенствах): $b_1, b_2, \quad , b_m$ или b_i, где i - номер ресурса (неравенства), в нашем случае b_1 - совокупная потребная производительность всех сушилок сельскохозяйственной организации, пл.т/ч; b_2 - допустимый часовой расход топлива всеми сушилками одновременно, кг/ч; b_3 - допустимая конструктивная масса всех сушилок, кг; b_4 - сумма недоиспользованных для нагрева зерна эффективных температур, град.пл. т/ч;

3) нормы производственных затрат (удельные показатели сушилок или коэффициенты a_{ij} при неизвестных, где i - номер ресурса, а j - номер неизвестной;

4) оценка единицы продукции (оценка эффективности функционирования сушилок) или коэффициенты $c_1, c_2, \ldots, c_n$ (или c_j) при неизвестных в целевой функции. В нашем случае они определяют повреждаемость и отходы зерна.

Имея эти обозначения и учитывая производственную желательность использования того или иного резерва, задачу (модель) линейного программирования в общем развернутом виде можно записать так: найти максимум (или минимум)

$c= c_1x_1 + c_2x_2 + c_px_p$

при условиях

$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1p}x_p \geq b_1$

$$
\begin{aligned}
&a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2p}x_p \le b_2 \\
&\ldots \\
&a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mp}x_p \le b_m \qquad (1) \\
&x_1 \ge 0;\ x_2 \ge 0;\ \ldots;\ x_p \ge 0;
\end{aligned}
$$

Первое неравенство системы (1) определяет производительность сушилки. Поэтому желательно, чтобы она была по возможности больше, но ни в коем случае не меньше некоторого уровня, что и определяется символикой записи. Другие неравенства определяют энергоемкость, металлоемкость и недоиспользование эффективных температур. Эти показатели желательно иметь как можно меньшими, и они не должны превышать заданных величин.

Целевая функция, определяющая повреждаемость и отходы зерна, тоже должна стремиться к минимуму, так как желательно эти технологические последствия иметь наименьшими: Последняя строка системы уравнений (1) определяет, что найденные неизвестные должны быть положительными.

Результаты исследования

На следующем этапе по имеющейся информации устанавливаем, численные значения коэффициентов a_{ij}, b_i, и c_j. В табл. 1 приведены эти коэффициенты по данным технических характеристик сушилок, исследований авторов и других материалов [1, 5, 6, 12].

Таблица 1. Показатели зерновых сушилок
Table 1. The indicators of grain dryers

Показатели	Ед. изм.	Удельные показатели (на 1 пл.т/ч производительности) сушилок (коэффициенты a_{ij})			Ограничения или ресурсы b_i
		бункерных x_1	карусельных x_2	шахтных x_3	
Производительность	пл.т/ч	1	1	1	20
Расход топлива	кг/ч	8,26	8,32	8,05	162,76
Конструктивная масса	кг	806	1223	1301	23400
Сумма недоиспользуемых эффективных температур	град.пл. т/ч	24,3	5,5	15,9	326,6
Повреждаемость и отходы зерна (c_j)	%	0,74	0,67	0,14	-

Первые три показателя общеизвестны и не требуют дополнительных пояснений. Четвертый показатель введен Карташевичем С.М. [13]. По его мнению (и коллектив авторов согласен с этим утверждением), четвертый показатель определяет степень совершенства передачи тепла от теплоносителя к материалу в заданном установившемся режиме работы сушилки, т.е. по сути дела дает оценку использования тепла, непосредственно направляемого на нагрев зерна. В известной мере этот показатель характеризует и в целом совершенство конструкции данного типа сушилки, а именно: даст оценку технологической организации движения потоков теплоносителя и зерна. Чем меньше его удельная величина, тем лучше организованы потоки. Не случайно этот удельный показатель наименьший у карусельных сушилок. Как известно [6, 12], карусельные сушилки лучше других способны осуществлять «мягкий» режим сушки без заметного ущерба для качества высоковлажного зерна, и это благодаря тому, что в процессе сушки использован противоточный способ движения теплоносителя и материала. Размерность этой удельной величины (градус Цельсия) определяется разностью между предельно допустимой температурой нагрева зерна (60°С) и фактически достигаемой той или иной сушилкой в процессе заданного установившегося режима сушки. Произведение этой разности на производительность сушилки покажет остаток недоиспользуемых ею эффективных температур (град.пл.т/ч). По последнему показателю можно судить о совершенстве теплопередачи в разных сушилках. Чем остаток больше, тем хуже процесс.

Ограничения (ресурсы) получены как произведения средних показателей известных сушилок на величину совокупной паспортной пропускной способности всех сушилок, которую мы уже определили [1, 3], она равна 20 пл.т/ч. Естественно, что ограничения могут иметь и другие значения, однако мы остановились на таком методе их определения исключительно из-за того, что это достаточно доступно, а результат в достаточно приемлемом виде получается увязанным с современным техническим уровнем средств сушки зерна.

В результате изложенного получаем следующую конкретную модель линейного программирования для решения задачи о типаже зерносушилок.

$$
\begin{aligned}
& x_1 + x_2 + x_3 \geq 20 \\
& 8{,}26\, x_1 + 8{,}32 x_2 + 8{,}05 x_3 \leq 162{,}76 \\
& 806\, x_1 + 1223 x_2 + 1301 x_3 \leq 23400 \\
& 24{,}3\, x_1 + 5{,}5 x_2 + 15{,}9 x_3 \leq 326{,}6 \qquad (2) \\
& \ldots \\
& c = 0{,}74 x_1 + 0{,}67 x_2 + 0{,}14 x_3 \rightarrow min
\end{aligned}
$$

Путем известных методов эту модель преобразуем в следующую систему линейных уравнений (систему условий) и целевую функцию:

$$
\begin{aligned}
& x_1 + x_2 + x_3 + y_1 = 20 \\
& 8{,}26\, x_1 + 8{,}32 x_2 + 8{,}05 x_3 + x_5 = 162{,}76 \\
& 806\, x_1 + 1223 x_2 + 1301 x_3 + x_6 = 23400 \\
& 24{,}3\, x_1 + 5{,}5 x_2 + 15{,}9 x_3 + x_7 = 326{,}6 \qquad (3) \\
& \ldots \\
& c = 0{,}74 x_1 + 0{,}67 x_2 + 0{,}14 x_3 + M y_1 \rightarrow min
\end{aligned}
$$

Для решения задачи используется система EXCEL в режиме «Поиск решения». Работа с программой производится в соответствии с инструкциями по работе с системой EXCEL [7].

Оптимизационный вариант решения задачи представлен на рис. 1.

	П Е Р Е М Е Н Н Ы Е					
	x1	x2	x3			
	Бункерная	Карусельная	Шахтная			
Решение	4,79	3,03	12,17			цел.фун.
Повр.отходы(коэф.цел.функ.)	0,74	0,67	0,14	min		7,28
	О Г Р А Н И Ч Е Н И Я			лев.часть	знак	
Расход топлива, кг/ч	8,26	8,32	8,05	162,7425	≤	162,76
Конструкционная масса, кг	806	1223	1301	23400,00	≤	23400,00
Сумма недоисп.эфф.темп.	24,3	5,5	15,9	326,6	≤	326,6
Производительность	1	1	1	19,99	=	19,99

Рис. 1. Математическая модель решения оптимизационной задачи в EXCEL

Fig.1. Mathematical model for solving an optimization problem in EXCEL

При заданной целевой функции – минимум повреждений зерна или снижения доброкачественности оптимизационным решением будет 7,28%. Коэффициенты x_i получились следующие: x_1 = 4,79 - бункерная сушилка, x_2 = 3,03 - карусельная сушилка, x_3 = 12,17 - бункерная сушилка. Решение модели проверено на устойчивость.

Выводы

В условиях Северо-Западного региона России, когда сушки одновременно требует зерно разных видов (причем не в равнозначных количествах), выгоднее иметь несколько сушильных линий. Это тем более необходимо, если приходится разделять зерно по сортам, репродукциям и другим потребительским свойствам.

Из полученного оптимального решения следует, что для среднего хозяйства Северо-Западного региона (на примере Ленинградской области) необходимо иметь бункерную передвижную сушилку пропускной способностью 5 пл.т/ч, карусельную – 3 пл.т/ч и шахтную пропускной способностью 12 пл.т/ч. При этом будет допущен самый минимальный ущерб (7,28%) от повреждений и отходов зерна.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Галкин В.Д., Галкин А.Д. Технологии, машины и агрегаты послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021. 234 с.

2 Stanisavljević R., Milenković J., Djokić D., Terzić D., Petrović D., Djukanović L., Dodig D. Drying of meadow fescue seeds of different moisture contents: changes in dormancy and germination // Plant Soil and Environment, 2018. Vol. 59 (1). P. 37-43. https://doi.org/10.17221/551/2012-PSE

3. Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я. Перспективные технологии послеуборочной обработки и хранения зерна. М.: Юрайт. 2020. 194 с.

4. Savinykh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S. Development and theoretical studies of grain cleaning machine for fractional technology of flattening forage grain. In: Engineering for Rural Development. Proc. 17th Int. Sci. Conf. (May 23-25 Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2018. Vol. 17. P. 124-130. https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N156

5. Чеботарев В.П. Механико-технологические основы совершенствования комплексов машин для послеуборочной обработки зерна. Дис. …. д-ра техн. наук. Минск, 2015. 431 с.

6. Smelik V.A., Perekopskiy A.N., Dobrinov A.V., Chugunov S.V. Study of the efficiency of drying grass seeds for forage crops on a rotary dryer // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262, Art. 01037. . https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201037

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

8. Шапкин А.С., Шапкин В.А. Теория риска и моделирование рисковых ситуаций: Учебник для бакалавров. М.: Дашков и К°, 2019. 880 с.

9. Игнатьев М. Б. и др. Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний. СПб.: Политех-Пресс, 2018. 501 с.

10. Гуменюк К.Г., Пылькин А.Н. Применение линейного программирования при управлении процессом распределения кредитных заявок для выполнения бизнес-плана / Вестник РГРТУ. 2020. № 74. С. 73-79. .https://doi.org/10.21667/1995-4565-2020-74-73-79

11. Леонова Н. Л. Задачи линейного программирования и методы их решения. Учебно-методическое пособие. СПб.: Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД. 2017. 75 с.

12. Перекопский А.Н. Карусельная сушилка высоковлажных семян // Сельский механизатор. 2015. № 5. С. 6-7.

13. Карташевич С.М. Механико-технологические основы повышения эффективности механизированных комплексов для послеуборочной обработки зерна и семян. Минск. 2001. 288 с.

REFERENCES

1. Galkin V.D., Galkin A.D. Technologies, machines and units for post-harvest treatment of grain and seed preparation. Perm': Prokrost Publ., 2021. 234 p. (In Russ.)

2. Stanisavljević R., Milenković J., Djokić D., Terzić D., Petrović D., Djukanović L., Dodig D. Drying of meadow fescue seeds of different moisture contents: changes in dormancy and germination. Plant Soil and Environment, 2018; 59 (1): 37-43 (In Eng.) https://doi.org/10.17221/551/2012-PSE

3. Fedorenko V.F., Goltyapin V.Ya. Perspective technologies of postharvest handling and storage of grain. Moscow: Yurait Publ. 2020. 194 p. (In Russ.)

4. Savinykh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S. Development and theoretical studies of grain cleaning machine for fractional technology of flattening forage grain. In: Engineering for Rural Development. Proc. 17th Int. Sci. Conf. (May 23-25 Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2018; 17: 124-130 (In Eng.) https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N156

5. Chebotarev V.P. Mechanical and technological basis for improving the complexes of machines for post-harvest handling of grain. DSc (Engineering) thesis. Minsk, 2015. 431 p. (In Russ.)

6. Smelik V.A., Perekopskiy A.N., Dobrinov A.V., Chugunov S.V. Study of the efficiency of drying grass seeds for forage crops on a rotary dryer. E3S Web of Conferences. 2021; 262, Art. 01037 (In Eng.) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201037

7. Kerimov M.A., Valge A.M. Optimization and decision making in agroengineering. Moscow: Kolos-s Publ., 2021. 502 p. (In Russ.)

8. Shapkin A.S., Shapkin V.A. Risk theory and modeling of risk situations: Textbook for Bachelors. Moscow: Dashkov and K°, 2019. 880 p. (In Russ.)

9. Ignatiev M. B. et al. Modeling of weakly formalized systems based on explicit and implicit expert knowledge. Saint Petersburg: Politekh-Press, 2018. 501 p. (In Russ.)

10. Gumenyuk K.G., Pyl'kin A.N. Application of linear programming to manage the process of distributing loan applications for optimized business plan execution. Vestnik RGRTU = Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University. 2020; 74: 73-79 (In Russ.) https://doi.org/10.21667/1995-4565-2020-74-73-79

11. Leonova N. L. Tasks of linear programming and methods of their decision. Educational and methodical manual. Saint Petersburg: Vysshaya shkola tekhnologii i energetiki SPb GUPTD. 2017. 75 p. (In Russ.)

12. Perekopskiy A.N. Rotary high-moisture seeds drier. Sel'skii mekhanizator = Agricultural Machine Operator. 2015; 5: 6-7. (In Russ.)

13. Kartashevich S.M. Mechanical and technological bases of increasing the efficiency of mechanized complexes for post-harvest treatment of grain and seeds. Minsk. 2001. 288 p. (In Russ.)

Об авторах

Александр Мартынович Валге,

доктор технических наук, профессор, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево,

Санкт-Петербург, 196634, Россия; valgeam@yandex.ru

Виктор Александрович Смелик,

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, отдел агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево,

Санкт-Петербург, 196634, Россия.

smelik_va@mail.ru;

https://orcid.org/0000-0002-5004-9457

Александр Николаевич Перекопский

канд. техн. наук, доцент, отдел

About the authors

Aleksandr M. Valge, DSc (Engineering), professor, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

valgeam@yandex.ru

Viktor A. Smelik, DSc (Engineering), professor, leading researcher, Department of Agroecology in Plant Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

smelik_va@mail.ru;

https://orcid.org/0000-0002-5004-9457

Alexandr N. Perekopskiy, Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, Department of

агроэкологии в растениеводстве,

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево,

Санкт-Петербург, 196625, Россия.
aperekopskii@mail.ru;

https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

Заявленный вклад авторов

А.М. Валге – разработка методики, администрирование данных, программное обеспечение.
В.А. Смелик – руководство исследованием, концептуализация, администрирование данных, создание окончательной версии (доработка).
А.Н. Перекопский – формальный анализ, редактирование, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Статья поступила в редакцию:09.03.2023

Одобрена после рецензирования:22.05.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

Agroecology in Plant Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

aperekopskii@mail.ru;

https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

Authors'contribution

A.M. Valge – development of methods, data administration, software application

V.A. Smelik – research guidance, conceptualization, data administration, shaping the final version (revision) of the manuscript.

A.N. Perekopskiy – formal analysis, editing, drafting the manuscript

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Received: 09.03.2023

Approved after reviewing: 22.05.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.559.2:631.86 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-70-81

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕМЯН ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Сергей Валерьевич Чугунов[1], mexfak@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-6820-3152
Александр Николаевич Перекопский[2]✉, aperekopskii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

[1,2] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Многолетние травы являются основным кормовым ресурсом на Северо-Западе РФ. В структуре посевных площадей их доля составляет 55,3-60,4 % (при 12,5-13,0 % в РФ), а в структуре кормовых культур достигает 86%. Одна из основных причин неудовлетворительного состояния посевов трав – отсутствие систематического перезалужения из-за дефицита семян и надлежащего ухода. В отличие от возделывания трав на кормовые цели, когда необходимо получить высокий урожай вегетативной массы, на семенных посевах удобрения должны способствовать созданию неполегающих травостоев, а также обеспечить формирование генеративных органов, налив и дружное созревание семян. Цель исследований – получение экспериментальных данных для установления закономерностей продуктивности и качественного состава семян многолетних трав (на примере тимофеевки луговой) в зависимости от параметров агроэкосистемы в органическом производстве. Посев тимофеевки луговой был произведен широкорядным способом с расстоянием 70 см, норма высева семян составляла 5 кг/га. Факторы, контролируемые при исследованиях: уровень минерального питания, обеспеченный действием органического удобрения (pH, гумус, NPK); количество генеративных стеблей; урожайность семян. При внесении органических удобрений дозой 20, 40 и 60 кг/га действующего вещества по азоту урожайность семян тимофеевки луговой увеличилась на 33, 41 и 67% соответственно. В результате анализа экспериментальных данных была получена математическая модель, описывающая зависимость урожайности от индекса вегетации NDVI. Данная модель позволяет прогнозировать урожайность семян тимофеевки луговой в зависимости от дозы внесения удобрений при известном индексе вегетации NDVI.

Ключевые слова: семена многолетних трав, тимофеевка луговая, урожайность, органический севооборот, математическая модель, прогноз урожайности.

Для цитирования: Чугунов С.В., Перекопский А.Н. Закономерности формирования продуктивности семян тимофеевки луговой в зависимости от параметров агроэкосистемы // АгроЭкоИнженерия. 2023. №2(115). С.70-82

Research article
Universal Decimal Code УДК 631.559.2:631.86

REGULARITIES OF FORMATION OF PRODUCTIVITY OF SEEDS OF TIMOTHY MEADOW DEPENDING ON THE PARAMETERS OF THE AGROECOSYSTEM

Sergey V. Chugunov[1], mexfak@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-6820-3152
Alexandr N. Perekopskiy[2]✉ , aperekopskii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

[1,2] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. Perennial grasses are the main fodder resource in the North-West of the Russian Federation. Their share in the structure of sown areas is 55.3-60.4% against 12.5-13.0% in the Russian Federation. In the structure of fodder crops, it reaches 86%. One of the main reasons for the unsatisfactory condition of grass crop stands is the lack of systematic re-seeding due to the shortage of seeds and improper crop tending. In the grass cultivation for fodder, the fertilizers should contribute to high yields of vegetative mass. In the grass cultivation for seeds, they should provide the creation of non-lodging grass stands, the formation of generative organs, seed filling and uniform ripening. The study aimed to get the experimental data for establishing the patterns of productivity and quality of perennial grass seeds by the example of common timothy depending on the organic agroecosystem's parameters. Perennial grasses were sown by a wide-row method with a distance of 70 cm and with the seeding rate of 5 kg/ha. The study controlled such factors as the level of mineral nutrition provided by the action of organic fertilizer (pH, humus, NPK), the number of generative stems, and the seed yield. When organic fertilizers were applied at a dose of 20, 40 and 60 kg N/ha, the seed yield of timothy grass increased by 33, 41 and 67%, respectively. The analysis of experimental data resulted in a mathematical model that described the dependence of the yield on the normalized difference vegetation index. This model allows predicting the yield of timothy grass seeds depending on the fertilizer application dose under the known vegetation index.

Keywords: perennial grass seeds, common timothy, yielding capacity, organic crop rotation, mathematical model, yield forecast.

For citation: Chugunov S.V., Perekopskiy A.N. Regularities of forming the timothy productivity depending on fertilization dose. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 70-82.(In Russ.)

Введение. Одним из требований к современной сельскохозяйственной науке является поиск путей адаптации сельского хозяйства к климатическим изменениям без потери его эффективности. Соответственно, все большее значение приобретает комплексный подход к управлению агроэкосистемами с использованием агротехнологий. Применяемые методы ведения сельского хозяйства должны быть адаптированы к местным почвенным и ландшафтным условиям, а также своевременно и адекватно реагировать на изменение погодных условий, создавая наиболее благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур [1].

Многолетние злаковые травы играют важную роль в создании устойчивой кормовой базы и выполняют почвозащитную функцию на землях сельскохозяйственного назначения. В структуре посевных площадей их доля составляет 55,3 – 60,4 % (при 12,5 – 13,0 % в РФ), а в структуре кормовых культур достигает 86 % [2].

На Северо-Западе России одной из основных причин неудовлетворительного состояния посевов трав является доминирующий старовозрастной состав травостоев из-за отсутствия систематического их перезалужения, который в свою очередь обусловлен недостаточной обеспеченностью агропредприятий семенами трав и нерациональным использованием травостоев [3].

Обеспечение благоприятного состояния почв и посевов многолетних трав возможно только при экологически безопасном интегрированном применении удобрений, освоении научно обоснованных севооборотов, возделывании интенсивных сортов, проведении соответствующей обработки почвы и других адаптированных к почвенно-климатическим и производственно-ресурсным условиям приемов [4-7].

Получение высокой урожайности сельскохозяйственных культур при своевременном выполнении агротехнических приемов обеспечивается в основном применением удобрений. В большей степени это положение важно для дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны РФ, которые содержат сравнительно небольшое количество легкодоступных элементов питания и характеризуются низким естественным плодородием [8, 9]. Важным фактором повышения урожайности семян многолетних злаковых трав являются азотные удобрения, которые обеспечивают благоприятные условия для растений в летне-осенний период в фазу кущения, когда закладываются генеративные побеги и интенсивного их развития весной [7, 10-12].

Наиболее полно оценить действие удобрений можно в длительных полевых опытах, которые являются важной нормативной базой для решения вопросов рационального и эффективного применения удобрений в агропромышленном производстве. Результаты многолетних опытов показывают, что возделывание сельскохозяйственных культур без удобрений при дефицитном балансе питательных веществ в почве приводит к постепенному истощению запасов органического вещества [4, 13, 14].

Материалы и методы. Целью исследований является получение экспериментальных данных для установления закономерностей продуктивности и качественного состава семян многолетних трав (на примере тимофеевки луговой) в зависимости от параметров агроэкосистемы (почвенно-климатических условий, уровня минерального питания) в органическом производстве.

Объектом исследования выступают посевы тимофеевки луговой в органическом шестипольном севообороте 2021 года посева. Почвы подзолистые, обеспеченность питательными веществами средняя, предшественник свекла столовая. Материалы – данные о темпах развития и урожайности семян многолетних трав, полученные на основе экспериментальных исследований в экспериментальном хозяйстве «Красная Славянка» ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2022 году. Предметом исследований является закономерность изменения урожайности семян многолетних злаковых трав в зависимости от норм внесения органических удобрений.

В процессе закладки опыта в 2021 году были проведены следующие работы:

- основная и предпосевная обработки почвы;

- посев семян тимофеевки луговой Ленинградская 204 широкорядным способом с нормой высева 5 кг/га;

- внесение органических удобрений с одновременной их заделкой нормой 20, 40 и 60 кг/га действующего вещества по азоту, контроль - без внесения удобрений. В качестве

органического удобрения использован Биагум. Содержание действующего вещества по азоту равнялось 3%.

Результаты и обсуждение. Перед весенним боронованием посевов многолетних трав (24.05.2022г.) были взяты образцы почвы для определения содержания в них питательных веществ (табл. 1).

Таблица 1. Результаты лабораторных исследований почвенных проб от 24.05.2022 г.
Table 1. Results of laboratory tests of soil samples dated 24.05.2022.

№ делянки	Норма внесения Биагума по азоту в 2021 г., кг/га	$pH_{(водная)}$	Содержание подвижных форм элементов питания, мг/кг			
			NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O
1	20	7,22	12,0	9,11	265,96	34,92
2	40	7,1	12,0	10,36	235,44	40,01
3	60	7,08	28,75	3,53	261,6	21,84
4	20	7,33	13,0	12,56	200,56	22,97
5	40	7,13	16,0	11,66	218,0	31,75
6	60	7,12	17	14,18	231,08	45,93
7	0	7,25	7,85	6,05	232,7	17,35

Одновременно с взятием почвенных проб было проведено измерение высоты растений (табл. 2).

Таблица 2. Экспериментальные данные полевого опыта от 24.05.2022 г.
Table 2. Experimental data from the field experiment of 24.05.2022.

Норма внесения Биагума по азоту, кг/га	Содержание азота, мг/кг	Средняя высота растения, см
0	13,9	12
20	23,335	16
40	25,01	18
60	31,73	20

Как видно из полученных данных содержание азота в почве при опыте без внесения меньше на 68, 80 и 128% чем в опытах с нормой внесения 20, 40 и 60 кг/га азота соответственно, также высота растений меньше на 33, 50 и 67%.

После проведения двух междурядных обработок с использованием культиватора КОН-2,8+БРУ-0,7 повторно были отобраны почвенные образцы (табл. 3)

Таблица 3. Результаты лабораторных исследований почвенных проб от 30.06.2022 г.
Table 3. Results of laboratory tests of soil samples dated 30.06.2022

№ делянки	Норма внесения Биагума по азоту в 2021 г., кг/га	pH (водная)	Содержание подвижных форм элементов питания, мг/кг			
			NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O
1	20	7,51	26	6,91	122,08	5,103
2	40	7,75	32	2,15	126,44	4,573
3	60	7,66	32	9,52	148,24	6,903
4	20	7,77	24	5,21	148,24	3,955
5	40	7,63	28	6,27	113,36	6,715
6	60	7,55	22	16,88	130,8	7,710
7	0	7,73	24	4,26	165,68	4,683

Одновременно с взятием почвенных проб была измерена высота растений и количество генеративных стеблей. На рис. 1 представлены данные о содержании азота в почве, высоте растений и количестве генеративных стеблей при исследовании действия удобрения Биагум в 2022 году.

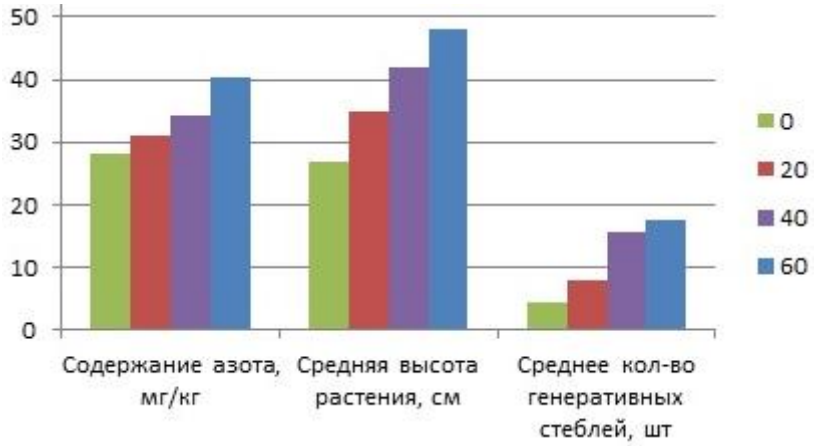


Рис. 1. Экспериментальные данные полевого опыта от 30.06.2022 г.
0, 20, 40, 60 – норма внесения Биагума по азоту, кг/га
Fig.1. Experimental data of the field experiment dated 30.06.2022.
0, 20, 40, 60 – Biagum application rates by nitrogen, kg/ha

Как видно из полученных данных содержание азота в почве при опыте без внесения меньше на 10, 21 и 42% чем в опытах с нормой внесения 20, 40 и 60 кг/га азота соответственно, также высота растений меньше на 29, 55 и 78%, количество генеративных стеблей меньше на 83, 265 и 309%.

24 августа была проведена поделяночная уборка семян трав с одновременным измерением высоты растений и количества генеративных стеблей. Также были взяты почвенные образцы. Полученные данные представлены на рис.2.

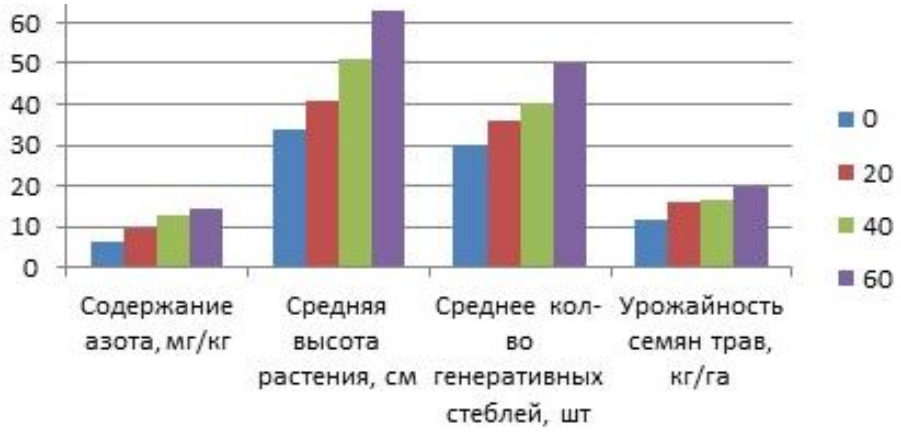


Рис. 2. Экспериментальные данные полевого опыта от 24.08.2022 г.
0, 20, 40, 60 – норма внесения Биагума по азоту, кг/га
Fig.2. Experimental data of the field experiment dated 24.08.2022.
0, 20, 40, 60 – Biagum application rates by nitrogen, kg/ha

Как видно из полученных данных содержание азота в почве при опыте без внесения меньше на 53, 108 и 130% чем в опытах с нормой внесения 20, 40 и 60 кг/га азота соответственно, также высота растений меньше на 20, 50 и 85%, количество генеративных стеблей меньше на 20, 35 и 66%, масса семян меньше на 33, 41 и 67%.

По результатам работы мониторинговой системы получены параметры агроэкосистемы за вегетационный период многолетних трав и рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК), который показал, что в 2021 году за два месяца вегетации представленный показатель соответствовал зоне крайней засушливости (ГТК <0,5), а в августе – зоне избыточного переувлажнения (ГТК > 1,3). В связи с этим при росте и развитии многолетних трав в 2021 году происходил критический дефицит влаги в почве, что отрицательно повлияло на всхожесть и темпы развития. В 2022 году показатели по влажности более оптимальные, в июне ГТК соответствовал зоне обеспеченного увлажнения (ГТК = 1,0-1,3), а в июле и августе зоне избыточного переувлажнения. Общий ГТК по 2021 году составлял 0,88 и соответствовал засушливой зоне (ГТК = 0,7-1,0), а в 2022 году – 1,31, что соответствует зоне обеспеченного увлажнения. Анализируя эти данные можно сделать вывод, что критически низкая урожайность семян многолетних трав объясняется аномально жаркой и сухой погодой в год посева (2021год). Анализируя полученные экспериментальные данные за период вегетации многолетних трав были получены следующие зависимости:

Зависимость содержания азота в почве от нормы внесения удобрений (рис. 3)

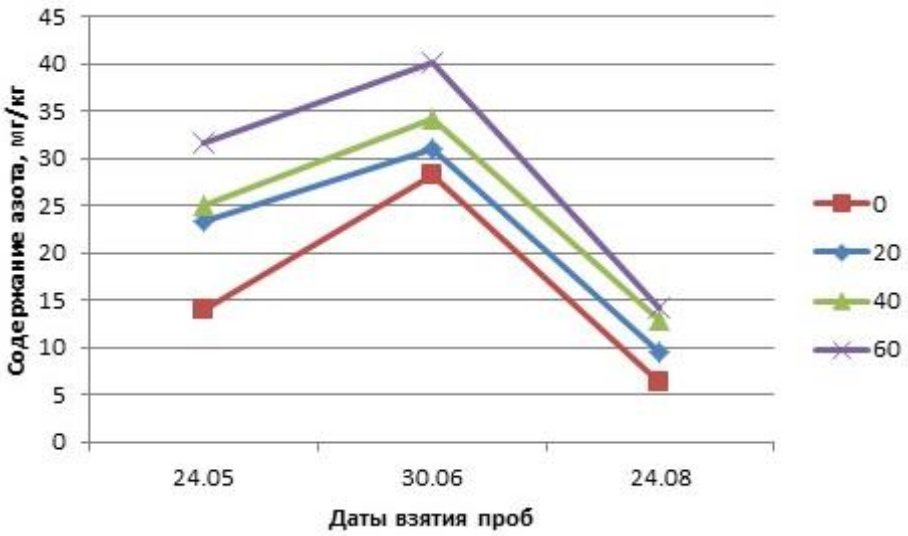


Рис. 3. Зависимость накопления азота в почве от нормы внесения органического удобрения: 0, 20, 40, 60 –норма внесения Биагума по азоту, кг/га

Fi.3. Dependence of nitrogen accumulation in the soil on the application rate of organic fertilizer: 0, 20, 40, 60 – Biagum application rates by nitrogen, kg/ha

Данный график показывает прирост содержания азота в почве в пробе, взятой 24.05.2022 на 128% при дозе внесения удобрений 60 кг/га по сравнению с опытом без внесения. В пробе взятой 30.06.2022 содержание азота в почве больше на 42%. Уменьшение содержания азота в пробе почвы взятой 24.08.2022 объясняется тем, что в процессе образования генеративных стеблей и созревания семян многолетних трав происходит большое потребление питательных веществ.

В процессе вегетации многолетних трав было совершено два облета при помощи беспилотного воздушного судна Phantom 4 Multispectral с мультиспектральным оборудованием. При обработке полученных снимков в программе Pix4D были выделены необходимые делянки (рис. 4) и получена карта индекса вегетации NDVI (рис. 5).

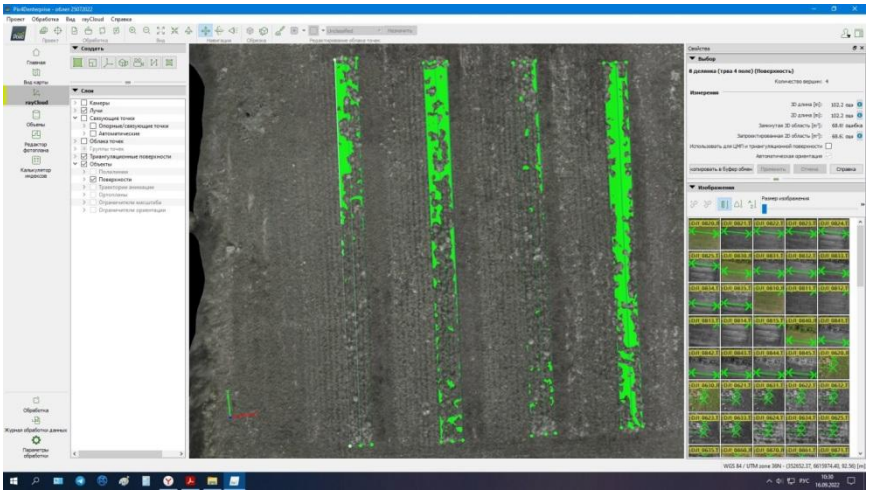


Рис. 4. Обработка экспериментальных данных в программе Pix4D

Fig.4. Analysis of experimental data in Pix4D

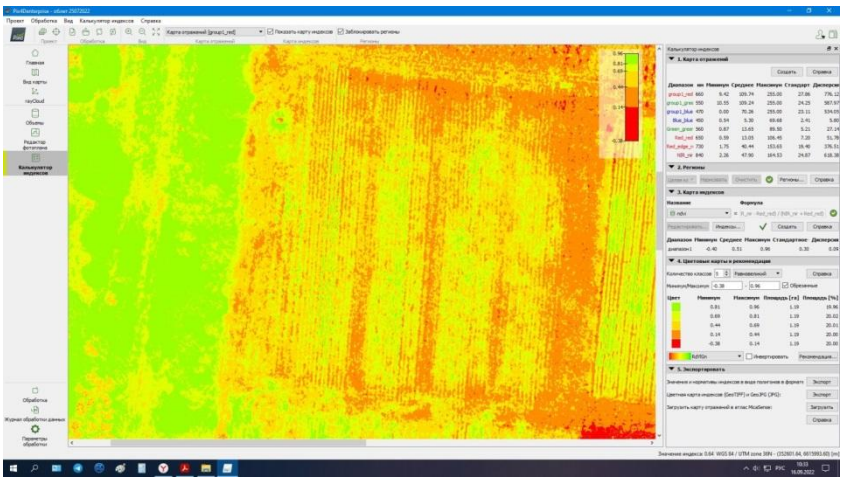


Рис. 5. Карта индекса вегетации NDVI тимофеевки луговой
Fig. 5. Map of vegetation index NDVI of common timothy

В табл. 4 представлены экспериментальные данные по определению индекса вегетации NDVI.

Таблица 4. Зависимость урожайности семян тимофеевки луговой и индекса вегетации NDVI от нормы внесения органических удобрений
Table 4: Dependence of common timothy grass seed yield and vegetation index NDVI on the organic fertilizer application rate

Норма внесения Биагума по азоту, кг/га	Урожайность семян трав, кг/га	Индекс вегетации NDVI
0	11,9	0,39
20	15,8	0,48
40	16,8	0,62
60	19,9	0,64

При обработке данных установлено, что при внесении удобрений в дозе 20, 40, 60 кг/га действующего вещества по азоту индексы вегетации многолетних трав были выше на 0,09-0,23 по сравнению с участком без внесения удобрений. Получим уравнение зависимости урожайности семян тимофеевки луговой (Y) от индекса вегетации NDVI (X):

$$Y = 25{,}6\,X + 2{,}5 \quad R^2 = 0{,}85 \qquad (1)$$

Представленное линейное уравнение в качестве примера целесообразно использовать для прогнозирования урожайности семян многолетних трав при известной дозе внесенных органических удобрений. Представленный подход может быть использован для моделирования технологий производства растениеводческой продукции при использовании элементов точного земледелия [10, 15].

Выводы. В результате исследований и анализа климатических условий, уровня минерального питания и вносимых доз органических удобрений получены экспериментальные зависимости количества генеративных стеблей, высоты растений и

урожайности семян многолетних трав в почвенно-климатических условиях Северо-Западного региона РФ при возделывании его по органической технологии.

По результатам работы мониторинговой системы получены параметры агроэкосистемы за вегетационный период многолетних трав на семена, которые позволили проанализировать влияние климатических условий на их рост и развитие. Результаты исследований показали, что увеличение дозы внесения органических удобрений благоприятно влияет на развитие растений, а именно при проведенном опыте внесения органических удобрений в дозе 60 кг/га действующего вещества по азоту было получено увеличение темпа развития растения в фазе плодоношения на 65-67% по сравнению с опытом без внесения.

При обработке данных, полученных с мультиспектральной камеры, установлено, что при внесении удобрений в дозе 20, 40, 60 кг/га действующего вещества по азоту индексы вегетации многолетних трав были выше на 0,09-0,23 по сравнению с участком без внесения удобрений. Получена математическая модель, которая описывает зависимость урожайности семян многолетних трав от индекса вегетации NDVI. Представленное уравнение целесообразно использовать для прогнозирования урожайности семян многолетних трав при известной дозе внесенных органических удобрений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Maksimov D., Minin V., Perekopskiy A., Chugunov S. Seed productivity of common timothy in organic crop rotation depending on fertilizer application methods. In: Ronzhin A., Kostyaev A. (eds.) Agriculture Digitalization and Organic Production. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. 2023. Vol. 331. P. 189-199 https://doi.org/10.1007/978-981-19-7780-0_171.

2. Синицына С. М., Спиридонов А. М., Данилова Т. А. Перспективы развития кормопроизводства на Северо-Западе России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 52. С. 189-197.

3. Спиридонов А.М., Мазин А.М. Урожайность и качество травостоев сортов клевера лугового на Северо-Западе России // Аграрная Россия. 2021. № 10. С. 8-11. https://doi.org/10.30906/1999-5636-2021-10-8-11

4. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб: ИАЭП. 2021. 140 с.

5. Chukhina O.V., Demidov N.S., Korelskaya L.A. The productivity of the vetch and oat mix in crop rotation when using various fertilizer systems in the Vologda region. E3S Web of Conferences. 2021. Vol.262. Art. 03025 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126203025

6. Кубеев Е.И., Смелик В.А. Технологии и технические средства по предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур. СПб: СПбГАУ, 2011. 210 с.

7. Малков Н.Г., Перекопский А.Н., Чухина О.В., Демидова А.И., Михайлюк А.И. Эффективность агротехнологических приемов возделывания многолетних бобово-злаковых трав // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 1 (114). С. 103-115. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-103-114

8. Чухина О.В., Демидова А.И., Демидов Н.С., Кулакова И.Е., Попова А.Л., Никулин А.С., Кулаков Д.А. Урожайность викоовсяной смеси при минеральных и органических

системах удобрения // Передовые достижения науки в молочной отрасли. Сб. науч. тр. по результатам работы IV Межд. науч-практ. конф. Вологда-Молочное: ВГМХА. 2022. Часть 1. С. 198-201. URL: https://molochnoe.ru/resources/files/nauka/sborniki/sbornik_31_2022.pdf

9. Донских Н.А., Уманец М.С., Пивень М.Г. Семенная продуктивность сортов клевера лугового при разных способах выращивания в условиях Ленинградской области // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 1 (110). С. 74-84. https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2022-1110-74-84

10. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно–ландшафтного земледелия / Под ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. Москва: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.

11. Абдушаева Я.М., Витвицкий В.Н. Влияние доз азотного удобрения на изменение ботанического состава травостоя в ОАО «Ермолинское» // Современные ресурсосберегающие технологии производства молока: от теории к практике. Сб. тр. Всерос. научно-практ. конф. Великий Новгород: НГУ им. Ярослава Мудрого. 2018. С. 141-146.

12. Босак В.Н. Системы удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. Минск: Институт почвоведения и агрохимии. 2003. 176 с.

13. Конова А.М., Дыцкова Т.А., Курдакова О.В. Руководство по элементам технологии производства семян клевера лугового сорта Надежный. Смоленск: ФГБНУ Смоленская ГОСХОС. 2015. 26 с.

14. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Урожайность и качество многолетних трав двух годов пользования в зависимости от применения возрастающих доз минеральных удобрений, внесённых под покровную культуру // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 4 (70). С. 53-57. https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.70.013

15. Чугунов С.В., Джабборов Н.И., Перекопский А.Н., Добринов А.В. Прогнозирование урожайности семян многолетних трав в органическом севообороте // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4 (113). С. 93-104. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-93-104

REFERENCES

1 Maksimov D., Minin V., Perekopskiy A., Chugunov S. Seed productivity of common timothy in organic crop rotation depending on fertilizer application methods. In: Ronzhin A., Kostyaev A. (eds.) Agriculture Digitalization and Organic Production. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. 2023; 331: 189-199 (In Russ.) https://doi.org/10.1007/978-981-19-7780-0_171.

2 Sinitsyna S. M., Spiridonov A. M., Danilova T. A. Prospects for the development of fodder production in Northwest Russia. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2018; 52: 189-197 (In Russ.)

3 Spiridonov A.M., Mazin A.M. Yield and quality of grass stands of *Trifolium Pratense L*. varieties in the North-West of Russia. Agrarnaya Rossiya - Agrarian Russia. 2021; 10: 8-11 (In Russ.) https://doi.org/10.30906/1999-5636-2021-10-8-11

4 Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Technologies of organic production of agricultural crops in the North-West region of the Russian Federation. Saint Petersburg:IEEP. 2021. 178 p. (In Russ.)

5 Chukhina O.V., Demidov N.S., Korelskaya L.A. The productivity of the vetch and oat mix in crop rotation when using various fertilizer systems in the Vologda region. E3S Web of Conferences. 2021; 262. Art. 03025 (In Eng.). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126203025
6 Kubeev E.I., Smelik V.A. Technologies and technical means for pre-sowing treatment of seeds of agricultural crops. Saint Petersburg: SPbGAU, 2011. 210 p. (In Russ.)
7. Malkov N.G., Perekopskiy A.N., Chukhina O.V., Demidova A.I., Mikhailuk A.I. Efficiency of agro-technological methods of perennial cereal and leguminous grasses cultivation. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2023; 1 (114): 103-115 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-103-114
8. Chukhina O.V., Demidova A.I., Demidov N.S., Kulakova I.E., Popova A.L., Nikulin A.S., Kulakov D.A. Yield of vetch-oat mixture with mineral and organic fertilization systems. In: Advanced achievements of science in the dairy industry. Coll. Sci. Papers of IV Int. Sci. Prac. Conf. Vologda-Molochnoje: Vologda State Dairy Academy. 2022. Part 1:198-202. (In Russ.) URL: https://molochnoe.ru/resources/files/nauka/sborniki/sbornik_31_2022.pdf
9. Donskikh N.A., Umanets M.S., Piven M.G. Seed productivity of meadow clover varieties cultivated with different methods in the conditions of the Leningrad Region. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2022; 1 (110): 74-84 (In Russ.) https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2022-1110-74-84
10 Ivanov A.L., Derzhavin L.M. (eds.) Methodological guidelines for designing the use of fertilizers in technologies of landscape-adaptive farming. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Russian Academy of Agricultural Sciences, 2008. 392 p. (In Russ.)
11 Abdushaeva Ya.M., Vitvitsky V.N. Influence of doses of nitrogen fertilizer on changes in botanical composition of herbage in JSC “Yermolinskoye”. In: Modern resource-saving technologies of milk production: from theory to practice. Proc. All-Russian Sci. Prac. Conf. Veliky Novgorod: Yaroslav the Wise National State University. 2018: 141-146 (In Russ.)
12 Bosak V.N. Fertilizer systems in crop rotations on sod-podzolic light loamy soils. Minsk: Institute of Soil Science and Agrochemistry. 2003. 176 p. (In Russ.)
13 Konova A.M., Dytskova T.A., Kurdakova O.V. Guidance on the elements of technology of meadow clover seeds of the variety Reliable. Smolensk: Smolensk State Experimental Agricultural Station Publ. 2015. 26 p. (In Russ.)
14 Konova A.M., Gavrilova A.Yu. Yield and quality of permanent grasses of two years of application depending on application of rising doses of mineral fertilizers applied by cover crops. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal. 2018; 4 (70): 53-57 (In Russ.) https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.70.013
15 Chugunov S.V., Dzhabborov N.I., Perekopsky A.N., Dobrinov A.V. Forecasting the yield of perennial grass seeds in organic crop rotation. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2022; 4 (113): 93-104 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-93-104

Об авторах

Сергей Валерьевич Чугунов, научный сотрудник, отдел агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем

About the authors

Segey V.Chugunov, researcher, Department of Agroecology in Plant Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal

сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево,

Санкт-Петербург, 196625, Россия.

mexfak@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-6820-3152

Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

mexfak@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-6820-3152

Александр Николаевич Перекопский

канд. техн. наук, доцент, отдел агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево,

Санкт-Петербург, 196625, Россия. aperekopskii@mail.ru;

https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

Alexandr N. Perekopskiy, Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, Department of Agroecology in Plant Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

aperekopskii@mail.ru;

https://orcid.org/0000-0003-0998-2306

Заявленный вклад авторов

С.В. Чугунов – разработка методики и этапов проведения экспериментальных исследований, администрирование данных, создание черновика рукописи.
А.Н. Перекопский – руководство исследованием, создание окончательной версии (доработка).

Authors’contribution

S.V. Chugunov – development of methods and stages of experiments, data administration, drafting the manuscript

A.N. Perekopskiy – research guidance, shaping the final version of the manuscript (revision).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Статья поступила в редакцию: 01.03.2023

Одобрена после рецензирования:22.06.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

Received: 01.03.2023

Approved after reviewing: 22.06.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.95-631.172 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-82-96

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Нозим Исмоилович Джабборов[1], nozimjon-59@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8910-2625
Антон Михайлович Захаров[2], bauermw@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3501-0543
Илья Иванович Жуйков[3]✉[3] , raynov96@mail.ru

[1,2,3] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт- Петербург, Россия

Аннотация. Актуальность темы исследований связана с проблемой снижения негативного влияния технических средств в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на окружающую среду. Целью исследований являлась разработка математических моделей и методики оценки негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду. При проведении исследований применялись аналитические методы и обобщение результатов, полученных разными авторами, посвящённые проблеме негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду. На основе анализа опубликованных результатов научных исследований, проведённых отечественными и зарубежными учёными обоснован перечень показателей для оценки негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду. Установлено, что при наличии в системе различных показателей и параметров с разными единицами измерения и методами определения, многие авторы до сих пор не смогли теоретически описать и разработать математические модели, позволяющие комплексно оценить негативное влияние технических средств на окружающую среду. Новизна результатов исследований заключается в разработке математических моделей комплексной оценки негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду. Сущность предложенных моделей сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров сложных процессов, имитирующие их поведение и взаимодействие с учётом случайных возмущающих факторов. Основным преимуществом предложенных математических моделей является возможность решения задач исключительной сложности, так как процессы могут одновременно содержать элементы непрерывного и дискретного характера, быть подвержены влиянию многочисленных случайных факторов. Приведены результаты расчётов оценки влияния почвообрабатывающего агрегата для мелкой обработки почвы.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, окружающая среда, негативное влияние, уплотнение почвы, движители тракторов, буксование, выбросы токсичных компонентов.

Для цитирования: Джабборов Н.И., Захаров А.М., Жуйков И.И. Методика оценки и прогнозирования негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду //АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2 (115). С.82-97

Research article
Universal Decimal Code 631.95-631.172

METHODOLOGY FOR ASSESSING AND FORECASTING THE ADVERSE EFFECT OF MACHINE-TRACTOR UNITS ON THE ENVIRONMENT

Nozim I. Dzhabborov[1], [1] nozimjon-59@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8910-2625
Anton M. Zakharov[2], [2] bauermw@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3501-0543
Ilya I. Zhuykov[3]✉[3] raynov96@mail.ru

[1,2,3] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. The relevance of the study topic is associated with the problem of reducing the negative environmental effect of machine and tractor units designed for crop cultivation. The study aim was to create mathematical models and methods for assessing this effect. The study applied analytical methods, summarized the results or relevant national and foreign research, and compiled a list of assessment indicators. The study established that in the presence of various indicators and parameters with different measuring units and methods, many authors failed yet to describe theoretically and create the mathematical models that would allow a comprehensive assessment of the an adverse effect of machine-tractor systems on the environment. The novelty of the study lies in the development of such mathematical models. The essence of the proposed models comes down to the synthesis of numerous indicators and parameters of complex processes and simulation of their behaviour and interaction with due account for random perturbing factors. The main advantage of created mathematical models is the possibility to solve exceptionally complex problems, since the processes may simultaneously contain elements of continuous and discrete nature and suffer the influence of numerous random factors. The paper presents the estimation results of the effect of a shallow tillage unit.

Key words: machine-tractor unit, environment, adverse effect, soil compaction, tractor drive, wheel slipping, toxic component emission.

For citation: Dzhabborov N.I., Zakharov A.M., Zhuikov I.I. Methodology for assessing and forecasting the adverse effect of machine-tractor units on the environment. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 82-97.(In Russ.)

Введение

Актуальность темы исследований связана с проблемой снижения негативного влияния технических средств, применяемых в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на окружающую среду. Как известно, при работе машинно-тракторных агрегатов (МТА) происходит буксование движителей, уплотнение почвы ходовой системой, в

атмосферу выбрасываются вредные (токсичные) компоненты в результате сжигания топлива двигателями тракторов и многое другое, все это негативно влияет на окружающую среду. Ниже приводится краткий анализ исследований, проведённых учёными в этом направлении.

В работе [1] приведены результаты исследований воздействия МТА на почву и её физико-механические характеристики. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы по пару двукратному воздействию ходовыми системами тракторов подвергается 15% площади, трёхкратному – 12 %, шестикратному – 5 %, не уплотняется 18 % площади поля.

В статье [2] рассматривается вопрос воздействия движителей МТА при обработке почвы и возделывании сельскохозяйственных культур. При движении пропашных агрегатов по полю движители МТА многократно уплотняют почву. Это негативно сказывается на получение всходов, росте и развитии растений, а также урожайности сельскохозяйственных культур. Доказано, что уплотняющее воздействие движителей, существующих колёсных пахотных тракторов, посевных и пропашных агрегатов превышает допустимые пределы, что оказывает негативное влияние на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Разработана методика [3] оценки воздействия ведущих колёс энергетического средства МТА на плотность и структуру почвы. Установлено влияние буксования на данные показатели. Доказано, что с точки зрения снижения уплотнения почвы рационально принять минимально допустимое буксование, соответствующее режиму работы с буксованием 8-11 % [3].

В работе [4] затрагивается актуальная для настоящего времени проблема загрязнения окружающей среды вредными веществами в составе отработавших газов дизельных двигателей внутреннего сгорания. Эти вещества отрицательно влияют на окружающую среду и здоровье человека. Цель и задача данной работы состоят в анализе составляющих компонентов газов и поиске решений проблем, связанных с превышением предельно допустимых концентраций.

Представлены частные примеры наличия полезной и вредной вибраций в сельскохозяйственной технике, её влияние на организм оператора [5]. Выявлено, что основными частотами, при которых проявляется максимальное влияние на организм оператора (эффект резонанса), являются частоты из диапазона от 0,7 до 90 Гц. Полезная вибрация позволяет снизить материальные затраты и увеличить срок службы вибрационных рабочих органов орудий. Так повышается производительность сельскохозяйственных агрегатов, снижается тяговое сопротивление, повышается производительность труда, увеличивается срок службы рабочих органов [5].

В статье [6] главным показателем оценки различных способов, глубин, мероприятий, средств и систем обработки почвы является уровень урожайности и продуктивность сельскохозяйственных культур и севооборота в целом. Поэтому колебание каждого фактора, безусловно, сказывается на конечной величине урожайности возделываемой культуры. Многочисленные данные, полученные в нашей стране и за рубежом, свидетельствуют, что наиболее рациональной является дифференцированная система обработки почвы (по глубине

и способам) в севооборотах, с учётом биологических особенностей культур, состояния почвы и засорённости поля.

Для соблюдения требований экологической безопасности по техногенному разрушению почвы движителями полевых агрегатов, уплотняющую нагрузку на неё регламентируют нормами стандарта [7]. Испытания проводили на примере агрегата в составе трактора МТЗ 1221 и дисковой бороны БДП-3,2. Работу выполняли на стерневом фоне после уборки озимой пшеницы. Почва - чернозем, выщелоченный среднесуглинистый влажностью 17,1 %. Твёрдость почвы по слоям: 0-5 см - 1,4 МПа; 5-10 см - 1,9 и 10-15 см - 2,4 МПа. Высоту прицепа в эксперименте варьировали в интервале 0,45; 0,55; 0,65; 0,80 и 0,90 м. Плотность почвы определяли по следам движителей прибором Н.А. Качинского. Величина тягового сопротивления бороны изменялась в диапазоне 9,4±0,96 кН. С ростом высоты прицепа в диапазоне 0,45-0,90 м давление движителей на почву возрастало со 123 до 133 кПа (на 8,1 %). При этом плотность почвы по следам движителей повышалась с 1,34-1,38 до 1,45-1,47 г/см^3 (на 5,1 - 9,7 %). Давление движителей на почву также увеличивалось по мере роста тягового сопротивления сельскохозяйственной машины. Для снижения уплотняющих свойств движителей следует стремиться к понижению прицепного устройства, особенно при агрегатировании с сельскохозяйственными машинами, обладающими высоким тяговым сопротивлением [7].

Разработаны аналитические зависимости для определения плотности прессующихся и текучих почв и грунтов от повторных воздействий колёс при различных нагрузках [8]. Обоснована зависимость для определения плотности почвы в общем случае, включающая прессующуюся и текучую составляющие состояния почвенно-грунтового массива. Установлено, что при увеличении количества осей ходовой системы снижается уплотнение почвы. По мере увеличения отношения нагрузки на переднее колесо к среднему уплотнение почвы значительно возрастает по сравнению с равномерным распределением массы по осям [8].

Разработана методика [9] определения изменения структурного состава почвы (параметр ΔC, %) по количеству эрозионно-опасных (размером менее 0,25 мм) частиц, а также твёрдости почвы (параметр ΔH, кг/см^2) по следу трактора в различных слоях горизонта (0-50 мм; 50-100 мм; 100-150 мм; 150-200 мм и 200-250 мм). Режим буксования изменялся за счёт изменения количества рабочих секций культиватора. Доказано, что наибольшему изменению структура почвы по слоям горизонта подвергается при буксовании δ=20-30%. Полученные зависимости структуры и твёрдости почвы по слоям горизонта от буксования позволяют признать рациональными режимы работы МТА, при которых буксование движителей энергетического средства находится в диапазоне 9-12% вне зависимости от агрофона. Буксование свыше 12 % приводит к резкому увеличению в структуре почвы количества эрозионно-опасных частиц, а также повышению твёрдости почвы в следе трактора в 3,4-3,7 раза в слое глубиной 50-100 мм [9].

В известных работах [10-12] и некоторых сообщениях[9,10,11] изложены причины и показатели оценки влияния технических средств, применяемых в растениеводстве на агроэкосистему в целом.

Отмечается также негативное влияние работы технических средств, в том числе и уборочных машин, при выполнении технологических операций на численность почвообразующих микроорганизмов и различных беспозвоночных и позвоночных животных[12,13,14,15]

Анализ вышеприведённых исследований свидетельствует о том, что многие авторы рассматривают показатели оценки негативного воздействия МТА в отдельности. При этом практически отсутствуют математические модели процессов оценки негативного влияния МТА на окружающую среду.

С учётом сказанного была поставлена цель - разработать математические модели и методику оценки и прогнозирования негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду с учётом всех наиболее значимых показателей.

Материалы и методы

При проведении настоящих исследований применялись аналитические методы и обобщения результатов, полученные различными авторами, посвящённые проблеме негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду.

Объектами исследований являлись опубликованные результаты исследований, посвящённых снижению негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду.

---

[9] Плотность почвы. 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/9540685/ (дата обращения 17.05.2023 г.).

[10] Отрицательные экологические последствия современных средств механизации. Пути оптимизации обработки почв. 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/5050228/page:6/ (дата обращения 14. 05. 2023 г.).

[11] Требования, предъявляемые к тракторам и автомобилям с-х назначения [Электронный ресурс]. URL: https://lektsii.org/6-81627.html (дата обращения 19.05.2023 г.)

[12] Воздействие сельскохозяйственной техники на природную среду. 2015. [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/3542816/page:30/ (дата обращения 19 05. 2023 г.)

[13] Роль микроорганизмов и животных в почвообразовании. 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/9796609/page:6/ (дата обращения 19 05. 2023 г.)

[14] Роль микроорганизмов и грибов в почвообразовании. [Электронный ресурс]. URL: https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/kak-obrazuetsya-pochva/faktoryi-i-usloviya-pochvoobrazovaniya/biologicheskiy-faktor-pochvoobrazovaniya/ (дата обращения 19 05. 2023 г.).

[15] Мамуш С. Сохраним дичь на полях / Охота и хозяйство № 9, 1979 г. URL: https://hunts.in.ua/page347.html (дата обращения 19.05.2023 г.)

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе был проведен анализ исследований по определению видов воздействий машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду. На втором этапе были определены наиболее значимые показатели оценки негативного влияния МТА на окружающую среду.

Третий этап исследований включил в себя формализацию основного критерия оценки негативного влияния МТА на окружающую среду.

И, наконец, на последнем, четвёртом этапе были разработаны математические модели для комплексной оценки и прогнозирования негативного влияния МТА на окружающую среду на основе установления равнозначных показателей. Сущность разработанных математических моделей и методики сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров изучаемого сложного процесса с учётом случайных возмущающих факторов.

Результаты

При наличии в системе различных показателей и параметров с разными единицами измерения и методами определения, многие авторы до сих пор не смогли математически описать и разработать математические модели, позволяющие комплексно оценить и прогнозировать экологическую безопасность технологий, технических средств, в целом агроэкосистемы.

С учётом сказанного возникла необходимость в разработке системы математических моделей комплексной оценки на основе установления равнозначных показателей и моделировании сложного процесса негативного влияния технологических процессов и МТА на окружающую среду.

В результате анализа литературы были установлены виды воздействия МТА и показатели оценки негативного их влияния на окружающую среду (рис. 1).

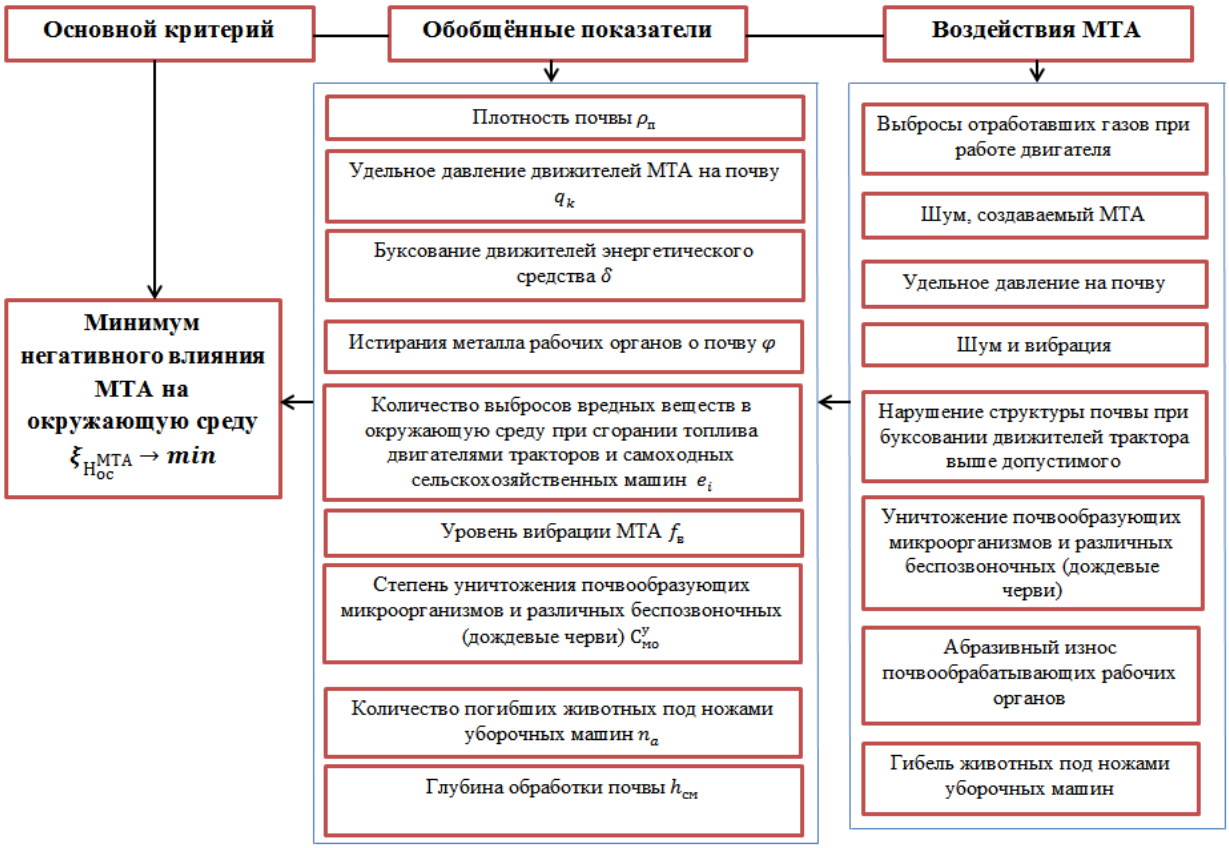


Рис. 1. Показатели негативного влияния МТА на окружающую среду

Fig.1. Indicators of the negative impact of machine-tractor units on the environment

Негативное влияние $Н_{ос}^{МТА}$ машинно-тракторных агрегатов (МТА) на окружающую среду зависит от многих обобщённых показателей и его общую модель можно представить в виде:

$$Н_{ос}^{МТА} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{\rho}_п, \boldsymbol{q_k}, \boldsymbol{\delta}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{e_i}, \boldsymbol{f}_в, С_{мо}^{у}, \boldsymbol{n_a}, \boldsymbol{h}_{см}), \quad (1)$$

где: $\boldsymbol{\rho}_п$ – плотность почвы[16,17]

$\boldsymbol{q_k}$ – удельное давление движителей МТА на почву;

$\boldsymbol{\delta}$ – буксование движителей энергетического средства;

$\boldsymbol{\varphi}$ – количество исстиранного (абразивный износ) металла рабочих органов о почву;

[16] ГОСТ 22733-2016. Межгосударственный стандарт. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Москва. Стандартинформ. 2016. 15 с.

[17] ГОСТ 5180-2015. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Москва. Стандартинформ. 2016. 19 с. URL: https://euro-test.ru/Pub.Lib/Normativ_docs/GOST5180.pdf

$\boldsymbol{e_i}$ – количество выбросов вредных веществ в окружающую среду при сгорании топлива двигателями тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин;

$\boldsymbol{f}_{\text{в}}$ – уровень вибрации МТА;

$\text{С}_{\text{мо}}^{\text{у}}$ – количество уничтоженных почвообразующих микроорганизмов и различных беспозвоночных (дождевые черви);

$\boldsymbol{n_a}$ – количество погибших животных под ножами уборочных машин;

$\boldsymbol{h}_{\text{см}}$ – глубина обработки почвы.

Оценку степени негативного влияния МТА на окружающую среду можно провести по критерию – минимум вероятностного коэффициента - $\xi_{\text{Н}_{\text{ос}}^{\text{МТА}}} \rightarrow min.$

Вероятностный коэффициент $\xi_{\text{Н}_{\text{ос}}^{\text{МТА}}}$, учитывающий степень негативного влияния МТА на окружающую среду определяется из выражения:

$$\boldsymbol{\xi}_{\text{Н}_{\text{ос}}^{\text{МТА}}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{9}} \cdot \begin{pmatrix} \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\rho}_{\text{п}}} + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{q_k}} + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\delta}} + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\varphi}} + \\ + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{e_i}} + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{f}_{\text{в}}} + \boldsymbol{\xi}_{\text{С}_{\text{мо}}^{\text{у}}} + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{n_a}} + \boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{h}_{\text{см}}} \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где: $\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\rho}_{\text{п}}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий степень плотности почвы;

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{q_k}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень удельного давления движителей МТА на почву;

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\delta}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий степень буксования движителей энергетического средства;

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\varphi}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень исстиранного металла рабочих органов о почву;

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{e_i}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень выбросов вредных веществ в окружающую среду при сгорании топлива двигателями тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин;

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{f}_{\text{в}}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень вибрации МТА;

$\boldsymbol{\xi}_{\text{С}_{\text{мо}}^{\text{у}}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий степень уничтожения почвообразующих микроорганизмов и различных беспозвоночных (дождевые черви);

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{n_a}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень погибших животных под ножами уборочных машин;

$\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{h}_{\text{см}}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень неравномерности глубины обработки почвы.

Вероятностный коэффициент $\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\rho}_{\text{п}}}$, учитывающий **с**тепень плотности почвы может быть рассчитана формулой:

$$\xi_{\rho_п} = \left[{(\rho_п)^{ср}}/{(\rho_п)^{б}} \right], \quad (3)$$

где: $(\rho_п)^{ср}$ – среднее значение плотности почвы;

$(\rho_п)^{б}$ – базовое (допустимое) значение плотности почвы.

Вероятностный коэффициент ξ_{q_k}, учитывающий уровень удельного давления движителей МТА на почву определяется таким образом:

$$\xi_{q_k} = \left({q_k{}^{ср}}/{q_k{}^{б}} \right), \quad (4)$$

где: $q_k{}^{ср}$ – **с**реднее значение удельного давления движителей трактора на почву;

$q_k{}^{б}$ – базовое (допустимое) значение удельного давления движителей трактора на почву.

Вероятностный коэффициент ξ_{δ}, учитывающий степень буксования движителей энергетического средства можно вычислить из выражения:

$$\xi_{\delta} = \left[{(\delta)^{ср}}/{(\delta)^{б}} \right], \quad (5)$$

где: $(\delta)^{ср}$ – среднее значение буксования движителей энергетического средства;

$(\delta)^{б}$ – базовое (допустимое) значение буксования движителей энергетического средства.

Вероятностный коэффициент ξ_{φ}, учитывающий уровень исстиранного металла рабочих органов о почву можно определить по формуле:

$$\xi_{\varphi} = \left[{(\varphi)^{ср}}/{(\varphi)^{б}} \right], \quad (6)$$

где: $(\varphi)^{ср}$ – среднее количество исстиранного металла рабочих органов о почву, г;

$(\varphi)^{б}$ – базовое (допустимое) значение исстиранного металла рабочих органов о почву, г.

Вероятностный коэффициент ξ_{e_i}, учитывающий уровень выбросов вредных веществ в окружающую среду при сгорании топлива двигателями тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин определяют по соотношению:

$$\xi_{e_i} = \left[{(e_i)^{\text{ср}}}/{(e_i)^{\text{б}}} \right], \quad (7)$$

где: $(e_i)^{\text{ср}}$ – среднее количество выбросов вредных веществ в окружающую среду при сгорании топлива двигателями тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин;

$(e_i)^{\text{б}}$ – базовое (допустимое) количество выбросов вредных веществ[18] в окружающую среду при сгорании топлива двигателями тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

Вероятностный коэффициент $\xi_{f_{\text{в}}}$, учитывающий уровень вибрации МТА определяется таким образом:

$$\xi_{f_{\text{в}}} = \left[(f_{\text{в}})^{\text{ср}} / (f_{\text{в}})^{\text{б}} \right], \quad (8)$$

где: $(f_{\text{в}})^{\text{ср}}$ – среднее значение вибрации МТА[19];

$(f_{\text{в}})^{\text{б}}$ – базовое (допускаемое) значение вибрации МТА.

Вероятностный коэффициент $\xi_{\text{С}^{\text{у}}_{\text{мо}}}$, учитывающий степень уничтожения почвообразующих микроорганизмов и различных беспозвоночных (дождевые черви) можно определить из выражения:

$$\xi_{\text{С}^{\text{у}}_{\text{мо}}} = \left[{(\text{С}^{\text{у}}_{\text{мо}})^{\text{ср}}}/{(\text{С}^{\text{у}}_{\text{мо}})^{\text{б}}} \right], \quad (9)$$

где: $(\text{С}^{\text{у}}_{\text{мо}})^{\text{ср}}$ – среднее количество уничтоженных почвообразующих микроорганизмов и различных беспозвоночных (дождевых червей);

$(\text{С}^{\text{у}}_{\text{мо}})^{\text{б}}$ – базовое (нормативное) количество почвообразующих микроорганизмов и различных беспозвоночных (дождевых червей).

Вероятностный коэффициент ξ_{n_a}, учитывающий уровень погибших животных под ножами уборочных машин можно вычислить из выражения:

$$\xi_{n_a} = \left[(n_a)^{\text{ср}} / (n_a)^{\text{б}} \right], \quad (10)$$

где: $(n_a)^{\text{ср}}$ – среднее значение количества погибших животных под ножами уборочных машин;

---

[18] ГОСТ 17.2.2.02-98. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. АТМОСФЕРА. Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200012788

[19] ГОСТ 31323-2006. (ИСО 5008:2002). Межгосударственный стандарт. Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Тракторы сельскохозяйственные колесные и машины для полевых работ. М.: Стандартинформ. 20 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835386.htm

$(\boldsymbol{n_a})^{б}$ – базовая (фактическая) численность животных на поле.

Вероятностный коэффициент $\xi_{h_{см}}$, учитывающий степень неравномерности глубины обработки почвы можно определить из выражения:

$$\boldsymbol{\xi_{h_{см}}} = \boldsymbol{h_{см}^{ср}} \Big/ \boldsymbol{h_{см}^{б}}, \tag{11}$$

где: $\boldsymbol{h_{см}^{ср}}$ – средняя глубина обработки почвы;

$\boldsymbol{h_{см}^{б}}$ – базовая (заданная) глубина обработки почвы.

Сущность предложенных моделей сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров сложного процесса оценки негативного влияния МТА на окружающую среду, имитирующие их поведения и взаимодействия с учётом случайных возмущающих факторов.

Основным преимуществом предложенных математических является возможность решения задач исключительной сложности: процессы могут одновременно содержать элементы непрерывного и дискретного характера, подвержены влиянию многочисленных случайных факторов.

В таблице 1 приведены базовые и средние значения показателей, а также подсчитан коэффициент $\boldsymbol{\xi}$ для оценки негативного влияния почвообрабатывающего агрегата МТЗ-82.1+УКПА-2,4 на окружающую среду.

Таблица 1. Показатели негативного влияния МТА на окружающую среду
Table 1. Indicators of the adverse effect of machine-tractor units on the environment

Значение	$\boldsymbol{\rho_п}$	$\boldsymbol{q_k}$	$\boldsymbol{\delta}$	$\boldsymbol{\varphi}$	$\boldsymbol{e_i}$	$\boldsymbol{f_в}$	$\boldsymbol{h_{см}}$
Базовое	1,35	0,6	12	96	456	40	15
Среднее	1,4	1,1	17	110	570	50	14,1
Коэффициент $\boldsymbol{\xi}$	1,03	1,83	1,42	1,15	1,25	1,25	0,94

$$\boldsymbol{\xi_{Н_{ос}^{МТА}}} = \frac{(\mathbf{1{,}03+1{,}83+1{,}42+1{,}15+1{,}25+1{,}25+0{,}94})}{\mathbf{7}} = \mathbf{1{,}27.}$$

Обсуждения

Следует отметить, что при отсутствии негативного влияния МТА на окружающую среду значение $\xi = 1$. Когда при выполнении технологических процессов МТА оказывает негативное влияние на окружающую среду, значение коэффициента ξ будет больше 1.

Методика позволяет установить показатели, которые больше всего негативно влияют на окружающую среду. Это позволяет разработать практические рекомендации,

направленные на уменьшение негативного влияния наиболее весомых показателей, и тем самым, повысить экологическую безопасность при функционировании МТА.

Выводы

Установлено, что при наличии в системе различных показателей и параметров с разными единицами измерения и методами определения, многие авторы до сих пор не смогли математически описать и разработать математические модели, позволяющие комплексно оценить негативное влияние технических средств на окружающую среду.

Нами разработаны математические модели для комплексной оценки негативного влияния МТА на окружающую среду. Сущность предложенных моделей сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров сложных процессов, имитирующие их поведения и взаимодействия с учётом случайных возмущающих факторов.

Разработанная методика позволяет определить степень влияния МТА на окружающую среду.

Приведены результаты расчётов оценки влияния почвообрабатывающего агрегата для мелкой обработки почвы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Кузыченко Ю.А., Кобозев А.К. Уплотнение почвы в процессе ее основной обработки в полевом звене севооборота // Сельскохозяйственный журнал. 2018. № 2 (11). С. 18-22.

2 Нормирзаев А.Р. Уплотняющие воздействия движителей тракторов на почву при обработке почвы и возделывание сельскохозяйственных культур // Точная наука. 2021. №114 С. 15-19.

3 Черников О.Н., Быченин А.П. Влияние режимов буксования колесного движителя энергетического средства МТА на физические свойства почвы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. №4. С 44-49.

4 Алексенко С.Н., Гордейчик К.С. Снижения вредных веществ в составе отработавших газов дизельных двигателях внутреннего сгорания дорожно-строительной техники // Техника и технологии строительства. 2015. №4(4). С 44-49.

5 Адылин И.П., Малашенко Ю.А. Вибрации сельскохозяйственной техники // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. №3(85). С 51-55. https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-85-3-51-55

6 Панченко О.Б. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от систем обработки почвы // Агробіологія. 2015. №2(121). С. 66-69.

7 Гуреев И.И. Экологическая безопасность комплексной механизации агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2019. №5. С. 62-64. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10515

8 Шило И.Н., Романюк Н.Н., Крук И.С., Орда А.Н., Галимов Р.Р., Максимович К.Ю., Войнаш С.А., Лучинович А.А. Влияние параметров ходовых систем колесных машин на

изменение плотности почвы // Тракторы и сельхозмашины. 2021. №5. С. 30-37. https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-5-30-37

9 Черников О.Н., Быченин А.П., Сазонов Д.С. Изменение структуры и твердости почвы по глубине следа трактора при различных режимах буксования колесного движителя // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №1. С. 22-27. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_37100642_88124825.pdf

10 Добринов А.В., Джабборов Н.И., Сухопаров А.И. Показатели оценки эффективности и экологической безопасности технологий и технических средств производства продукции растениеводства // АгроЭкоИнженения. 2022. № 3 (112). С.39-50. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-3112-39-50

11 Альферович В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: Ч. 1: Анализ состава отработавших газов. Минск: БНТУ, 2016. 54 с. URL: https://rep.bntu.by/handle/data/27308

12 Быков Н.Н., Кецко В.Н., Вечер Н.Н. Сравнительная оценка воздействия движителей МТА на почву [Электронный ресурс]. URL: https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/17914/1/sravnitelnaya-ocenka-vozdejstviya-dvizhitelej-mta-na-pochvu.pdf (дата обращения 19 05. 2023 г.)

REFERENCES

1 Kuzychenko Yu. A., Kobozev A. K. Soil compactness in the process of its main treatment in the field link of the crop rotation. Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = Agricultural Journal. 2018; 2 (11): 18-22 (In Russ.) https://doi.org/10.25930/zv40-wz46

2 Normirzaev A. R. Impacts of MTA running systems in soil treatment and agriculture crops. Tochnaya nauka = Exact Science. 2021;114: 15-19 (In Russ.)

3 Chernikov O. N., Bychenin A. P. Influence of slipping modes of the wheeled running gear of MTU power means onto physical properties of the soil. Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018;4: 44-49 (In Russ.)

4 Alekseenko S.N., Gordeychik K.S. Decrease in harmful substances as a part of the fulfilled gases diesel DVS of road-building equipment. Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva = Construction machinery and technologies. 2015;4(4): 44-49 (In Russ.)

5 Adylin I.P., Malashenko Yu.A. Vibrations of agricultural machinery. Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2021; 3(85): 51-55 (In Russ.) https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-85-3-51-55

6 Panchenko O.B. Crop yields depending on tillage systems. Агробіологія = Agrobiology. 2015;2(121): 66-69 (In Ukr.)

7 Gureev I.I. Environmental safety of complex mechanization of agricultural crops cultivation technologies. Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2019; 5: 62-64 (In Russ.) https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10515

8 Shilo I.N., Romanyuk N.N., Kruk I.S., Orda A.N., Galimov R.R., Maksimovich K.Yu., Voynash S.A., Luchinovich A.A. The influence of the parameters of the running systems of wheeled vehicles on the change in soil density. Traktory i sel'khozmashiny = Tractors and Agricultural Machines. 2021;5: 30-37 (In Russ.) https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-5-30-37

9 Chernikov O. N., Bychenin A. P., Sazonov D. S. Soil structure and hardness change resulting from the depth of a tractor track under different wheel drive towing strength. Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2019:1: 22-27 (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_37100642_88124825.pdf

10 Dobrinov A.V., Dzhabborov N.I., Sukhoparov A.I. Indicators for assessing the efficiency and environmental safety of technologies, machines and equipment for crop production. AgroEkoInzheneniya = AgroEcoEngineering. 2022; 3 (112); 39-50 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-3112-39-50

11 Alferovich V.V. Toxicity of internal combustion engines: Part 1: Analysis of the composition of exhaust gases. Minsk: BNTU, 2016. 54 p. (In Russ.) URL: https://rep.bntu.by/handle/data/27308

12 Bykov N.N., Ketsko V.N., Vecher N.N. Comparative assessment of the impact of MTA movers on the soil [on-line]. Available at: https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/17914/1/sravnitelnaya-ocenka-vozdejstviya-dvizhitelej-mta-na-pochvu.pdf (accessed 19 05. 2023) (In Russ.)

Об авторах

Нозим Исмоилович Джабборов, д-р техн. наук, профессор; ведущий научный сотрудник, отдел агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия.

nozimjon-59@mail.ru

https://orcid.org/0000-0001-8910-2625

Антон Михайлович Захаров, канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия;

bauermw@mail.ru

About the authors

Nozim I. Dzhabborov, DSc (Engineering), professor, leading researcher, Department of Agroecology in Plant Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

nozimjon-59@mail.ru

https://orcid.org/0000-0001-8910-2625

Anton M. Zakharov, Cand. Sc. (Engineering), Deputy Director on Research, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

bauermw@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-3501-0543

Илья Иванович Жуйков, аспирант, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия.

raynov96@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Н. И. Джабборов – научное руководство, формулирование концепции, постановка задачи, проведение исследований, анализ результатов исследования.

А.М. Захаров – определение методологии исследования,критический анализ результатов исследования, составление выводов и заключения, доработка текста.

И.И. Жуйков – формирование структуры статьи, анализ литературных данных, редактирование текста

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Статья поступила в редакцию: 06.06.2023

Одобрена после рецензирования:22.06.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

https://orcid.org/0000-0003-3501-0543

Ilya I. Zhuykov, post-graduate student, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

raynov96@mail.ru

Authors'contribution

N.I. Dzhabborov – research concept and guidance, problem definition, research activities and the their outcome analysis

A.M. Zakharov – development of research methods, review of research results, summary and conclusions, manuscript revision.

I.I. Zhuikov – shaping the manuscript structure, analysis of literature, editing the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Received: 06.06.2023

Approved after reviewing: 22.06.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.334 + 631.862.2 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-97-107

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Андрей Иванович Панов[1], panov@rgau-msha.ru, ORCID: https: //orcid 0000-0002-8673-0885
Николай Васильевич Алдошин[2]✉, naldoshin@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-0446-1096;
Александра Анатольевна Манохина[3], alexman80@list.ru, ORCID: https://orcid 0000-0002-9785-1164
Валентин Владимирович Семин[4], vsemin@mzpotok.ru

[1,2,3,4]Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования технологии и комбинированного агрегата для внутрипочвенного внесения больших доз жидкого навоза с помощью шланговой системы. Испытывалось орудие, состоящее из чизельного глубокорыхлителя-щелевателя с сеялкой для одновременного посева сидератов. Испытания агрегата с трактором К-700А в хозяйственных условиях позволили установить зависимости погектарного расхода жидких органических удобрений от различных конструкционных решений (ширины захвата и расстановки чизельных рабочих органов) и эксплуатационных показателей (скорости агрегата, глубины обработки почвы). Для глубокорыхлителя с максимальной шириной захвата 4,55 м, укомплектованного шестью чизельными лапами с открылками шириной захвата 0,8 м, при увеличении скорости движения агрегата с 0,44 до 0,76 м/с, норма внесения жидкого навоза снижалась с 160 до 89 т/га. При минимальной ширине захвата 3,98 м с пятью чизельными лапами без открылков при работе на скоростях движения в диапазоне от 0,48 до 0,81 м/с, при постоянных параметрах шланговой системы (давлении и расходе) норма внесения жидкого навоза изменялась в диапазоне от 132 до 68 т/га. Полученные результаты экспериментов достаточно хорошо согласуются с данными теоретической модели внесения жидких органических удобрений.

Ключевые слова: внутрипочвенное внесение, жидкое органическое удобрение, посев сидератов, комбинированный машинно-тракторный агрегат.

Для цитирования: Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Экспериментальные исследования комбинированного агрегата для внутрипочвенного внесения органических удобрений // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2 (115). С.97-108

Research article
Universal Decimal Code 631.334 + 631.862.2

EXPERIMENTAL STUDY OF A COMBINED UNIT FOR INTRASOIL INJECTION OF ORGANIC FERTILIZERS

Andrey I. Panov[1], panov@rgau-msha.ru, ORCID: https: //orcid 0000-0002-8673-0885
Nikolay V. Aldoshin[2]✉, naldoshin@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-0446-1096;
Aleksandra A. Manokhina[3], alexman80@list.ru,ORCID: https://orcid 0000-0002-9785-1164
Valentin V. Semin[4], vsemin@mzpotok.ru

[1,2,3,4] Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Abstract. The study included experiments with the technology and a combined unit for in-soil injection of large doses of liquid manure. The study used a hose hydraulic system consisting of a chisel subsoiler with a seeder for simultaneous sowing of green manure. The field tests of the unit with K-700A tractor established the dependence between the per hectare consumption of liquid organic fertilizers and the structural parameters (working width and spacing of chisel paws) and operational parameters (travelling speed, tillage depth) of the working bodies of the unit. For a subsoiler with a maximum working width of 4.55 m, equipped with six chisel shares with openers with 0.8 m working width, the increase in the travelling speed of the unit from 0.44 to 0.76 m/s, reduced the application rate of liquid manure from 160 to 89 t/ha. Under a minimum working width of 3.98 m with five chisel shares without openers, the operation at travelling speeds in the range of 0.48 to 0.81 m/s, with constant hose system parameters (pressure and flow), varied the application rate of liquid manure from 132 to 68 t/ha. The experiment outcomes turned to be in good agreement with the data of the theoretical model for the injection of liquid organic fertilizers.

Key words: subsoil application, liquid organic fertilizer, green manure sowing, combined machine-tractor unit

For citation. Panov A.I., Aldoshin N.V., Manokhina A.A., Semin V.V. Experimental study of a combined unit for intrasoil injection of organic fertilizers. AgroEcoEngineering. 2023; 2 (115): 97-108. (In Russ.)

Введение

Внутрипочвенное внесение больших доз жидкого навоза позволяет одновременно решать две важные экологические проблемы – сохранять плодородие почв и утилизировать отходы животноводческих комплексов [1] – [5].

Для внутрипочвенного внесения жидкого навоза целесообразно использовать специальные машины-инжекторы, имеющие чизельные рабочие органы для глубокого рыхления (до 40 см) почвы, обеспечивающего полную заделку больших доз (до 100 т/га и более) органических удобрений [6] – [8].

В Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева разработаны технология и комбинированный агрегат, обеспечивающие внутрипочвенное внесение жидкого навоза и одновременный посев сидератов [9].

Разработанная технология позволяет повысить использование питательных элементов жидкого навоза (до 90% аммиачного азота удобрений). Внутрипочвенная заделка жидкого навоза существенно ускоряет разложение растительных остатков и сидератов, высеваемых электропневматической сеялкой «ТП Турбо Джет Супер», установленной на раме глубокорыхлителя [10].

Проведенные теоретические исследования позволили обосновать основные параметры конструкции рабочих органов комбинированного агрегата, спроектировать и изготовить макетный образец орудия [11]. При обосновании параметров рабочих органов комбинированного агрегата для внутрипочвенного внесения органических удобрений учитывались результаты исследований и работы по внесению жидких минеральных удобрений [12] – [13].

Комбинированный агрегат оснащен распределителем-дозатором, который обеспечивает стабильную и равномерную подачу жидких органических удобрений по трубкам к каждой лапе чизельного глубокорыхлителя. Для регулировки нормы внутрипочвенного внесения жидкого навоза на агрегате установлено гидравлическое дроссельное устройство, а также расходомер KROHNE Optiflux 2100 [14]. Это оборудование позволяет в режиме реального времени измерять величину расхода жидкого навоза ($м^3$/ч), транспортируемого через шланговую гидросистему на большие расстояния и подаваемого внутрь разрыхляемых пластов почвы. Основным агротехническим требованием при внутрипочвенной инжекции жидких органических удобрений является полная инфильтрация в почву без остатков жидкости на поверхности поля [15].

Цель исследования – измерение расхода внутрипочвенного внесения жидкого навоза комбинированным агрегатом, состоящим из чизельного глубокорыхлителя-щелевателя и сеялки для посева сидератов.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования опытного образца комбинированного агрегата, изготовленного компанией «МЗ Поток» [16], проводились в 2022 г. на полях хозяйства ЗАО «Тропарёво» Можайского района Московской области при внутрипочвенном внесении жидкого свиного навоза через шланговую гидросистему на поля, расположенные на расстояниях 3…5 км от фермы (рис. 1).

Рис. 1. Общий вид комбинированного агрегата при испытаниях
Fig. 1. General view of the combined unit during the testing

Основные показатели условий испытаний определялись согласно ГОСТ 20915-2011 и были следующими: рельеф и микрорельеф среднесуглинистой почвы выровненные; в слое почвы 0…30 см твердость 65…80 кПа, абсолютная влажность 25…30%; агротехнический фон – стерня зерновых колосовых культур.

Полевые эксперименты проводились в соответствии с ГОСТ 31345–2007. Испытываемый комбинированный агрегат для внутрипочвенного внесения жидкого навоза работал с трактором К-700А, в кабину которого устанавливался GPS навигатор, с функцией записи скорости на рабочем ходу. Скорость движения при различных вариантах настройки рабочих органов комбинированного агрегата варьировала в диапазоне v = 0,44…0,81 м/с. Полевые испытания проводились при изменении параметров конструкции глубокорыхлителя (рис. 2) – различной ширине захвата машины (установкой на раме n=5 или n=6 чизельных лап с различной шириной M междуследий), а также различной ширине захвата самих лап (b = 0,345 м или b = 0,80 м) путем установки или снятия открылков лап. Таким образом исследовалось четыре варианта настройки чизельных лап при варьировании ширины захвата данной машины в диапазоне B = 3,98…4,55 м (таблица).

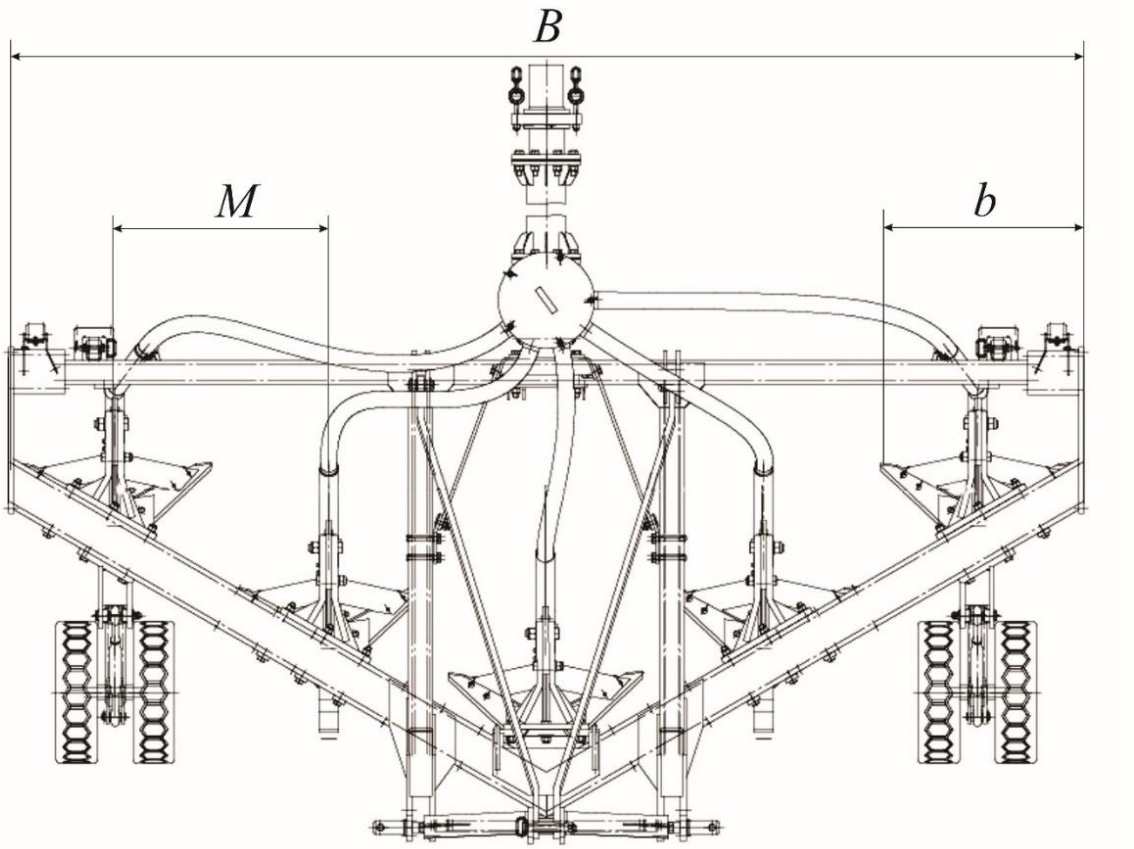


Рис. 2. Основные параметры установки чизельных лап на раме агрегата
Fig. 2. The main parameters for installing the chisel working tools on the frame of the unit

При внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений с помощью блока управления сеялкой, установленного в кабине трактора, измерялась поступательная скорость (v, м/с) агрегата и расходомером измерялся объемный расход (q, м^3/ч) жидкого навоза через шланговую гидросистему, который регулировался дросселирующим устройством на агрегате.

При эксплуатационно-технологической оценке определялась производительность чистого времени работы машины

$$W = 0,36Bv \text{, га/ч.} \quad (1)$$

Массовый расход жидкого навоза

$$q_m = q\rho / 1000 \text{, т/ч,} \quad (2)$$

где ρ - плотность жидкого навоза, кг/м^3.

Погектарный расход (норма внесения) жидкого навоза

$$Q = q_m / W \text{, т/га.} \quad (3)$$

Результаты

Проведенные испытания показали, что при всех вариантах настройки чизельных рабочих органов комбинированный агрегат устойчиво выполняет технологический процесс внутрипочвенного внесения жидкого навоза с одновременным посевом сидератов.

Агротехническая оценка работы агрегата, проведенная в соответствии с СТО АИСТ 4.2 показала, что глубина обработки чизельными рабочими органами составляла 36±2 см. Сеялка обеспечивала для мелких семян сидератов (редька масличная) норму высева 25 кг/га.

Примеры данных, полученных в результате испытаний разработанного комбинированного агрегата при внесении жидкого свиного навоза приведены в таблице и на рис. 3 и 4.

Таблица. Результаты экспериментальных исследований внесения жидкого навоза комбинированным агрегатом

Table. The results of experimental studies of the liquid manure injection with a combined unit

Ширина захвата орудия *B* = 4,55 м, при количестве чизельных лап *n*=6 шириной захвата *b* = 0,8 м				
Скорость, *v*, м/с	Производительность, *W*, га/ч	Расход объемный, *q*, м^3/ч	Расход массовый, q_m, т/ч	Норма внесения, *Q*, т/га
0,44	0,723	116,79	115,62	160
0,51	0,841	121,45	120,24	143
0,61	0,991	112,09	110,97	112
0,68	1,118	117,45	116,28	104
0,76	1,241	111,55	110,43	89
Ширина захвата орудия *B* = 3,98 м, при количестве чизельных лап *n*=5 шириной захвата *b* = 0,435 м				
Скорость, *v*, м/с	Производительность, *W*, га/ч	Расход объемный, *q*, м^3/ч	Расход массовый, q_m, т/ч	Норма внесения, *Q*, т/га
0.48	0.688	91.69	90.77	132
0.57	0.819	88.50	87.62	107
0.65	0.930	90.20	89.29	96
0.74	1.061	79.33	78.54	74
0.81	1.157	79.45	78.66	68

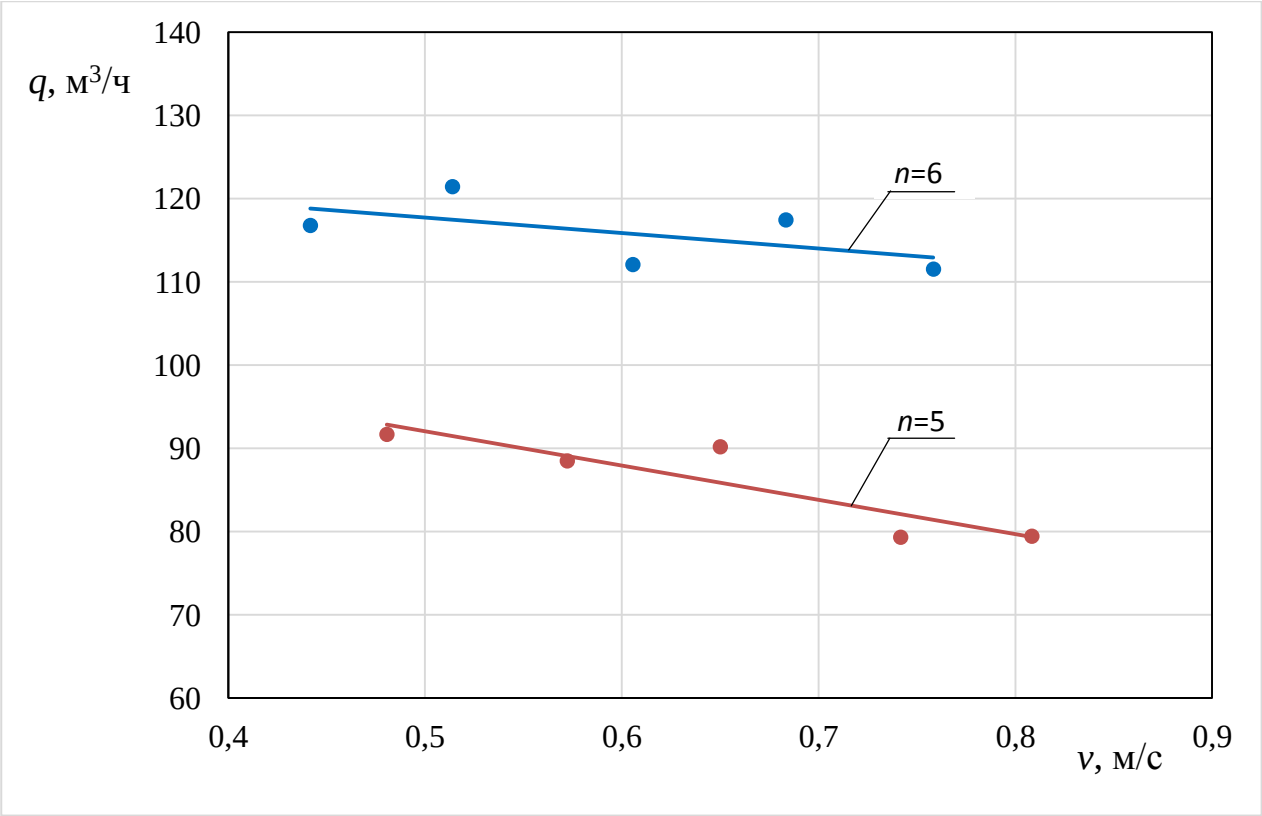


Рис. 3. Экспериментальные зависимости расхода (q, м^3/ч) жидкого навоза от скорости (v, м/с) агрегата

Fig. 3. Experimental dependences of the flow rate (q, m^3/h) of liquid manure on the forward speed (v, m/s)

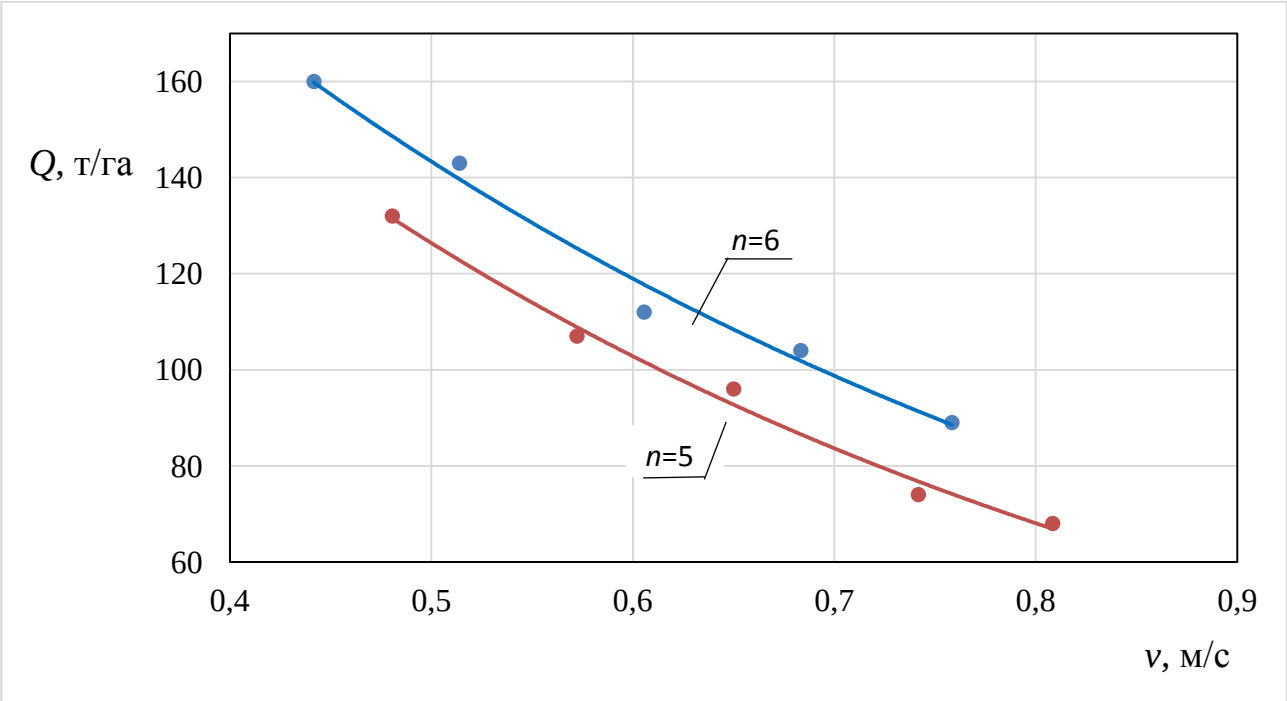


Рис. 4. Экспериментальные зависимости погектарной нормы (Q, т/га) внесения жидкого навоза от скорости (v, м/с) агрегата

Fig. 4. Experimental dependences of the per hectare norm (Q, t/ha) of injected liquid manure on the forward speed (v, m/s)

Обсуждение

Анализ данных испытаний показывает, что при увеличении скорости v движения агрегата в два раза (с 0,4 до 0,8 м/с) производительность за час чистого времени W прямо пропорционально растет, а объемный q и массовый q_m расходы жидкого навоза через шланговою гидросистему незначительно снижаются (на 6…8%).

Для глубокорыхлителя с максимальной шириной захвата 4,55 м с шестью чизельными лапами шириной захвата 0,8 м (с открылками), при увеличении скорости движения трактора с 0,44 до 0,76 м/с, норма внесения жидкого навоза снижалась с 160 до 89 т/га.

Для глубокорыхлителя с минимальной шириной захвата 3,98 м с пятью чизельными лапами шириной захвата 0,435 м (без открылков) при увеличении скорости движения трактора с 0,48 до 0,81 м/с, норма внесения жидкого навоза снижалась с 132 до 68 т/га.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что полученные результаты хорошо согласуются с данными теоретической модели внесения жидких органических удобрений, описанной в работе [17]. Отклонение предсказанных значений расхода жидкого навоза от данных, полученных в результате проведенных полевых опытов, не превышало 7%.

Выводы

1. Испытания комбинированного агрегата в хозяйственных условиях позволили установить зависимости погектарного расхода жидких органических удобрений от конструкционных параметров (ширины захвата и расстановки чизельных лап) и эксплуатационных показателей (скорости агрегата, глубины обработки почвы).

2. Для глубокорыхлителя, имеющего максимальную ширину захвата 4,55 м, укомплектованного шестью чизельными лапами с открылками шириной захвата 0,8 м, при увеличении скорости движения агрегата с 0,44 до 0,76 м/с, норма внесения жидкого навоза снижается с 160 до 89 т/га. Для минимальной ширины захвата 3,98 м с пятью чизельными лапами без открылков при работе на скоростях движения в диапазоне 0,48 до 0,81 м/с, при постоянных параметрах шланговой системы (давлении и расходе) норма внесения жидкого навоза изменялась в диапазоне от 132 до 68 т/га.

3. Полученные результаты экспериментов достаточно хорошо согласуются с данными теоретической модели внесения жидких органических удобрений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Pedersen I.F., Nyord T., Sørensen P. Tine tip width and placement depth by row-injection of cattle slurry influence initial 430 leaf N and P concentrations and final yield of silage maize // European Journal of Agronomy. 2022. Vol. 133, 126418. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126418

2. Francisco C.A.L., Loss A., Brunetto G., Gonzatto R., Giacomini S. J., Aita C., Piccolo M. D. C., Torres J. L. R., Marchezan C., Scopel G., Vidal R.F. Carbon and nitrogen in particle-size fractions of organic matter of soils fertilised with surface and injected applications of pig slurry // Soil Research. 2021. Vol. 60(1). P. 65-72 https://doi.org/10.1071/SR21020

3. Baral K.R., Pedersen I.F., Rubæk G.H., Sørensen P. Placement depth and distribution of cattle slurry influence initial 436 maize growth and phosphorus and nitrogen uptake // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2021. Vol. 184(4). P. 461-470. https://doi.org/10.1002/jpln.202000492

4. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Тюлин В.А., Голубев В.В., Сыроватка В.И., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Неменущая Л.А., Пискунова Н.А., Осмоловский П.Д. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов: аналит. обзор. М.: Росинформагротех, 2020. 92 с. https://rosinformagrotech.ru/data/elektronnye-kopii-izdanij/zhivotnovodstvo/send/6-zhivotnovodstvo/1463-innovatsionnye-tekhnologii-zagotovki-vysokokachestvennykh-kormov-2020

5. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2017. 72 с.

6. Maris S. C., Abalos D., Capra F., Moscatelli G., Scaglia F., Cely Reyes G. E., Ardenti F., Boselli R., Ferrarini A., Mantovi P., Tabaglio V., Fiorini A. Strong potential of slurry application timing and method to reduce N losses in a permanent grassland // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2021, 311. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107329

7. Алдошин Н.В., Дидманидзе Р.Н. Управление процессами кормопроизводства с неопределенным временем выполнения работ // Международный технико-экономический журнал. 2012. № 1. С. 65-70.

8. Кузнецова О.А., Кривуца З.Ф., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Евдокимов В.Г., Поликутина Е.С., Двойнова Н.Ф. Расширение функциональных возможностей колёсной энергетики // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 87-98. https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-1-87-98

9. Алдошин Н.В., Панов А.И., Манохина А.А., Семин В.В., Козлов Н.Д., Леонов А.М.Внесение жидких органических удобрений с посевом сидеральных культур // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 31(194). С. 102-111.

10 Сеялка TP TURBO-JET Super. Technik-Plus Sämaschinen e.U. [Электронный ресурс]. URL: https://www.technik-plus.eu/index.php/ru/tp-turbo-jet-super-ru (датаобращения 23.05.2023)

11 Панов. А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Тягово-энергетический расчет орудия для внутрипочвенного внесения органических удобрений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 4(69). С. 158-171. https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-4-158-171

12. Милюткин В.А., Шахов В.А., Асманкин Е.М., Ушаков Ю.А., Комаров Н.К., Смелик В.А. Исследования инновационных технологий, техники и жидких минеральных удобрений на основе карбамидно-аммиачной смеси при возделывании сельхозкультур // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4(96). С. 104-111.

13. Смелик В.А., Теплинский И.З., Первухина О.Н., Теплинский О.И. Методология оперативной оценки состояния технологической системы при выполнении работ по химизации в сельскохозяйственной производственной среде // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 40. С. 274-280.

14. Расходомер Optiflux 2100. KROHNE Group. Продукция. [Электронный ресурс] URL:https://krohne.com/k_ru/ru/pribory/izmerenie-raskhoda/raskhodomery/ehlektromagnitnye-raskhodomery/optiflux-2100 (дата обращения 23.05.2023)

15. Дыба Э.В., Бобровник А.И. К обоснованию типа рабочего органа для внутрипочвенного внесения жидкого навоза // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / отв. ред. П. П. Казакевич, С. Г.

Яковчик. Минск: Ураджай, 2016. Вып. 50. С. 40-46. URL: https://rep.bntu.by/handle/data/58443

16. Производство центробежных насосов, дизельные и электрические насосные станции, шланговые системы, технология буксируемых шлангов. Машиностроительный завод "ПОТОК". [Электронный ресурс] URL: https://mzpotok.ru/catalog/shlangi-i-komplektuyushchie (дата обращения 01.06.2023)

17. Панов. А.И., Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, В.В. Семин Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз // Агроинженерия. 2023. №2. С. 29-33. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-28-33

REFERENCES

1. Pedersen I.F., Nyord T., Sørensen P. Tine tip width and placement depth by row-injection of cattle slurry influence initial 430 leaf N and P concentrations and final yield of silage maize. European Journal of Agronomy. 2022; 133, 126418. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126418

2. Francisco C.A.L., Loss A., Brunetto G., Gonzatto R., Giacomini S. J., Aita C., Piccolo M. D. C., Torres J. L. R., Marchezan C., Scopel G., Vidal R.F. Carbon and nitrogen in particle-size fractions of organic matter of soils fertilised with surface and injected applications of pig slurry. Soil Research. 2021; 60(1): 65-72. https://doi.org/10.1071/SR21020

3. Baral K.R., Pedersen I.F., Rubæk G.H., Sørensen P. Placement depth and distribution of cattle slurry influence initial 436 maize growth and phosphorus and nitrogen uptake. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2021; 184(4): 461-470. https://doi.org/10.1002/jpln.202000492

4 Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Tyulin V.A., Golubev V.V., Syrovatka V.I., Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Nemenushchaya L.A., Piskunova N.A., Osmolovsky P.D. Innovative technologies for harvesting high-quality forages: analytical review. Moscow: Rosinformagroteh, 2020. 92 p. https://rosinformagrotech.ru/data/elektronnye-kopii-izdanij/zhivotnovodstvo/send/6-zhivotnovodstvo/1463-innovatsionnye-tekhnologii-zagotovki-vysokokachestvennykh-kormov-2020 (In Russ.)

5. Kuznetsov E.E., Shchitov S.V. Improving the efficiency of mobile energy resources in the technology of cultivation of agricultural crops: a monograph. Blagoveshchensk: DalGAU, 2017. 72 p. (In Russ.)

6. Maris S. C., Abalos D., Capra F., Moscatelli G., Scaglia F., Cely Reyes G. E., Ardenti F., Boselli R., Ferrarini A., Mantovi P., Tabaglio V., Fiorini A. Strong potential of slurry application timing and method to reduce N losses in a permanent grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2021, 311. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107329

7. Aldoshin N.V., Didmanidze R.N. Management of forage-production processes with indefinite operating period. Mezhdunarodnyi Tekhniko-Ekonomicheskii Zhurnal = International Technical and Economic Journal. 2012; 1: 65-70. (In Russ.)

8. Kuznetsova O.A., Krivutca Z.F., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E., Evdokimov V.G., Polikutina E.S., Dvoynova N.F. Expansion of wheeled power functional capabilities. Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik = Far Eastern Agrarian Bulletin. 2021; 1(57): 87-98. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-1-87-98

9. Aldoshin N.V., Panov A.I., Manokhina A.A., Semin V.V., Kozlov N.D., Leonov A.M. Introduction of liquid organic fertilizers with sowing of green crops. Izvestiya

sel'skohozyajstvennoj nauki Tavridy = Transactions of Taurida agricultural science. 2022; 31(194): 102-111. (In Russ.)

10. Seeder TP TURBO-JET Super. Technik-Plus Sämaschinen e.U. [on-line] Available at: https://www.technik-plus.eu/index.php/ru/tp-turbo-jet-super-ru (accessed 23.05.2023) (In Russ.)

11. Panov A.I., Aldoshin N.V., Manokhina A.A. Semin V.V. Traction and energy calculation of implement for intra-soil application of organic fertilizers. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University. 2022; 4 (69): 158-171 (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-4-158-171

12. Milyutkin V.A., Shakhov V.A., Asmankin E.M., Ushakov S.A., Komarova N.K., Smelik V.A. Research of innovative technologies, engineering and liquid mineral fertilizers based on carbamide-ammonia mixture for crop cultivation. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022; 4(96): 104-111. (In Russ.).

13. Smelik V.A., Teplinsky I.Z., Pervukhina O.N., Teplinsky O.I. Methodology rapid assessment of the technological system at performance of works on application of chemicals in agricultural production environment. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University. 2015; 40: 274-280 (In Russ.)

14. Flow meter Optiflux 2100. KROHNE Group. Products. [on-line] Available at: https://krohne.com/k_ru/ru/pribory/izmerenie-raskhoda/raskhodomery/ehlektromagnitnye-raskhodomery/optiflux-2100 (accessed 23.05.2023)

15. Dyba E.V., Bobrovnik A.I. To substantiate the type of working body for intra-soil application of liquid manure. // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva: mezhvedomstvennyj tematicheskij sbornik = Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection. / P. P. Kazakevich, S. G. Yakovchik (eds.) Minsk: Uradzhai, 2016; 50: 40-46. (In Russ.) URL: https://rep.bntu.by/handle/data/5844315.

16. Manufacture of centrifugal pumps. Diesel/el pumping stations. Hose systems / towed hoses technology. Machine-building plant “POTOK” (Russia) [on-line]. URL: https://mzpotok.ru/catalog/shlangi-i-komplektuyushchie (In Russ.) (accessed 01.06.2023)

17. Panov, A.I., Aldoshin, N.V., Manokhina, A.A., Semin, V.V. Assessment of the application rates of liquid manure sub-soil injection. Agroengineering. 2023;2; 29-33. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-28-33

Об авторах

Панов Андрей Иванович - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО «Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени К.А. Тимирязева». spincode: 3511-1082, Scopus author ID: 57221478540, Researcher ID: AAD-5456-2022, panov@rgau-msha.ru, ORCID: https: //orcid 0000-0002-8673-0885

About the authors

Andrey I. Panov - Candidate of Technical Sciences, docent, docent of the Department of Agricultural Machinery, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spincode: 3511-1082, Scopus author ID: 57221478540, Researcher ID: AAD-5456-2022. panov@rgau-msha.ru,
ORCID: https: //orcid 0000-0002-8673-0885

Алдошин Николай Васильевич - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО «Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».
naldoshin@yandex.ru,
ORCID:https://orcid.org/ 0000-0002-0446-1096;

Nikolay V. Aldoshin - Doctor of Technical Sciences, professor, chief of the Department of agricultural machinery, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spin-code: 6032-9021, Scopus author ID:5719413129, Researcher ID: AAD-6548-2022.

Манохина Александра Анатольевна - д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».
alexman80@list.ru,
ORCID https://orcid 0000-0002-9785-1164

Aleksandra A. Manokhina - Doctor of Agricultural Sciences, docent, professor of the Department of agricultural machinery, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spin-code:5377-5938, Scopus author ID:57204156373, Researcher ID: AAX-3297-2020.

Семин Валентин Владимирович - аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени К.А. Тимирязева». vsemin@mzpotok.ru

Valentin V. Semin - postgraduate student, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.

Contribution of the authors. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Conflict of interests

The authors state that there is no conflict of interest.

All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Статья поступила в редакцию: 05.06.2023
Одобрена после рецензирования: 27.06.2023
Принята к публикации: 30.06.2023

Received: 05.06.2023
Approved after reviewing: 27.06.2023
Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.22 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-108-122

АНАЛИЗ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ФЕРМАХ КРС

Сергей Владимирович Ковалёв[1], [1] kovalyov.sv@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-1310-4283
Владислав Владимирович Гордеев[2]✉, vladgordeev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6181-396X
Татьяна Юрьевна Миронова[3], mironova-tat@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6959-049X

[1,2,3] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Одним из основных природных ресурсов при производстве молока является вода. Она необходима на всем цикле производства: для поения и приготовления кормов, промывки доильного и технологического оборудования, охлаждения молока, обработки производственных помещений, ветеринарного обслуживания коров. Установленное оборудование и методы управления молочной фермой оказывают значительное влияние на количество расходуемой воды. Так как запасы водных ресурсов постепенно истощаются, то сокращение и оптимизация их потребления имеют ключевое значение в сельскохозяйственном секторе. Для определения водопотребления на фермах КРС был применен метод поисковых исследований, предусматривающий анализ результатов выполненных научных работ по данной теме. Проанализировано количество воды, затрачиваемое на каждую технологическую операцию, и технико-технологические решения, направленные на водосбережение при производстве молока на фермах КРС. Отмечено, что в рассмотренных исследованиях использованы различные технические решения водообеспечения, отсутствует подробная информация о методах измерения и оценки потребности в воде, их применение к конкретному коровнику во многих случаях невозможно. Для сокращения количества и обеспечения эффективного потребления воды на фермах КРС необходимо осуществлять контроль ее расхода, оптимизировать производственные процессы с внедрением ресурсосберегающих технологий и оборудования. Сюда может быть отнесено вторичное использование сточных вод после их очистки для уборки загрязненных навозом площадей, направление воды после охлаждения молока для поения животных, реализация новых способов очистки вымени, совмещение применения высоконапорных моющих установок со средствами предварительной уборки.

Ключевые слова: расход воды, водосбережение, молочная ферма, технологический процесс, техническое решение

Для цитирования: Ковалев С.В., Гордеев В.В., Миронова Т.Ю. Анализ водопользования на фермах КРС // АгроЭкоИнженерия. 2023. №2(115). С. 108-123

Research article
Universal Decimal Code УДК 631.22

ANALYSIS OF WATER USE ON CATTLE FARMS

Sergey V. Kovalev[1], [1] kovalyov.sv@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-1310-4283
Vladislav V. Gordeev[2]✉, [2] vladgordeev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6181-396X
Tatiana Yu. Mironova[3], mironova-tat@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6959-049X

[1,2,3] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. One of the main natural resources in milk production is water. It is required throughout the production cycle: to drink the animals and prepare the feed, to wash the milking and milk treatment equipment, to cool the milk, to clean the production facilities, and in veterinary care of cows. The equipment installed and dairy farm management practices have a major effect on the amount of water consumed. Since water resources are gradually depleting, to reduce and optimize their consumption is of key importance in the agricultural sector. To determine the water usage on cattle farms, the method of exploratory research was applied. It involved the analysis of the results of scientific works on this topic. The study considered the amount of water required for each technological operation and technical and technological solutions aimed at water saving in milk production on cattle farms. The reviewed investigations proposed different technical water supply solutions. However, the studies provided no detailed information on methods of measurement and estimation of water requirements. Therefore in many cases they seemed inapplicable to specific cowsheds. In order to reduce the amount and ensure efficient water consumption in cattle farms, it is necessary to control its consumption, optimize production processes with the introduction of resource-saving technologies and equipment. These may include the recycling of wastewater after its treatment for cleaning manure contaminated areas, the use of water after milk cooling for cow drinking, application of new methods of udder cleaning, and combining the high-pressure washing units with pre-cleaning devices.

Key words: water consumption, water saving, dairy farm, technological process, technical solution

For citation: Kovalev S.V., Gordeev V.V., Mironova T. Yu. Analysis of water use on cattle farms. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 108-123. (In Russ.)

Введение

Одним из основных природных ресурсов, использующихся при производстве молока, является вода. По прогнозам, запасы пресной питьевой воды по последним данным стабильно снижаются[20]. Независимо от этого, поголовье скота, согласно статистике за несколько лет, критически не изменяется[21].

[20] Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
[21] Сельское хозяйство в России. 2021: Стат.сб./Росстат С 29. М., 2021. 100 с.

Сокращение количества и обеспечение эффективного использования воды на фермах КРС поможет снизить данную нагрузку и способствовать более устойчивому управлению имеющимися водными ресурсами.

На молочных фермах вода используется на всем цикле производства молока (рис. 1).

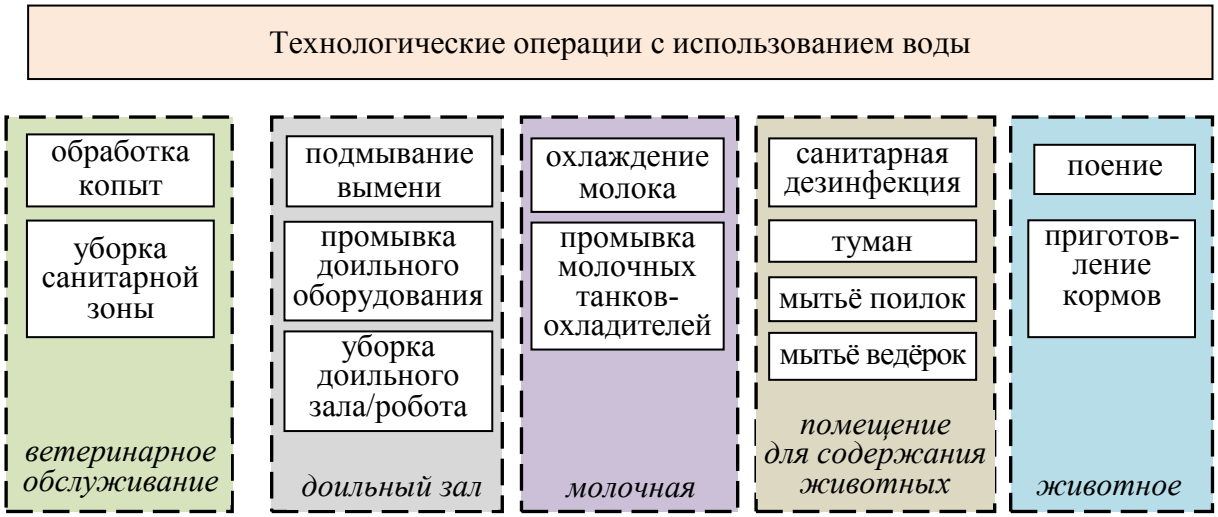


Рис.1. Технологические операции, требующие расхода воды при производстве молока
Fig. 1. Technological operations requiring water consumption in milk production

Основное количество воды расходуется на потребление животными и по различным данным составляет от 68 % [1] до 82% [2] от общего потребления воды на технологические операции на ферме. В помещении для содержания животных вода расходуется на мытьё поилок КРС и ведёрок для выпойки телят; санитарную дезинфекцию помещений, клеток содержания телят и профилактория; а в жаркий период года может расходоваться и для уменьшения теплового стресса коров с использованием систем водоиспарительного охлаждения (тумана). Вода используется при доении, которое при беспривязном способе содержания осуществляется в доильном зале или на автоматизированных доильных установках (доильных роботах). Здесь вода расходуется на подмывание вымени коров перед доением, промывку доильного оборудования, мытьё полов и наружной части доильной установки. По данным исследований [3] на уборку и эксплуатацию доильного зала приходится около 14% от воды, используемой на ферме, при этом количество циклов, проводимых операций, соответствует количеству доений и, как правило, составляет 2 или 3. В отличие от доильного зала санитарная зона в большинстве случаев, при беспривязном содержании, моется 1 раз в сутки. Еще одной технологической операцией, связанной с расходом воды, может являться обработка копыт, если для этого используются специальные растворы, ванны с которыми устанавливают, чаще всего, на выходе из доильного зала. После доения молоко необходимо охладить, для чего в большинстве случаев, также используется вода.

В исследованиях [3] приводится общий расход воды (включая потребление животными, очистку доильного оборудования, хозяйственно-бытовые нужды) для привязного способа содержания – 101,8 л/гол. в сутки, а для беспривязного содержания с доением в доильном зале – 134,6 л/гол. в сутки, при роботизированном доении – 168,8 л/гол. в сутки. При отсутствии подробной информации о климатических условиях, методах,

используемых для измерения и оценки потребности в воде, применение общих данных о количестве используемой воды к конкретному коровнику остается неопределенным. Немаловажным фактором, влияющим на расход воды, является способ содержания коров, а так же оборудование и методы управления им.

Цель работы – анализ технологических операций с использованием воды и технико-технологических решений, направленных на водосбережение при производстве молока на фермах КРС.

Методы исследований

Для определения использования воды на ферме КРС был применен метод поисковых исследований, предусматривающий анализ существующих исследований по данной тематике и разработку предложений для ведения дальнейших разработок в сельскохозяйственной сфере.

Результаты и обсуждение

Больше всего вода на ферме КРС используется для приготовления кормов и поения животных. Нормативные значения потребления воды на фермах и комплексах крупного рогатого скота по производству молока представлены в методических рекомендациях[22].

Сократить расход воды на эти нужды не представляется возможным. Организм животного находится в состоянии постоянного обмена веществ с окружающей внешней средой, в котором непременно участвует вода. В работе [4] указано, что молоко на 87% состоит из воды, поэтому около 34% потребленной воды выводится из организма коровы за счет производства молока. Остальная вода выводится за счет фекальной экстракции 31%, экстракции мочи 17%, выделения пота и потерь пара из легких 18%.

Потребность в питьевой воде дойных коров была исследована многими зарубежными авторами, включая Cardot V. [5], Holter J.B. [6], Meyer U. [7], и Murphy M.R. [8]. Все авторы оценивали ежедневное потребление питьевой воды коровами в зависимости от влияющих факторов, таких как удой коров, живая масса, доминантность коров, содержание сухого вещества в корме, потребление сухого вещества, день года, количество осадков, температура воздуха, температура питьевой воды и потребление натрия. Авторы использовали различные переменные для оценки потребления питьевой воды. Некоторые переменные зависели друг от друга; например, потребление сухого вещества зависело от живой массы животных, а удой молока от потребления сухого вещества. Согласно исследованиям [9], 88 коров в группе с автоматической доильной системой пьют в среднем 8,0 м^3 воды в день. Это эквивалентно 91,1 л воды на корову в день или 2,6 л на 1 кг молока. 92 коровы в группе с доением в доильном зале «Ёлочка» 2×7 выпивали в среднем 5,0 м^3 воды в день, что представляет собой среднюю потребность в питьевой воде 54,4 л воды на корову в день или 2,1 л на 1 кг молока. По результатам отечественных исследований [10], на основании экспериментальных данных, установлена взаимосвязь между индексом температуры и влажности (THI) и уровнем водопотребления коровами. При изменении индекса THI с 61 до 73, потребление воды на одну голову менялось с 77 до 91 литра. При этом уровень потребления воды через поилку, на 1 кг надоенного молока, составлял 2,06±0,13 литров. В работе [11] приведен среднесуточный показатель потребления воды через поилку одним

[22] Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.01-18. М.: Росинформагротех, 2018. 166 с.

животным на образование 1 литра молока и составил 2,39 л, при суточном удое 38,4 л, температуре воды в поилках 7,7°С. В исследовании [120] установлено, что при отсутствии подогрева воды в холодное время года и средней температуре воды в поилках +2°С опытные животные пили в среднем 6,4 раза в сутки, затрачивая на это 2,1 минуты. Надои молока при этом составили 20,5 кг. При подогреве температуры воды в поилках до +12°С эти же животные подходили к автопоилке среднем 9,1 раз в сутки, затрачивая на поение 4 минуты, а удои молока повысились на 0,9 кг.

Важно использовать воду для поения наиболее эффективно. Одним из основных факторов, влияющих на объем воды, потребляемой коровой, является температура воды. Обнаружено много исследований связанных с установлением оптимальной температуры воды, но итоговые значения различаются. Некоторые авторы утверждают, что оптимальной температурой воды для поения КРС считается +8…+12°С [13,14], а более теплая вода не освежает животного. В свою очередь, при потреблении воды с температурой свыше 20°С, организм животного становится восприимчивее к простудным заболеваниям. Поение холодной водой вызывает у животного переохлаждение организма, появление простудных заболеваний, нарушение пищеварения. Кроме того, существенно влияют перебои в поставке воды животным и несоблюдение зоотехнических требований, предъявляемых к воде, на продуктивность коров на 10-15% [15]. По результатам исследования другого автора [160], оптимальной считается температура воды от +10 до +16°С. Авторы в своих исследованиях [13] утверждают, что коровы предпочитают воду с температурой 17–28°С, причём в зимнее время коровы отдают предпочтение более тёплой воде. По вопросу улучшения качества поения, а также по снижению энергозатрат на подачу подогретой воды было обнаружено большое количество исследований. В исследовании [17] проводится анализ потребительских свойств средств нагрева воды российских производителей. Помимо этого приводится сравнение технико-экономических показателей, таких как мощность оборудования, емкость бака, температура нагрева, масса установки. Представлены особенности работы различных нагревательных установок [17]. В работе другого автора [4] рассмотрено устройство для бесперебойного снабжения животных водой оптимальной температуры. Составлена математическая модель теплового потока в водопроводной трубе для установившегося процесса. Данные исследования [4] позволяют оптимизировать параметры устройства для поения коров водой оптимальной температуры при минимальных потерях теплоты. Помимо температуры, на потребление воды оказывают влияние конструктивные особенности поилки. К конструктивным недостаткам индивидуальных средств автопоения авторы [18] относят: снижение комфортности потребления воды животным из поильной чаши; загрязнение поильной чаши остатками корма. Это приводит к стрессовым состояниям животного, дополнительным затратам труда на технологическое обслуживание поилок, дополнительному – непроизводственному расходу воды на санитарную обработку поилок. Коровы предпочитают пить воду из открытых групповых поилок [13,18], а глубина воды в поилках должна быть как минимум 15 см [130].

Одним из главных недостатков групповых поилок является большой объем воды, который сливается при промывке и попадает в систему навозоудаления (рис. 2). При этом дальнейшее ее использование невозможно без очистных мероприятий, в виду того, что в ней присутствуют частицы корма, слюна, а так же возможно попадание навоза ввиду несовершенства конструкции. Для устранения вышеперечисленных недостатков и повышенных тепловых потерь через ограждающие поверхности групповой поилки в

исследовании [18] представлена принципиальная схема резервирования, подогрева воды, её распределения по средствам автопоения, сбора и обработки оборотной воды в процессе автопоения путем ее фильтрации и электродного нагрева с целью повторного использования в технологическом процессе. Особенностью конструктивного решения является новый структурный технико-технологический элемент в виде индивидуального поильного стакана, который снижает загрязненность системы автопоения. Основными направлениями дальнейшего совершенствования конструкции групповых поилок являются: снижение объема поилки и как следствие сливаемой воды; создание системы централизованного слива воды из поилок для дальнейшего использования в технических нуждах; внедрение систем автоматической очистки воды в поилке.

Рис. 2. Слив питьевой воды при очистке поилки в систему навозоудаления
Fig. 2. Drainage of drinking water into the manure removal system when cleaning the drinker

Кроме потребления коровами, большой объем воды используется для охлаждения свеженадоенного молока и занимает второе место по расходу воды на ферме. Рекомендуемое потребление воды, например, при использовании пластинчатого охладителя, должно превышать производство молока в 2 раза [1;19]. Вода, использованная для охлаждения молока, может повторно использоваться для поения животных и приготовления кормов. Большинство авторов занимались улучшением эффективности охлаждения молока. В исследовании [20] предлагаются к использованию модули охлаждения молока с использованием природного холода и низкотемпературных хладоносителей, что позволяет сократить объем воды, используемой для охлаждения. Модуль представляет собой блок предварительного охлаждения молока, где вместо грунтовых вод применяется замкнутый контур с низкотемпературным хладоносителем. Проведена оценка энергоэффективности разработанной системы охлаждения в зависимости от конфигурации оборудования. Применение данной системы позволяет снизить потребление электроэнергии на охлаждение 1 тонны молока на 15-17 кВт·ч, что в среднем сократит финансовые затраты на 50%. Авторы предлагают внедрение в фермерские хозяйства молочного направления к уже существующим системам охлаждения разработанного энергосберегающего модуля. В

другом исследовании [21] разработана система охлаждения молока с использованием биогаза в качестве источника энергии и технологии тригенерации, срок окупаемости которой составляет 4 года и 2 месяца. Обоснована эффективность и экономическая целесообразность применения систем автономного энергообеспечения на молочно-товарных фермах по сравнению с традиционными схемами энергоснабжения, если в качестве источника энергии использовать биогаз [21].

Эффективно снижать температуру молока до необходимых значений позволяет использование молочного танка с комбинированной системой охлаждения молока (рис. 3). Преимуществом данной системы является сокращение использования воды для охлаждения молока.

Рис. 3. Молочный танк с использованием комбинированной системы охлаждения молока
Fig. 3. Milk tank with combined milk cooling system

Рассмотрены работы по оптимизации использования воды для санитарной обработки вымени. В исследовании [22] представлены данные по использованию воды в роботизированных доильных системах. Так в системе с очищением сосков коровы вращающимися щетками затрачивается 11 л/гол./сут., а с помощью водяной бани внутри специальной сосковой чашки – 20 л/гол./сут. В другом исследовании [9] отмечено, что для очистки вымени требуется 1,7 л/гол. за разовое доение. В работе [23] указано, что разница в количестве затрачиваемой воды на голову в сутки в зависимости от используемых технических средств может достигать 1,8 раза. Так же представлена линия подмывания вымени, которая позволяет сократить время цикла до 118 с и расход воды на 20-28%. Использование одноразовых гигиенических салфеток позволяет исключить использование воды для подмывания вымени. При этом остаются нерассмотренными экологические аспекты их утилизации.

Проводились исследования по изучению расхода воды на промывку доильного оборудования. Согласно исследованиям [24] среднее использование промывочной воды варьировалось от низкого уровня 6 л/гол./сут. до более 28 л/гол./сут. Для молочных хозяйств с доением в молокопровод среднесуточная выработка промывочной воды составляет 14 л/гол./сут., а для хозяйств с доильным залом она лишь немного выше – 17 л/гол./сут.

Другие авторы [9] указывают, что для промывки молочного оборудования в доильном зале «Ёлочка» 2×7 при двухразовом доении требовалось 7,6 л/гол./сут. В исследовании [3] количество воды, затрачиваемой на промывку оборудования при привязном содержании, составляло 30,2 л/гол./сут. В исследовании [25] представлены данные о среднем значении расхода воды 28,1 л/гол./сут. для мытья доильной системы. В исследовании [22] был измерен объем и определен состав используемой воды, полученной при промывке доильного оборудования на 29 различных молочных фермах с доением в молокопровод, роботизированными системами и в доильном зале.

Вопрос повышения эффективности очистки доильного оборудования рассматривался в работах ряда авторов, и представляет собой технологические решения, направленные на снижение уровня загрязнения в доильных установках и оборудовании. В одной из работ [26] представлена функционально-морфологическая модель системы санитарной обработки с автоматом промывки и выбран наиболее целесообразный вариант – многократное применение механических очистителей в сочетании с воздушно-жидкостным потоком при их подаче по перепаду давления в начало молокопровода. В другой работе [27] проводится сравнительная оценка эффективности пенообразующих моющих средств и обоснование рациональных режимов обработки ими молочного оборудования с учетом используемых конструкционных материалов. В результате сравнительных испытаний определено наилучшее пенообразующее средство для очистки, установлены оптимальные рабочие параметры и характеристика моющей способности на разных материалах.

Рассматривались работы по изучению использования воды при уборке помещений, а так же по уменьшению сточных вод. Согласно действующим нормативным документам расход воды на регулярную уборку пола преддоильных и последоильных площадок – 5 л/м^2 [1], а количество навозных стоков, образующихся от одной головы на доильных площадках, составляет 20 л/сут[23]. Проводились исследования по использованию воды для очистки доильного зала. В проведенном исследовании [28] воды для мытья доильного зала было использовано 58,9 ± 2,3 л/гол./сут. (в диапазоне 57,5 ± 3,0 летом и до 60,9 ± 3,4 зимой). Исследования [3] показывают, что в доильном зале воды используется меньше чем на автоматических доильных системах. Количество воды, затрачиваемое в доильном зале, составило 20,5 л/гол./сутки, при использовании автоматических доильных систем – 74,7 л/гол./сутки. Согласно другим исследованиям [1], проведенным на ферме с трёхразовым доением, расход воды при мытье пола из шланга составил 22,9 л/гол./сут. В исследовании [9] указано, что для уборки помещения в доильном зале "Ёлочка" 2×7 использовалось 21,7 л/гол./сут. воды при двухразовом доении. На уборку площадки автоматической доильной системы тратилось 28,6 л/гол./сут. при трехразовом доении. В работе [29] проводился мониторинг фактически расходуемого в доильном зале типа «Параллель» количества воды, поступающей впоследствии в систему навозоудаления. Среднесуточный расход воды в доильном зале, затрачиваемый на корову составил 24,3 л/гол, т.е. 8,1 л на голову за разовое доение. При этом отклонение от действующих нормативных значений составило более 20%, что указывает на необходимость более глубокого изучения причин не соответствия.

Наибольшее влияние на расход воды при уборке доильного зала оказывают площадь мытья и используемые технические средства. Для мытья пола могут использоваться шланги, мойки высокого давления или гидросмывные системы (рис.4).

[23] РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех, 2017. 173 с

а) a) б) b)

Рис. 4. Уборка доильного зала с помощью: *а) шланга; б) мойки высокого давления*

Fig. 4. Milking parlour cleaning a*) with hose; b) with high-pressure equipment*

Зарубежные исследования[24] подтверждают, что использование смывной системы для мытья пола доильного зала требует воды более чем в 5 раз по сравнению с использованием шланга. Исследования [9] указывают, что использование высоконапорной установки приводит к уменьшению расхода воды в расчёте на 1 м^2 в 1,6 раза, однако исследования проведены на разных доильных установках, что не позволяет сделать однозначных выводов. Еще одним вариантом снижения расхода воды может быть использование автоматических доильных установок. Автоматические доильные установки занимают меньшие площади по сравнению с доильным залом, а, следовательно, требуют меньшее количество воды для их очистки. Исследования [9] показывают сокращение площади мытья в 2 раза, с 70 м^2 до 35м^2 при использовании двух автоматических доильных установок по сравнению с доильной установкой «Елочка 2х7» для доения двух сопоставимых по количеству коров групп. Но исследования [3] показывают, что в расчете в л/гол. в сутки автоматические доильные системы используют в 3,6 раза больше воды, чем доение в доильном зале. Использование технических средств для предварительной очистки пола сводит к минимуму количество твердых веществ на моющейся поверхности, что должно способствовать меньшему количеству воды, необходимой для мытья, однако точных данных и подтверждающих исследований не приводится.

Одной из операций, требующей расхода воды, является обработка копыт, которую обычно проводят на выходе из доильного зала. Чаще всего для этого в хозяйствах используется две ванны: с чистой водой – для промывки копыт животных перед основной обработкой и с раствором – для их обработки. Раствор в ваннах объемом 200-250 л меняют после прохода через неё 200-250 коров [30]. Частоту обработки определяют с учетом количества коров, имеющих проблемы с копытами, и чистоты в коровнике. Рекомендуется при благоприятных условиях проводить обработку два раза в неделю, а при неблагоприятных – ежедневно [30]. Использованный раствор поступает в навоз.

Рассмотренные технологические операции охватывают весь технологический процесс производства молока на ферме КРС. Сократить расход воды на некоторые из них, такие как: поение, приготовление кормов, промывку молочного оборудования не представляется

[24] Manure Management: Dairy [Электронный ресурс]. URL: https://ebrary.net/207585/environment/manure_management_dairy#1449464. (дата обращения 27.02.2023).

возможным. В некоторых операциях возможно исключение расхода воды, в частности по обработке копыт, подмыванию вымени, охлаждению молока, при этом целесообразна оценка эффективности альтернативных технологий.

Для сокращения количества и обеспечения эффективного использования воды на фермах КРС необходимо осуществлять контроль расхода воды, оптимизировать производственные процессы с внедрением ресурсосберегающих технологий и оборудования. К ним может быть отнесено вторичное использование сточных вод после их очистки для уборки загрязненных навозом площадей, повторное использование воды после охлаждения молока для поения, применение новых способов очистки вымени, использование моющих высоконапорных установок совместно со средствами предварительной уборки.

Выводы

В связи с повышенным вниманием к сохранению водных ресурсов в сельскохозяйственном секторе важно понимать количество используемой воды на животноводческих предприятиях. При исследованиях расхода воды на фермах КРС большинство авторов охватывают один или несколько технологических процессов, что не дает полноценного представления о водном балансе фермы.

В изученных исследованиях по мониторингу использования воды отсутствует подробная информация о методах, используемых для измерения и оценки потребности в воде, применение к конкретному коровнику во многих случаях остается неопределенным. Технические решения, представленные в изученных работах, носят разрозненный характер, и возможность совместного использования не рассматривается. Среди рассмотренных работ отсутствуют технические решения, направленные на снижение расхода воды при очистке поилок.

При проведении технологических операций на количество используемой воды значительное влияние оказывает применяемое оборудование, методы управления молочной фермой и климатические условия. На основании этого необходимо провести анализ факторов и определить их влияние на водопользование, разработать математические модели оптимизации расхода воды при выполнении технологических процессов и технологические решения по вторичному использованию сточных вод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Le Riche E.L., VanderZaag A.C., Burtt S., Lapen D.R., Gordon R. Water use and conservation on a free-stall dairy farm // Water. 2017. Vol. 9. Art. 977. https://doi.org/10.3390/w9120977

2. Drastig K., Prochnow A., Kraatz S., Klauss H., Plöchl M. Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany) // Advances in Geosciences. 2010. Vol. 27. P. 65-70. https://doi.org/10.5194/adgeo-27-65-2010

3. Robinson A.D., Gordon R.J., Vanderzaag A.C., Rennie T.J., Osborne V.R. Usage and attitudes of water conservation on Ontario dairy farms // The Professional Animal Scientist. 2016. Vol. 32. P. 236-242. https://doi.org/10.15232/pas.2015-01468

4. Катков А.А., Лукманов Р.Л., Ковалев П.В. Обоснование параметров устройства для поения коров подогретой водой // Вестник Ульяновской государственной

сельскохозяйственной академии. 2018. № 4(44). С. 26-30. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-26-30

5. Cardot V., Le Roux Y., Jurjanz S. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake // J. Dairy Sci. 2008. Vol. 91. P. 2257-2264. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204.

6. Holter J.B., Urban W.E., Jr. Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows // J. Dairy Sci. 1992. Vol. 75. P. 1472–1479. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77904-1

7. Meyer U., Everinghoff M., Gädeken D., Flachowsky G. Investigations on the water intake of lactating dairy cows // Livest. Prod. Sci. 2004. Vol. 90. P.117-121. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005

8. Murphy M.R., Davis C.L., McCoy G.C. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation // J. Dairy Sci. 1983. Vol. 66. P. 35-38.

9. Krauß M, Drastig K, Prochnow A, Rose-Meierhöfer S, Kraatz S. Drinking and cleaning water use in a dairy cow barn // Water. 2016. Vol. 8(7). Art. 302. https://doi.org/10.3390/w8070302

10. Гордеев В.В., Хазанов В.Е., Вторый С.В., Ильин Р.М. Анализ организации водообеспечения коров летом при беспривязном содержании // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. №3(100). С.146-153. https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10197

11. Вторый В.Ф., Вторый С.В., Ильин Р.М. Оценка влияния основных факторов на водопотребление дойных коров // АгроЭкоИнженерия. 2021. №2 (107). С.106-115.

12. Шматко Н.Н., Музыка А.А, Кирикович С.А., Москалев А.А., Тимошенко М.В. Водообеспечение коров на селекционно-племенной молочной ферме // Зоотехническая наука Беларуси. 2016. Т.51 №2. С. 325-333.

13. Юхин Г.П., Катков А.А., Макаровская З.В., Аверкиев А.А. Циркуляционная система водоснабжения в коровнике с подогревом // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. №5(55). С. 89-90.

14. Оболенский Н.В., Шевелев А. В. Основные направления модернизации систем поения на фермах КРС // Вестник НГИЭИ. 2016. № 10(65). С. 111-118.

15. Сёмин А. Комфортная среда обитания коровы – залог хорошего здоровья и продуктивного долголетия // Молочная промышленность. 2013. № 7. С. 20.

16. Бабий С. Влияние поения на удой // Сельскохозяйственные вести. 2012. №1. С. 46.

17. Чувашев В.Н., Долгалев Г.Ф. Современное состояние и развитие средств нагрева воды для животноводства // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 3(23). С. 190-192.

18. Поцелуев А.А., Назаров И.В., Толстоухова Т.Н. Системы водо- и теплообеспечения процесса автопоения на откорме ресурсосберегающей направленности // Вестник аграрной науки Дона. 2019. №4(48). С. 55-61.

19. Effective Use of Water on Dairy Farms. Cirencester, UK: Milk Development Council. 2007. 40 p.

20. Дорохов А.С., Павкин Д.Ю., Иванов В.В., Коршунов А.Б. Энергосберегающий модуль для охлаждения молока с использованием природного холода и низкотемпературных хладоносителей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020 Т. 67 №3(40). С. 3-8. https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-3-3-8

21. Сапожников В.Б., Ильин А.В. Охлаждение молока на фермах с применением тригенерации и биогаза // Молочная промышленность. 2020. № 3. С. 57-59. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-03-57-59

22. House H.K., Hawkins B. C., Barkes B. C. Measuring and characterizing on-farm milking centre washwater volumes // ASABE Paper No. 1908138. St. Joseph, MI: ASABE Publ. 2014.

23. Поцелуев А.А. Ресурсосберегающие системы водообеспечения технологических процессов по обслуживанию крупного рогатого скота: дис. … док. техн. наук. М., 2011. 441 с.

24. Hawkins B., Barkes B. Handling milking centre washwater // Nutrient Management Act 2002. Factsheet 14-047. 2014. P. 8.

25. Vanderzaag A.C., et al. Case study: Water budget of a dairy farm with a tie-stall barn for milk cows and summer pasturing of heifers and dry cows // The Professional Animal Scientist. 2018. Vol. 34. P. 108-117. https://doi.org/10.15232/pas.2017-01654

26. Матвеев В.Ю., Заикин В.П., Маслов М. М. Разработка функционально-морфологической модели системы санитарной обработки доильной установки // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 85-90. https://doi.org/10.28983/asj.y2020i3pp85-90

27. Завражнов А.И., Матушкин П.А. Обоснование технологических параметров процесса мойки молочного оборудования, применяемого в сельскохозяйственном производстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1(60). С. 100-107. https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.1.100

28. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., Gordon R. Blue and grey water footprints of dairy farms in Kuwait // Journal of Water Resource and Protection. 2020. Vol. 12. P. 618-635. https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.127038

29. Гордеев В.В., Миронова Т.Ю., Гордеева Т.И., Ильин Р.М., Миронов В.Н. Расход водных ресурсов для уборки доильного зала типа «Параллель» // АгроЭкоИнженерия. 2021. №4(109). С. 117-125. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-117-124

30. Тимошенко В. Музыка А., Москалёв А., Ковалевский И. Сохраняем здоровье копыт // Животноводство России. 2015. № 1. С. 33-35.

REFERENCES

1. Le Riche E.L., VanderZaag A.C., Burtt S., Lapen D.R., Gordon R. Water use and conservation on a free-stall dairy farm. Water. 2017; 9. Art. 977. https://doi.org/10.3390/w9120977

2. Drastig K., Prochnow A., Kraatz S., Klauss H., Plöchl M. Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). Advances in Geosciences. 2010; 27: 65-70. https://doi.org/10.5194/adgeo-27-65-2010

3. Robinson A.D., Gordon R.J., Vanderzaag A.C., Rennie T.J., Osborne V.R. Usage and attitudes of water conservation on Ontario dairy farms. The Professional Animal Scientist. 2016; 32: 236-242. https://doi.org/10.15232/pas.2015-01468

4. Katkov A.A., Lukmanov R.L., Kovalev P.V. Parameter justification of a device for giving heated water to cows. Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018; 4(44): 26-30 (In Russ.) https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-26-30

5. Cardot V., Le Roux Y., Jurjanz S. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. J. Dairy Sci. 2008; 91: 2257-2264. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204.

6. Holter J.B., Urban W.E., Jr. Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows. J. Dairy Sci. 1992; 75: 1472–1479. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77904-1

7. Meyer U., Everinghoff M., Gädeken D., Flachowsky G. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. Livest. Prod. Sci. 2004; 90: 117-121. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005

8. Murphy M.R., Davis C.L., McCoy G.C. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. J. Dairy Sci. 1983; 66: 35-38.

9. Krauß M, Drastig K, Prochnow A, Rose-Meierhöfer S, Kraatz S. Drinking and cleaning water use in a dairy cow barn. Water. 2016; 8(7). Art. 302. https://doi.org/10.3390/w8070302

10. Gordeev V.V., Khazanov V.E., Vtoryi S.V., Ilin R.M. Organization of summer water supply of cows under the loose housing system. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2019; 3(100):146-153 (In Russ.) https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10197

11. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V., Ilyn R.M. Assessment of main factors effect on water consumption of milking cows. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2021; (107):106-115 (In Russ.)

12. Shmatko N.N., Muzyka A.A, Kirikovich S.A., Moskalev A.A., Timoshenko M.V. Water supply for cows at breeding dairy farm. Zootekhnicheskaya nauka Belarusi = Zootechnical Science in Belarus. 2016; 51(2): 325-333 (In Russ.)

13. Yukhin G.P., Katkov A.A., Makarovskaya Z.V., Averkiev A.A. Circulation system of water-supply in cow sheds with heating. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015; 5(55): 89-90 (In Russ.)

14. Obolenskiy N.V., Shevelev A. V. The main directions of the modernization of the water system on the cattle farm. Vestnik NGIEI = Vestnik of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics. 2016;10(65): 111-118 (In Russ.)

15. Semin A. Comfortable habitat of a cow pledge of good health and productive longevity. Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry. 2013;7: 20 (In Russ.)

16. Babii S. Effect of cow drinking on milk yield. Sel'skokhozyaistvennye vesti – Agricultural News. 2012;1: 46 (In Russ.)

17. Chuvashev V.N., Dolgalev G.F. Current state and development of facilities for water heating in animal husbandry. Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva = Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Livestock Breeding. 2016; 3(23): 190-192 (In Russi.)

18. Potseluev A.A., Nazarov I.V., Tolstoukhova T.N. The resource-saving oriented water and heat supply system of the automatic process of cattle feeding for fattening. Vestnik agrarnoi nauki Dona = Don Agrarian Science Bulletin. 2019; 4 (48): 55-61 (In Russ.)

19. Effective Use of Water on Dairy Farms. Cirencester, UK: Milk Development Council. 2007. 40 p.

20. Dorokhov A.S., Pavkin D.Yu., Ivanov V.V., Korshunov A.B. Energy saving milk cooling unit using natural cold and low temperature coolants. Elektrotekhnologii i

elektrooborudovanie v APK = Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture. 2020; 67 (3(40)): 3-8 (In Russ.) https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-3-3-8

21. Sapozhnikov V.B., Ilyin A.V. Cooling of milk on farms with the use of trigeneration and biogas. Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry. 2020; 3: 57-59. (In Russ.) https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-03-57-59

22. House H.K., Hawkins B. C., Barkes B. C. Measuring and characterizing on-farm milking centre washwater volumes. ASABE Paper No. 1908138. St. Joseph, MI: ASABE Publ. 2014.

23. Potseluev A.A. Resource-saving water supply systems for technological processes of cattle servicing: DSc Engineering Thesis. Moscow. 2011. 441 p. (In Russ.)

24 Hawkins B., Barkes B. Handling milking centre washwater. Nutrient Management Act 2002. Factsheet 14-047. 2014: 8.

25. Vanderzaag A.C., et al. Case study: Water budget of a dairy farm with a tie-stall barn for milk cows and summer pasturing of heifers and dry cows. The Professional Animal Scientist, 2018; 34: 108-117. https://doi.org/10.15232/pas.2017-01654

26. Matveev V.Yu., Zaikin V.P., Maslov M. M. Development of a functional-morphological model of the system for sanitizing milking machines. Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2020; 3: 85-90 (In Russ.) https://doi.org/10.28983/asj.y2020i3pp85-90

27. Zavrazhnov A.I., Matushkin P.A. Substantiation of technological parameters of the washing process of milking equipment used in agricultural industry. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2019;12 (1(60)): 100-107 (In Russ.) https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.1.100

28. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., Gordon R. Blue and grey water footprints of dairy farms in Kuwait. Journal of Water Resource and Protection. 2020; 12: 618-635. https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.127038

29. Gordeev V.V., Mironova T.Yu., Gordeeva T.I., Ilyn R.M., Mironov V.N. Consumption of water resources for cleaning “Parallel” milking parlour. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2021; 4(109); 117-125 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-117-124

30. Timoshenko V. Muzyka A., Moskalyov A., Kovalevskiy I. Maintaining hoof health. Zhivotnovodstvo Rossii = Livestock Breeding in Russia. 201; 1: 33-35 (In Russ.)

Об авторах

Ковалев Сергей Владимирович, младший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия. kovalyov.sv@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-1310-4283

Гордеев Владислав Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный

About the authors

Sergey V. Kovalev, junior researcher, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia. kovalyov.sv@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-1310-4283

Vladislav V. Gordeev, Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, leading researcher,

сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия. vladgordeev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6181-396X

Миронова Татьяна Юрьевна, канд. техн. наук, научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия; mironova-tat@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6959-049X

Заявленный вклад авторов

С.В. Ковалев – сбор, анализ и обобщение литературных данных, создание черновика рукописи.
В.В. Гордеев – руководство исследованием, концептуализация, редактирование.
Т.Ю. Миронова – формальный анализ, оформление окончательного варианта рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Статья поступила в редакцию:07.03.2023

Одобрена после рецензирования:22.05.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia.
vladgordeev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6181-396X

Tatiana Yu. Mironova, Cand. Sc. (Engineering), researcher, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia; mironova-tat@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6959-049X

Authors'contribution

Kovalev S.V. – literature data compiling, analysis, and summarizing; drafting the manuscript.

V.V. Gordeev – research concept and guidance, editing the manuscript.

T.Y. Mironova – formal analysis, shaping the final version of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Received: 07.03.2023

Approved after reviewing: 22.05.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.22 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-123-139

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСХОДА КОРМОВ И ПРИРОСТА ЖИВОЙ МАССЫ МОЛОДНЯКА КРОЛИКОВ

Александр Михайлович Соколов[1], spb-sokolov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7891-8397
Дмитрий АлександровичСошнев[2]✉, soshnevdima@mail.ru, ORCID: 0009-0002-2450-1582
Алексей Валериевич Трифанов[3], trifanovav@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3503-6148
Илья Евгеньевич Плаксин[4], ilyaplaxin @gmail.com, ORCID: 0000-0002-3695-0820
Валентин Игоревич Базыкин[5], valentin-bazykin@mail.ru, ORCID : 0000-0001-6417-6433

[1,2,3,4,5]Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Для достижения высоких результатов при производстве продукции кролиководства необходимо правильно организовать работу предприятия и использовать современные наукоемкие технологии. Исходя из этого, в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ был разработан проект технологического модуля для содержания и выращивания кроликов. Целью данного исследования было определение расхода кормов и прироста живой массы молодняка кроликов на протяжении всего цикла выращивания. Объектом исследований стала откормочная секция технологического модуля для содержания кроликов. Исследования проводились в соответствии с программой и методикой, утвержденными для выполнения экспериментальных научно-исследовательских работ «Опытно-производственная проверка работы технологического модуля для содержания кроликов». Полученные в ходе исследования математические модели позволили оценить не только расход кормов и прирост живой массы молодняка кроликов, но и определить зависимости этих показателей от времени содержания животных в технологическом модуле. Оценка, проведенная для групп кроликов разного возраста в апреле, мае и июне 2022 г., показала, что основными факторами, влияющими на объем потребляемых кормов, являются возраст молодняка и количество животных в группе. Таким образом, разработанные математические модели представляют собой важный инструмент для оптимизации производства продукции кролиководства и могут быть использованы для повышения эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: кролиководство, модуль, технология, математическая модель, сельское хозяйство

Для цитирования: Соколов А.М., Сошнев Д.А., Трифанов А.В., Плаксин И.Е., Базыкин В.И. Математические модели расхода кормов и прироста живой массы молодняка кроликов // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2(111). С. 123-140

Research article
Universal Decimal Code УДК 631.22

MATHEMATICAL MODELS OF FEED CONSUMPTION AND LIVE WEIGHT GAIN OF YOUNG RABBITS

Aleksandr M. Sokolov[1], spb-sokolov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7891-8397
Dmitry A. Soshnev D.A. Soshnev[2]✉, soshnevdima@mail.ru, ORCID: 0009-0002-2450-1582
Alexey V. Trifanov[3], trifanovav@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3503-6148
Ilya E. Plaksin[4], ilyaplaxin @gmail.com, ORCID: 0000-0002-3695-0820
Valentin I. Bazykin[5], valentin-bazykin@mail.ru, ORCID : 0000-0001-6417-6433

[1,2,3,4,5] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

Abstract. High performance in rabbit production needs proper farm operation and the use of advanced knowledge-intensive practices. Reasoning from this, IEEP - branch of FSAC VIM designed a technological module for housing and growing rabbits. The study purpose was to estimate the feed consumption and live weight gain of young rabbits throughout the growing cycle. The study object was a fattening section of the technological module. The study was conducted by approved program and methodology. The study resulted in the mathematical models. These both estimated the feed consumption and live weight gain of young rabbits, and identified how these indicators depended on the time the animal stayed in the technological module. The study considered the groups of rabbits of different age in April, May and June 2022. It revealed that the main factors affecting the amount of feed consumed were the age of the young animals and the number of rabbits in a group. This way, the created mathematical models were an important tool to optimize the rabbit production and could improve the efficiency of production processes.

Keywords: rabbit breeding, module, technology, mathematical model, agriculture.

For citation*:* Sokolov A.M., Soshnev D.A., Trifanov A.V., Plaksin I.E., Bazykin V.I. Mathematical models of feed consumption and live weight gain of young rabbits. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 123-140. (In Russ.)

Введение

Государственные программы развития сельского хозяйства закладывают устойчивую базу не только в развитие сектора животноводства, активно внедряя инновационные технологии, но и дают динамический толчок для улучшения отечественного АПК в целом. В 2021 году общий объем производства мяса кролика среди хозяйств всех категорий составил 36,8 тыс. тонн, при этом структура производства распределилась следующим образом: хозяйства населения – 28 тыс. тонн, КФХ и ИП – 2,8 тыс. тонн, сельскохозяйственные организации – 6 тыс. тонн[25] [1-2].

[25] Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс] URL: https://fedstat.ru/indicator/33608 (дата обращения: 17.03.2023 г.)

Фермерские кролиководческие производства играют большую роль в животноводстве. Именно в них содержится основная часть поголовья и реализуются основные виды продукции. При этом кролиководство представляет собой высокорентабельное производство, приносящее стабильный доход владельцу. Однако, чтобы достичь высоких показателей, необходимо не только правильно организовать работу фермы, но также использовать современные наукоемкие технологии. Исходя из этого в ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан проект технологического модуля для содержания и выращивания кроликов. Цель исследований – определить расход кормов и прирост живой массы молодняка кроликов в течении всего цикла выращивания.

Материалы и методы

Объект исследований – откормочная секция технологического модуля содержания кроликов.

Выращивание кроликов в технологических модулях — это один из наиболее перспективных способов получения мясной продукции высокого качества. Технологический модуль для разведения и откорма кроликов — это конструкция, выполненная в виде блок-контейнера, разделенного на две части. Первая часть содержит клетки для кроликоматок и новорожденных кроликов, а вторая - для откормочного молодняка. Каждый из отсеков оборудован бункерными кормушками и ниппельными поилками. Для обеспечения притока свежего воздуха предусмотрены приточные вентиляционные окна, а отработанный воздух удаляется с помощью вытяжных вентиляторов.

При выращивании кроликов в технологических модулях особое внимание уделяется рациональному использованию площади и обеспечению оптимальных условий для животных. Для этого необходимо соблюдать определенные технологические режимы, включающие в себя правильный подбор кормов, обеспечение комфортных температурных условий и своевременное проведение профилактических мероприятий. Система кормления включает в себя использование бункерных кормушек и ниппельных поилок. Это позволяет обеспечить животных чистой питьевой водой и точно дозированным кормом, что положительно сказывается на росте развитии кроликов [3,4,5].

Рис. 1. Откормочная секция технологического модуля содержания кроликов
Fig.1. Fattening section of the technological module for rabbit housing

Исследования были проведены в соответствии с программой и методикой, утвержденными для выполнения экспериментальной научно-исследовательской работы «Опытно-производственная проверка работы технологического модуля для содержания кроликов».

Факторы, подлежащие исследованию: расход кормов, прирост живой массы молодняка.

Для определения расхода кормов в данном исследовании использовались лабораторные весы CAS SW-1. Выдаваемая порция взвешивалась перед выдачей, остатки корма за предыдущие сутки не взвешивались. Ежедневно корм засыпался в индивидуальные бункерные кормушки до полного их заполнения.

Для определения прироста живой массы молодняка проводилось еженедельное взвешивание крольчат на лабораторных весах. Все полученные показания регистрировались в журнале наблюдений.

Для обработки результатов исследований использовались программные средства Microsoft Excel и Microsoft Word.

Результаты и обсуждение

Секция откорма в технологическом модуле функционирует следующим образом: когда кролики достигают возраста 42-45 дней, они переводятся из репродуктивной секции и размещаются в 15 клетках, которые расположены на трех ярусах [6].

Размещение молодняка в откормочной секции в клетки производилось 04.04.2022 по группам в зависимости от принадлежности к самке. Всего в исследовании принимало участие 30 крольчат.

Таблица 1. Размещение крольчат в откормочной секции

Table 1. Placing of young rabbits in the fattening section

№ клетки	5	3	7	6	8
№ группы	1	2	3	4	5
Дата окрола	18.02.2022	19.02.2022	21.02.2022	20.02.2022	26.02.2022
Поголовье	6 гол	6 гол	6 гол	6 гол	6 гол

График на рис. 2 отображает потребление комбикормов молодняком в откормочной секции в апреле. Среднее ежедневное потребление кормов составило 2,781 кг, а общее потребление за месяц составило 75,09 кг.

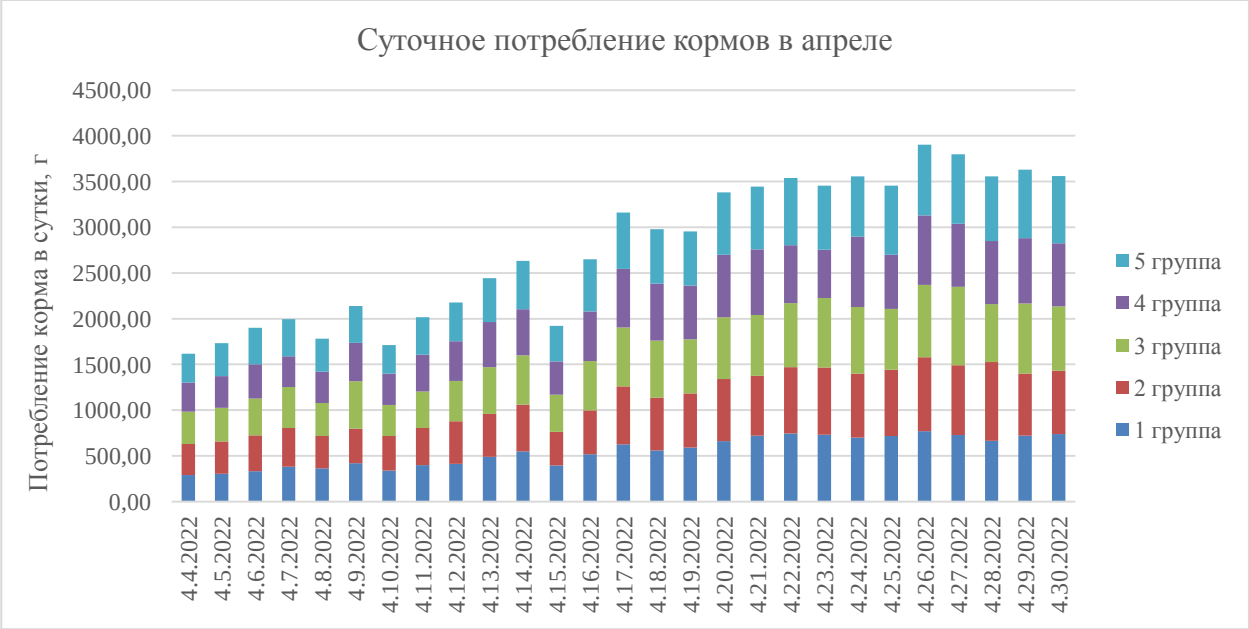


Рис. 2. Суточное потребление кормов в откормочной секции контрольными группами в апреле 2022 года

Fig.2. Daily feed consumption in the fattening section by the control groups in April 2022.

Зависимости потребления кормов группами нарастающим итогом в течение апреля представлены на рис. 3.

Рис. 3. Зависимости потребления кормов контрольными группами в откормочной секции в апреле 2022 года

Fig.3. Dependences between the feed consumption by the control groups in the fattening section in April 2022.

Уравнения, описывающие потребление кормов молодняком в откормочной секции в апреле:

1 группа:

$y = 10{,}701x^2 + 269{,}19x + 10{,}06$, $R^2 = 0{,}9996$

2 группа:

$y = 11{,}038x^2 + 262{,}42x + 192{,}36$, $R^2 = 0{,}9997$

3 группа:

$y = 9{,}9475x^2 + 305{,}03x + 108{,}86$, $R^2 = 0{,}9997$

4 группа:

$y = 9{,}3985x^2 + 291{,}9x + 7{,}422$, $R^2 = 0{,}9996$

5 группа:

$y = 10{,}648x^2 + 274{,}48x + 113{,}54$, $R^2 = 0{,}9997$

В соответствии с нормами технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм, указанными в документе НТП-АПК 1.10.06.001-00[26], потребление корма молодняком в возрасте от 46 до 60 дней должно быть в диапазоне от 70 до 125 граммов в сутки. В нашем случае мы получили следующие значения среднесуточного потребления корма на 1 голову в каждой группе:

Таблица 2. Среднесуточное потребление корма
Table 2. Average daily feed consumption

	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа	5 группа
На клетку	550,29 г	561,22 г	571,02 г	539,24 г	559,71 г
На гол.	91,72 г	93,54 г	95,17 г	89,87 г	93,28 г

График на рис. 4 отражает потребление комбикормов молодняком в откормочной секции в мае. Потребление комбикорма напрямую зависит от микроклимата внутри технологического модуля [7]. Среднее ежедневное потребление кормов составило 4,58 кг, а общее потребление за месяц – 141,94 кг.

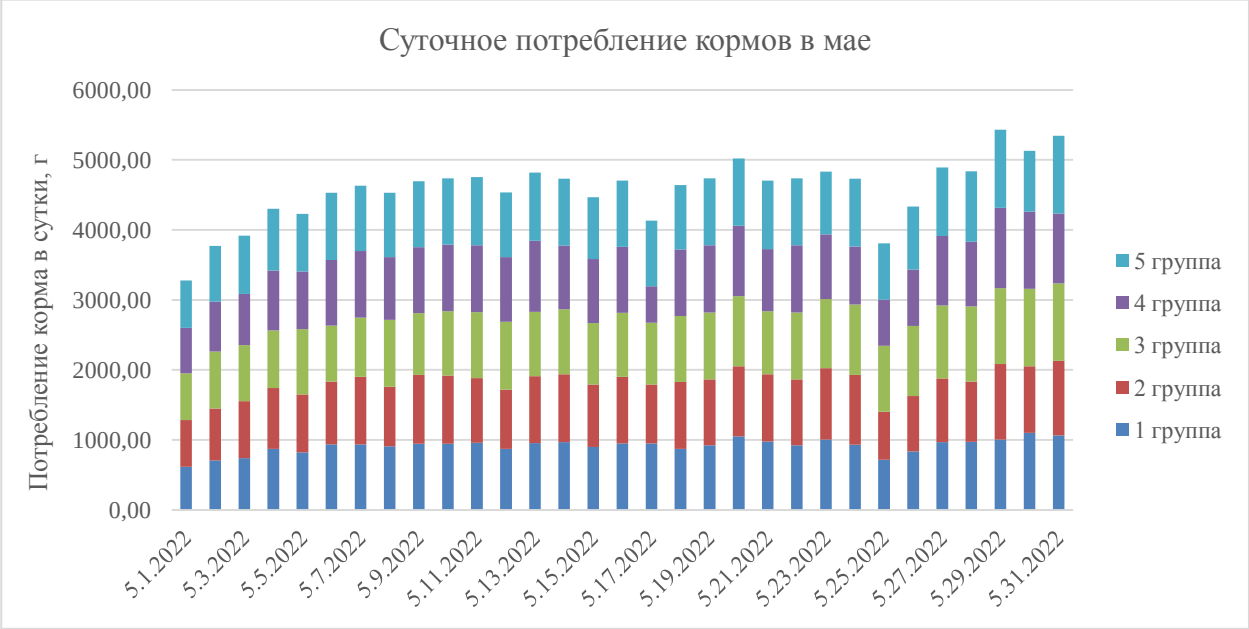


Рис. 4. Суточное потребление кормов в откормочной секции контрольными группами в мае 2022 года
Fig. 4. Daily feed consumption by the control groups in the fattening section in May 2022.

[26] Нормы технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм НТП-АПК 1.10.06.001-00. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200034439

Уравнения, описывающие потребление кормов молодняком в откормочной секции в мае:

1 группа:

$y = 1{,}1383x^2 + 891{,}97x - 577{,}39$, $R^2 = 0{,}9998$

2 группа:

$y = 0{,}6598x^2 + 901{,}02x - 487{,}9$, $R^2 = 0{,}9998$

3 группа:

$y = 3{,}4603x^2 + 828{,}73x - 197{,}11$, $R^2 = 0{,}9999$

4 группа:

$y = 0{,}2795x^2 + 894{,}57x - 507{,}47$, $R^2 = 0{,}9996$

5 группа:

$y = 0{,}9705x^2 + 906{,}08x - 417{,}12$, $R^2 = 0{,}9999$

В соответствии с нормами технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм, указанными в документе НТП-АПК 1.10.06.001-00, потребление корма молодняком в возрасте от 61 до 90 дней должно быть в диапазоне от 125 до 170 граммов в сутки. В нашем случае мы получили следующие значения среднесуточного потребления корма на 1 голову в каждой группе:

Таблица 3. Среднесуточное потребление корма
Table 3. Average daily feed consumption

	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа	5 группа
На клетку	912,98 г	907,94 г	935,08 г	896,30 г	926,42 г
На гол.	152,16 г	151,32 г	155,85 г	149,38 г	154,40 г

График на рис. 5 отображает потребление комбикормов молодняком в откормочной секции в июне. Среднее ежедневное потребление кормов составило 5,57 кг, а общее потребление за месяц – 161,46 кг.

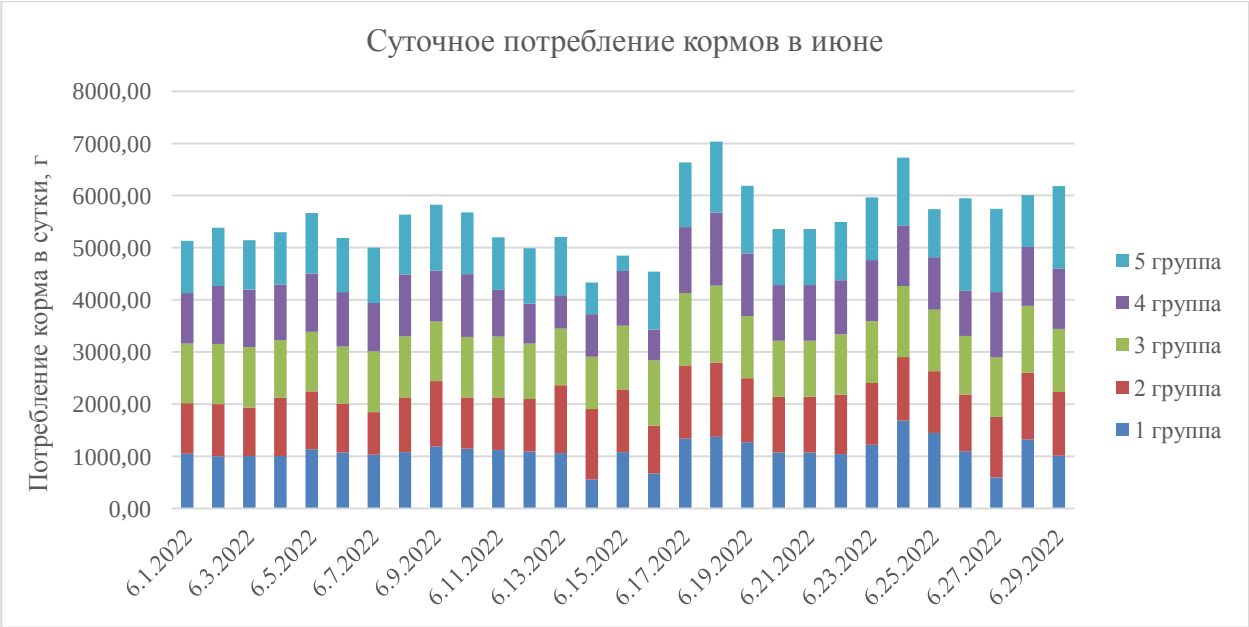


Рис. 5. Суточное потребление кормов в откормочной секции контрольными группами в июне 2022 года

Fig. 5. Daily feed consumption by the control groups in the fattening section in June 2022.

Уравнения, описывающие потребление кормов молодняком в откормочной секции в июне [8]:

1 группа:

$y = 4{,}0713x^2 + 980{,}89x + 189{,}48$, $R^2 = 0{,}9991$

2 группа:

$y = 4{,}2455x^2 + 1015{,}6x - 223{,}12$, $R^2 = 0{,}9996$

3 группа:

$y = 2{,}1362x^2 + 1114{,}7x + 43{,}314$, $R^2 = 0{,}9998$

4 группа:

$y = 2{,}9373x^2 + 937{,}65x + 461{,}71$, $R^2 = 0{,}9989$

5 группа:

$y = 5{,}8088x^2 + 922{,}7x + 484{,}44$, $R^2 = 0{,}9982$

В соответствии с нормами технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм, указанными в документе НТП-АПК 1.10.06.001-00, потребление корма молодняком в возрасте от 91 до 135 дней должно быть в диапазоне от 175 до 225 граммов в сутки. В нашем случае мы получили следующие значения среднесуточного потребления корма на 1 голову в каждой группе:

Таблица 4. Среднесуточное потребление корма

Table 4. Average daily feed consumption

	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа	5 группа
На клетку	1098,19 г	1124,74 г	1175,15 г	1042,93 г	1126,51 г
На гол.	183,03 г	187,46 г	195,86 г	173,82 г	187,75 г

Потребление комбикормов молодняком в откормочной секции за весь период содержания в откормочной секции (04.04.2022 – 29.06.2022, 30.06.2022 – забой) представлено на рис. 6.

Рис. 6 Суточное потребление кормов в откормочной секции контрольными группами за весь период содержания

Fig. 6. Daily feed consumption by the control groups in the fattening section throughout the housing period

На рис. 7 представлены зависимости потребления кормов за весь период содержания молодняка в откормочной секции (04.04.2022 – 29.06.2022 (87 дней), 30.06.2022 – забой) в сравнении с рекомендуемыми значениями, соответствующими нормам технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм, указанными в документе НТП-АПК 1.10.06.001-00.

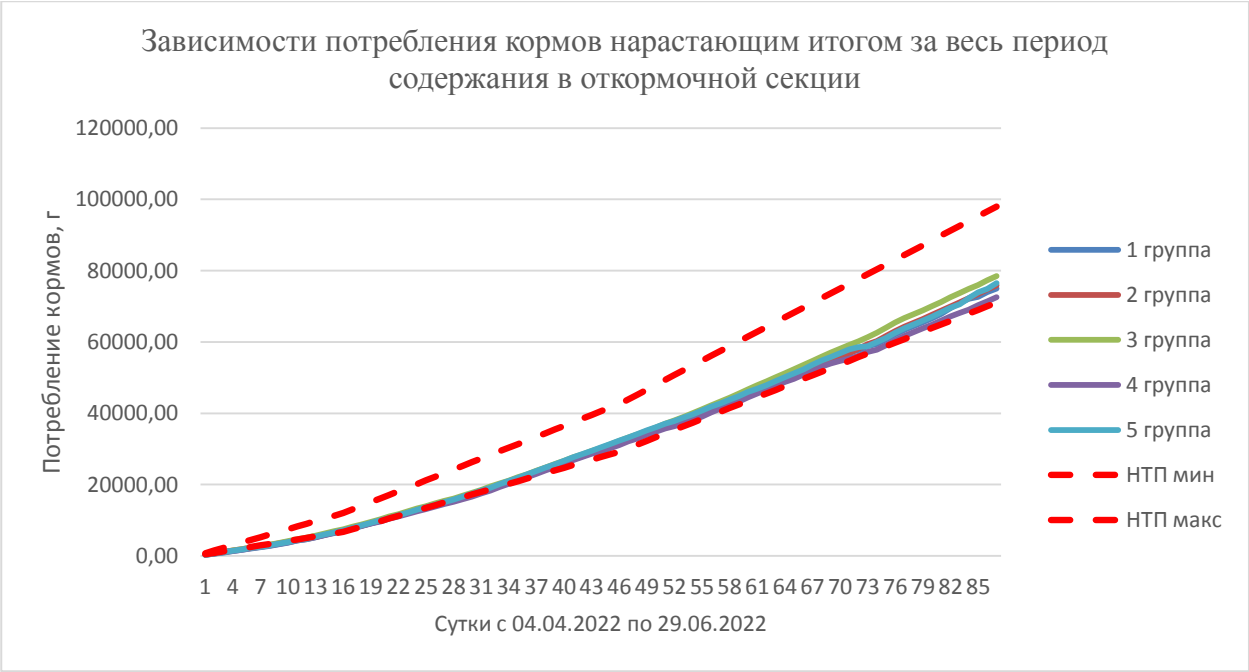


Рис. 7. Зависимости потребления кормов контрольными группами в откормочной секции за весь период содержания

Fig. 7. Dependencies of feed consumption by the control groups in the fattening section throughout the housing period

Уравнения, описывающие потребление кормов молодняком в откормочной секции за весь период содержания:

1 группа:

$y = 4{,}2555x^2 + 520{,}98x - 1755{,}5$, $R^2 = 0{,}9995$

2 группа:

$y = 4{,}333x^2 + 517{,}23x - 1504{,}8$, $R^2 = 0{,}9996$

3 группа:

$y = 4{,}9663x^2 + 494{,}61x - 1196{,}2$, $R^2 = 0{,}9997$

4 группа:

$y = 3{,}8049x^2 + 533{,}39x - 1829{,}1$, $R^2 = 0{,}9992$

5 группа:

$y = 4{,}0917x^2 + 542{,}2x - 1808{,}4$, $R^2 = 0{,}9993$

Из графика видно, что итоговый расход кормов за весь период содержания молодняка в технологическом модуле в откормочной секции находится в пределах рекомендуемого диапазона в соответствии с НТП-АПК 1.10.06.001-00 [9, 10].

На рис. 8 представлен график прироста живой массы молодняка. Для построения графика было осуществлено взвешивание каждой группы откормочного молодняка. Далее общий вес делился на количество голов в группе, чтобы определить средний вес одного крольчонка:

- 1 группа – 1485 г;
- 2 группа – 1448 г;
- 3 группа – 1269 г;
- 4 группа – 1127 г;
- 5 группа – 1198 г.

С помощью полинома второй степени запишем прирост живой массы молодняка в каждой группе:

1 группа:

$y = -57{,}25x2 + 851{,}92x + 586{,}4$, $R^2 = 0{,}9791$

2 группа:

$y = -86{,}357x2 + 1052{,}2x + 348$, $R^2 = 0{,}9637$

3 группа:

$y = -48{,}5x2 + 830{,}16x + 405{,}2$, $R^2 = 0{,}9894$

4 группа:

$y = -46{,}375x2 + 879{,}17x + 129{,}1$, $R^2 = 0{,}972$

5 группа:

$y = -40{,}143x2 + 759{,}63x + 440{,}8$, $R^2 = 0{,}9924$

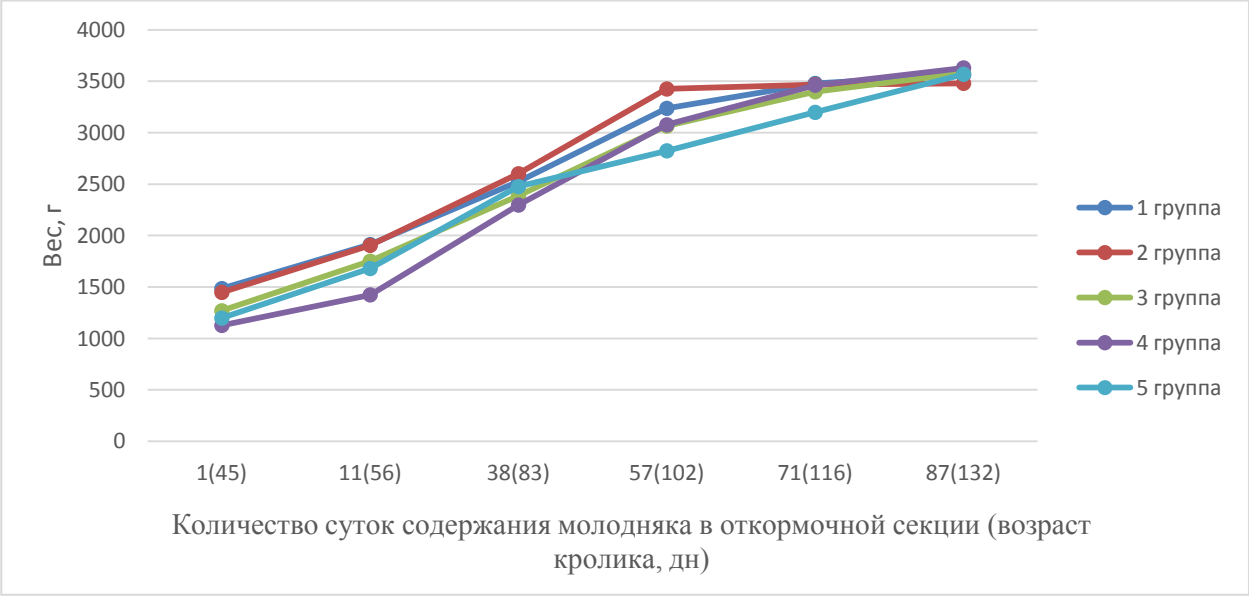


Рис. 8. График прироста живой массы молодняка за весь период содержания в откормочной секции технологического модуля

Fig. 8. Diagram of live weight gain of young animals throughout the housing period in the fattening section of the technological module

На рис. 9 представлен график прироста живой массы в течение всего цикла содержания, включая репродукторную и откормочную секцию.

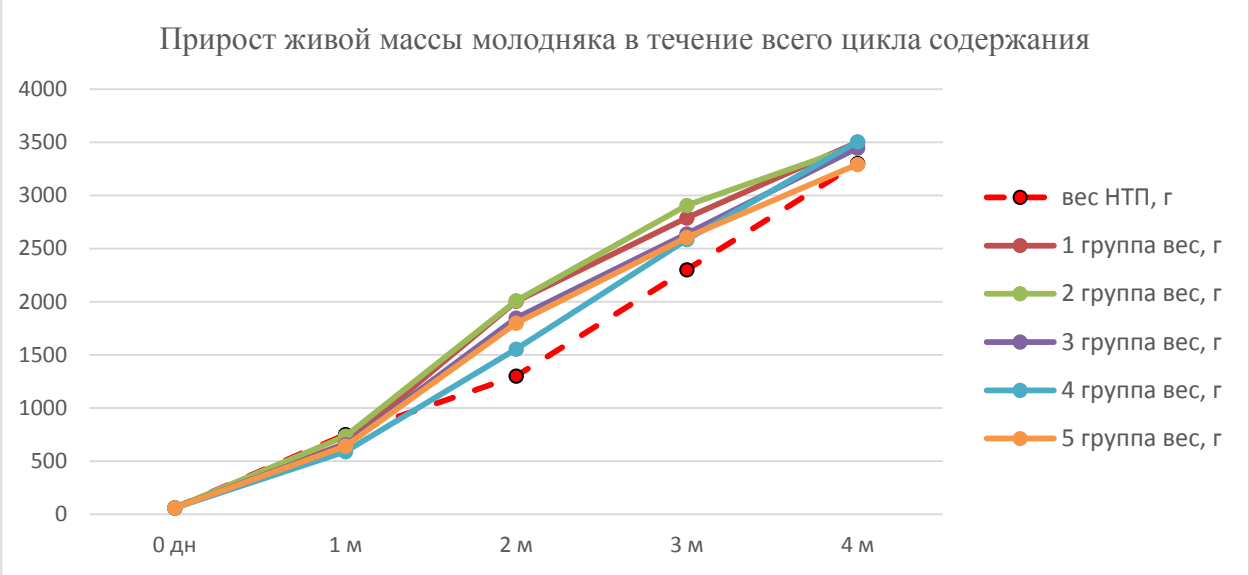


Рис. 9. График прироста живой массы молодняка в течение всего цикла содержания кроликов в технологическом модуле

Fig. 9. Diagram of live weight gain of young animals throughout the whole housing cycle in the technological module, including reproduction and fattening sections

Выводы

Полученные математические модели позволяют не только оценить расход кормов и прирост живой массы молодняка кроликов, но и определить зависимости этих показателей от времени содержания животных в технологическом модуле. Оценка, осуществленная для групп кроликов различного возраста в апреле, мае и июне, показала, что основными факторами, влияющими на объем потребляемых кормов, являются возраст молодняка и количество животных в группе. Количество корма, потребляемого разными группами кроликов, составило: в апреле от 539 до 571 г в сутки, в мае от 896 до 935 г в сутки, в июне от 1043 до 1175 г в сутки. Средний вес крольчат после снятия с откорма составил от 3480 до 3630 граммов.

Важным аспектом исследования является возможность оперативного контроля процесса откорма, что достигается с помощью разработанных математических моделей. Поскольку расходы на закупку кормов составляют 65-70% от общих производственных затрат, точное определение вышеупомянутых параметров играет значимую роль в обеспечении конечной прибыли хозяйства от продажи готовой продукции. Разработанные математические модели позволяют выявить отклонения в потреблении кормов и приросте живой массы кроликов на любом этапе производственного цикла и своевременно принять необходимые меры для устранения несоответствий.

Таким образом, полученные в ходе исследования математические модели являются важным инструментом для оптимизации производства продукции кролиководства и могут быть использованы для повышения эффективности производственных процессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дайджест «Мясо»: в России выросло производство мяса кролика. ФГБУ «Центр Агроаналитика». 2023 г. [Электронный ресурс] URL: https://specagro.ru/analytics/202301/daydzhest-myaso-v-rossii-vyroslo-proizvodstvo-myasa-krolika (дата обращения 17.03.2023 г.)

2. Сошнев Д. А., Трифанов А. В., Соколов А. М., Плаксин И. Е. Эффективность выращивания бройлеров в технологическом модуле // Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 4(24). https://doi.org/10.23649/jae.2022.4.24.06

3. Белов А.А., Зеляков Е.В., Плаксин И.Е., Трифанов А.В., Тропин А.Н. Устройство для клеточного размножения и содержания мелких животных. Патент на полезную модель RUS 139849. Заявл. 02.09.2013. Опубл. 25.03.2014.

4. Комлацкий В. И., Логинов С. В., Комлацкий Г. В., Игнатенко Я. А. Эффективное кролиководство: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2013. 224 с. URL: https://kubsau.ru/upload/iblock/79b/79b62efba4420920885c31151d340e56.pdf (дата обращения 17.03.2023 г.)

5. Агейкин А. Г. Технологии кролиководства: курс лекций. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. 2020. 393 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.kgau.ru/new/student/43/content/79.pdf (дата обращения 23.03.2023 г.)

6. Балакирев Н. А., Нигматуллин Р. М. Разведение кроликов: учебное пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 592 с. [Электронный ресурс] URL: https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970424766.html (дата обращения 23.03.2023 г.)

7. Сошнев Д.А., Соколов А. М., Трифанов А.В, Плаксин И.Е. Влияние инсоляции на температуру внутри технологических модулей для выращивания кроликов и птицы // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3(47). С. 97-101. https://doi.org/10.51794/27132064-2022-3-97

8. Снегов А. Самый полный справочник кролиководa. М.: АСТ. 2014. 320 с.

9. Соотношение кормов в рационе и предельные нормы скармливания.2016. [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/6024728/page:14/ (дата обращения: 17.03.2023).

10. Микрюкова О.С., Полковникова В.И. Кролиководство: учебно-методическое пособие. Пермь: ИПЦ «Прокростъ», 2016. 106 с. URL: http://pgsha.ru:8008/books/study/%CC%E8%EA%F0%FE%EA%EE%E2%E0%20%CE.%D1.%2C%20%CF%EE%EB%EA%EE%E2%ED%E8%EA%EE%E2%E0%20%C2.%C8.%20%CA%F0%EE%EB%E8%EA%EE%E2%EE%E4%F1%F2%E2%EE.pdf (дата обращения 23.03.2023 г.)

REFERENCES

1 Meat digest: rabbit meat production has increased in Russia. FGBU Center Agroanalitika. 2023. [on-line] Available at: https://specagro.ru/analytics/202301/daydzhest-myaso-v-rossii-vyroslo-proizvodstvo-myasa-krolika (accessed 17.03.2023) (In Russ.)

2. Soshnev D.A., Trifanov A.V., Sokolov A.M., Plaksin I.E. Efficiency of broiler farming in a process module. Journal of Agriculture and Environment. 2022; 4(24) (In Russ.) https://doi.org/10.23649/jae.2022.4.24.06

3. Belov A.A., Zelyakov E.V., Plaksin I.E., Trifanov A.V., Tropin A.N. Device for cage breeding and housing of small animals. Useful model patent RUS 139849. Appl. 02.09.2013. Publ.25.03.2014 (In Russ.)

4. Komlatsky V. I., Loginov S. V., Komlatsky G. V., Ignatenko Ya. A. Effective rabbit breeding: training manual. Krasnodar: KubGAU, 2013. 224 p. (In Russ.) URL: https://kubsau.ru/upload/iblock/79b/79b62efba4420920885c31151d340e56.pdf (дата обращения 17.03.2023 г.)

5. Ageikin A. G. Technology of rabbit breeding: a course of lectures. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University. 2020. 393 p. (In Russi.) [Electronic resource] URL: http://www.kgau.ru/new/student/43/content/79.pdf (дата обращения 23.03.2023 г.)

6. Balakirev N.A., Nigmatullin R.M. Breeding rabbits: training manual. Moscow: GEOTAR-Media, 2014. 592 p. (In Russ.) [Electronic resource] URL: https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970424766.html (дата обращения 23.03.2023 г.)

7. Sosnev D.A., Sokolov A.M., Trifanov A.V., Plaksin I.E. The insolation effect on the technological modules' inside temperature for rabbits and poultry growing. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock Production. 2022; 3(47): 97-101 (In Russ.) https://doi.org/ 10.51794/27132064-2022-3-97

8. Snegov A. The most complete guide to rabbit breeders. M.: ACT. 2014. 320 p. (In Russ.)

9. Ratio of feed in the ration and feeding limits. 2016. [on-line]. URL: https://studfile.net/preview/6024728/page:14/ (accessed 17.03.2023).

10. Mikrukova O.S., Polkovnikova V.I. Rabbit breeding: teaching aid. Perm: IPC "Prokrost", 2016. 106 p. Available at : http://pgsha.ru:8008/books/study/%CC%E8%EA%F0%FE%EA%EE%E2%E0%20%CE.%D1.%2C%20%CF%EE%EB%EA%EE%E2%ED%E8%EA%EE%E2%E0%20%C2.%C8.%20%CA%F0%EE%EB%E8%EA%EE%E2%EE%E4%F1%F2%E2%EE.pdf (дата обращения 23.03.2023 г.)

Об авторах

Александр Михайлович Соколов, аспирант, отдел агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем

About the authors

Aleksandr M. Sokolov, post graduate student, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural

сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия.

spb-sokolov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7891-8397

Дмитрий Александрович Сошнев, ведущий инженер, отдел агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия.

soshnevdima@mail.ru

ORCID: 0009-0002-2450-1582

Алексей Валерьевич Трифанов канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, отдел агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия;

trifanovav@mail.ru,

ORCID: 0000-0002-3503-6148

Илья Евгеньевич Плаксин канд. техн. наук, научный сотрудник, отдел агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Росси.;

ilyaplaxin @gmail.com

ORCID: 0000-0002-3695-0820

Валентин Игоревич Базыкин, научный сотрудник, отдел агроэкологии в

Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia.

spb-sokolov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7891-8397

Dmitry A. Soshnev, leading engineer, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia.

soshnevdima@mail.ru

ORCID: 0009-0002-2450-1582

Alexey V. Trifanov, Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, leading researcher, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

trifanovav@mail.ru,

ORCID: 0000-0002-3503-6148

Ilya E. Plaksin, Cand. Sc. (Engineering), researcher, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia

ilyaplaxin @gmail.com

ORCID: 0000-0002-3695-0820

Valentin I. Bazykin, researcher, Department of Agroecology in Lvestock Production, Institute for

животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Фильтровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Россия.

valentin-bazykin@mail.ru

ORCID : 0000-0001-6417-6433

Заявленный вклад авторов

А.М. Соколов – разработка методики и этапов проведения экспериментальных исследований.

Д.А. Сошнев – создание черновика рукописи

А.В. Трифанов – администрирование данных

И.Е. Плаксин – теоретические предпосылки

В.И. Базыкин – программное обеспечение, визуализация

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Статья поступила в редакцию: 23.03.2023

Одобрена после рецензирования:26.06.2023

Принята к публикации: 30.03.2023

Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia.

valentin-bazykin@mail.ru

ORCID : 0000-0001-6417-6433

Authors'contribution

A.M. Sokolov – development of research methods and experiment stages

D.A. Soshnev – drafting the manuscript

A.V.Trifanov – data administration

I.E. Plaksin – theoretical background

V.I. Bazykin – software application, visualization

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this pape

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Received: 23.03.2023

Approved after reviewing:26.06.2023

Accepted for publication: 30.03.2023

Научная статья
УДК:628.3 DOI 10.24412/2713-2641-2023-2115-140-158

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Марианна Викторовна Паршикова[1]✉, marianna.svalova@yandex.ru,ORCID 0009-0001-4151-8119
Владимир Вениаминович Касаткин[2], kasww@mail.ru
Надежда Юрьевна Касаткина[2], kasatnu@yandex.ru
Анастасия Андреевна Литвинюк[2], litaa2014@yandex.ru

[1]Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия,
[2]Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

Аннотация. Целью исследований было повышение эффективности процесса утилизации отходов животноводства и осадков сточных вод, позволяющего достичь максимальной выработки биогаза с помощью метода анаэробного сбраживания в биогазовой установке в климатических условиях Удмуртской Республики в зависимости от различных видов сырья при разных режимах работы биогазовой установки. Была разработана программа проведения экспериментальных исследований процесса при психрофильном, мезофильном и термофильном режимах работы биореактора с применением активатора процесса и без него. Представлены конструктивные особенности биогазовой установки, технологические процессы анаэробного сбраживания, этапы экспериментальных исследований. Был выполнен анализ результатов научных трудов российских ученых по утилизации навоза и оптимизации обработки отходов животноводства и осадков сточных вод для максимальной выработки биогаза. Рассмотрены соответствующие основные нормативные документы и методические рекомендации. По результатам экспериментальных исследований анаэробного сбраживания осадков сточных вод в мезофильном режиме без применения активатора, максимальный объем выработанного биогаза составил 11,45 г/м^3. При использовании навоза крупного рогатого скота, при добавлении активатора в мезофильном режиме максимальный объем выработанного биогаза составил -79,7 г/м^3, а в термофильном режиме – 192,5 г/м^3. По результатам экспериментальных исследований можно сделать вывод, что активатор процесса позволяет достичь максимальной выработки биогаза и повысить эффективность процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства в термофильном режиме.

***Ключевые слова*:** биогазовая установка, особенности эксплуатации, критерии оптимизации, отходы животноводства, осадки сточных вод, экспериментальные исследования, биогаз, активатор процесса.

Для цитирования: Пашикова М.В., Касаткин В.В., Касаткина Н.Ю., Литвинюк А. А. Результаты исследований процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод с применением биогазовой установки // АгроЭкоИнженерия. 2023. №2(115). С. 140-158

Research article
Universal Decimal Code: 628.3

STUDY RESULTS OF ANAEROBIC DIGESTION OF ANIMAL WASTE AND SEWAGE SLUDGE ON A BIOGAS PLANT

Marianna V. Parshikova[1]✉, marianna.svalova@yandex.ru,ORCID 0009-0001-4151-8119
Vladimir V. Kasatkin[2], kasww@mail.ru
Nadezhda Yu. Kasatkina[2], kasatnu@yandex.ru
Anastasia A. Litvinyuk[2], litaa2014@yandex.ru

[1]Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia,
[2]Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia,

Abstract. The research aimed to improve the efficiency of livestock waste and sewage sludge recycling. The goal was the peak output of biogas under climatic conditions of the Udmurt Republic. The research method was anaerobic digestion of different type of raw materials under various operating modes of the biogas plant. The research program provided for the psychrophilic, mesophilic and thermophilic operating modes of the bioreactor with and without the process activator. The paper describes the design features of the biogas plant, technological processes of anaerobic digestion, and stages of experiments**.** The study reviewed the research outcomes of Russian scientists associated with manure use and optimal livestock waste and sewage sludge treatment. The relevant main normative documents and methodical recommendations passed analysis. In the experiments on the anaerobic digestion of sewage sludge in mesophilic mode without an activator, the biggest volume of produced biogas was 11.45 g/m^3. The cattle manure with an activator in the mesophilic mode produced maximum 79.7 g/m^3 of biogas, and in the thermophilic mode – 192.5 g/m^3 of biogas. The conclusion of experiment results is that the process activator contributes to maximum biogas production and increases the efficiency of the anaerobic digestion of livestock waste in the thermophilic operation mode on the biogas plant.

Keywords: biogas plant, operation features, optimization criteria, libestock waste, sewage sludge, experimental study, biogas, process activator.

For citation: Parshikova M.V., Kasatkin V. V., Kasatkina N. Yu., Litvinyuk A. A. Study results of anaerobic digestion of animal waste and sewage sludge on a biogas plant. AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 140-158. (In Russ.)

Введение

Основные направления развития отрасли сельского хозяйства, животноводства направлены на интенсификацию технологии, которая позволит обеспечить экологическую безопасность, энергоэффективность и экономичность. Интенсификация отрасли сельского хозяйства, животноводства влечет за собой увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду. В категорию рисков попадает утилизация отходов животноводства и осадков сточных вод, в результате хозяйственной деятельности человека. Экологическую проблему составляют иловые площадки, значительных размеров, вызывающие загрязнение почвы, поверхностных и подземных источников водоснабжения, а также площадки и пруды

накопители для хранения отходов животноводства, являющиеся источником патогенных микроорганизмов и гельминтов. Следует учесть, что эти объекты являются источниками значительных выбросов парниковых газов, таких как углекислый газ (CO_2), метан (CH_4). Актуальность обозначенной проблемы определила выбор темы исследования статьи.

В Удмуртской Республике на предприятиях АПК и очистных сооружениях канализации образуется большое количество отходов животноводства и осадков сточных вод. В результате концентрации органических отходов на предприятиях АПК на территории Удмуртской Республики возникает проблема их утилизации и охраны окружающей среды, в связи с загрязнением почв, поверхностных и подземных источников водоснабжения. При утилизации стоков доильных залов, происходит значительное разбавление их водой, которая используется на технологические нужды, в результате увеличивается период жизнедеятельности патогенной микрофлоры, вирусы, бактерии, токсикоинфекции, вызванные патогенными сальмонеллами, микроорганизмы, кишечная палочка, устойчивы к внешней среде и выживают в воде, почве в течении нескольких месяцев [1]. Применяя новые технологии и средства автоматизации процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод в биогазовой установке можно решить проблему распространения возбудителей патогенных микроорганизмов и их токсинов в объектах окружающей среды, а также снизить трудозатраты и человеческий ресурс.

Анализ эффективности применения технологии утилизации органических отходов, в том числе отходов животноводства и осадков сточных вод, проводился на основе научно-исследовательских работ [2,4,5,6]. Степень повышения эффективности процесса утилизации биомассы на основе органических отходов, в том числе навоза, осадков сточных вод оценивалась по данным работ российских и зарубежных учёных [2,4,5,6,7,8,14].

Цель исследования

Повышение эффективности утилизации отходов животноводства и осадков сточных вод с помощью метода анаэробного сбраживания в биогазовой установке, позволяющего достичь максимального объёма выработанного биогаза климатических условиях Удмуртской республики.

Материалы и методы

Согласно исследованиям, д.т.н, профессора Брюханова А.Ю, экономическая эффективность и обеспечение экологической безопасности технологий утилизации навоза, помета являются одними из основных факторов, влияющих на функционирование и развитие интенсивного животноводства [2,3,11].

Одним из основных факторов, влияющих на выбор технологического процесса переработки навоза является его влажность. Поэтому при проведении экспериментальных исследований определяли влажность загружаемого навоза и выгружаемой биомассы.

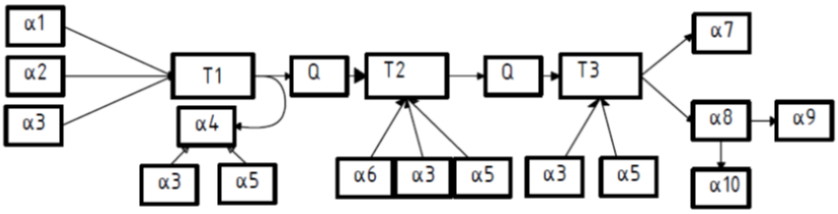
Выбор технологических процессов обработки органических отходов должен определяться на основе критериев, которые обеспечат экономическую эффективность и экологическую безопасность всей технологии в целом [2].

Основным критерием в технологии анаэробного сбраживания является удельный показатель - объем выработанного биогаза, измеряемый в $м^3$, в зависимости от состава перерабатываемого сырья [3].

Проведен анализ научных работ д.т.н, профессора Друзьяновой В.П. по разработке энергосберегающей технологии и технических средств для переработки навоза, которые обеспечивают устойчивую работу биоэнергетической установки в психрофильном и мезофильном режимах в Якутии. В своих исследованиях по переработке навоза в психрофильном и мезофильном режимах работы метантенка, д.т.н, профессор Друзьянова В.П. рекомендует применять закваску, содержащую мезофильные микроорганизмы для интенсификации процесса анаэробного сбраживания навоза КРС. Согласно технико-экономическим расчетам, с целью удешевления стоимости конструкции и эксплуатации биогазовой установки рекомендовано применять метантенки малого объема $V_M \leq 1$ $м^3$. Использовать периодический режим работы и заполнять на 2/3 рабочий объем биогазовой установки, с ежедневным перемешиванием биомассы, состоящей из навоза, адаптированной мезофильной добавки, в установленное время. В завершении процесса анаэробного сбраживания рекомендует, оставлять часть сброженного навоза в качестве закваски для следующего запуска биогазовой установки. Использование закваски способствует интенсификации процесса, происходит ускорение биохимических, метанногенных процессов, что приводит к уменьшению времени анаэробного сбраживания навоза и увеличению выработки биогаза в 1,6 раз [4].

На основании анализа научных трудов, ведущих ученых проведена структурная оптимизация процесса и разработана программа проведения экспериментальных исследований анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод.

Для структурной оптимизации процесса анаэробного сбраживания применена логическая система правил, которая моделирует технологические процессы анаэробного сбраживания из исходной биомассы и анализирует структуру процесса выработки биогаза [7]. Приемлемой теорией разработки трехстадийной технологии анаэробного сбраживания осадков сточных вод и отходов животноводства является логическая система правил и исчисления высказываний.



α1- осадок сточных вод или отходы животноводства

α2- активатор процесса

α3- источник подвода тепла

α4- первая секция биореактора

α6-вторая секция биореактора

α7-биогаз

α8-биомасса

α9-органическое удобрение

α5- перемешивающая система

α10-почвогрунт или компост

T_1-температура во внутренней секции биореактора; T_2 температура в наружной секции биореактора; T_3 температура в переходной зоне между наружной и внутренней секцией биореактора, Q-энергия, вырабатываемая в процессе жизнедеятельности метанобразующих бактерий, кДж/моль

Рис. 1. Модель структурной оптимизации процесса анаэробного сбраживания в форме графа сети Петри

Fig. 1. A model of structural optimization of the anaerobic digestion process in the form of a Petri net graph

α1- sewage sludge or livestock waste

α2- Process activator

α3- heal supply source

α4- first section of the bioreactor

α5- mixing system

α6-second section of the bioreactor

α7-biogas

α8-biomass

α9-organic fertiliser

α10-soil or compost

T_1- temperature in the inner section of the bioreactor; T_2 temperature in the outer section of the bioreactor; T_3 temperature in the transition zone between the outer and inner sections of the bioreactor, Q - energy generated during the life activity of methane-producing bacteria, kJ/mol

В модели структурной оптимизации (рисунок 1) отражены три этапа процесса анаэробного сбраживания осадков сточных вод и отходов животноводства. Рассмотрен цикл процесса выработки биогаза. Разрабатываемый технологический процесс утилизации осадков сточных вод и отходов животноводства должен соответствовать экономически оправданной минимизации потерь и расхода энергии, то есть требованиям энергосбережения [5].

Программа проведения экспериментальных исследований и конструктивных особенностей биогазовой установки направлена на повышение эффективности работы биореактора для утилизации отходов животноводства и осадков сточных вод. Конструкция биогазовой установки предполагает совершенствование технологичности за счет двухсекционного биореактора, применения автоматизированного модуля управления и обеспечение энергосбережения [6].

На основе патентного поиска по биогазовым реакторам разработан экспериментальный биореактор с сообщающимися между собой секциями, с устройствами для перемешивания биомассы в мезофильном и термофильном режимах в наружной и внутренней секциях, а для поддержания температурного режима, в конструкции установки предусмотрены ТЭНы [8]. Биогазовая установка содержит отделения загрузки и выгрузки биомассы и газгольдер. Каждая секция содержит закладные стаканы, в которых установлены датчики температуры и манометры. Узел загрузки выполнен в виде емкости (бункера) в

который из накопителя при помощи шнека подаются отходы животноводства и осадок сточных вод. Обработанная биомасса выгружается через разгрузочный трубопровод биореактора.

Используя экспериментальную биогазовую установку (рисунок 2) лаборатория «Биотехнологий» проводит экспериментальные исследования в рамках научно-исследовательских работ по изучению отходов животноводства и осадков сточных вод и разработки новых технологий для предприятий АПК.

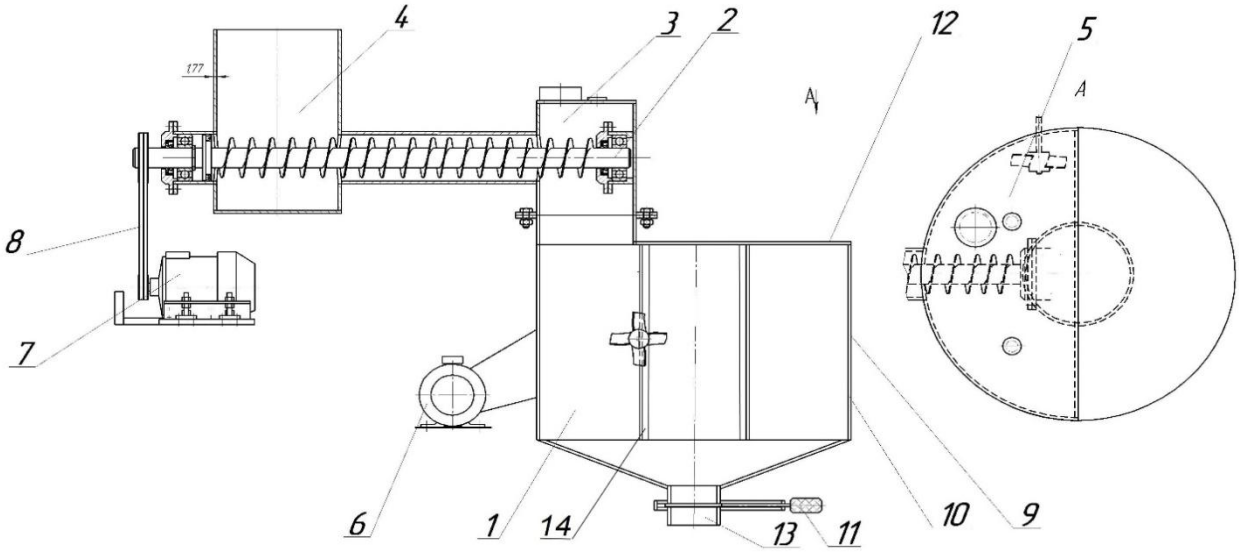


Рис. 2. Экспериментальная биогазовая установка

1 – биореактор; 2 – шнек; 3 –бункер; 4– накопитель; 5 – крыльчатка; 6,7 – электродвигатель; 8 – ременная передача; 9 – датчик давления; 10 – датчик температуры; 11 – задвижка; 12 – счетчик газовый; 13 – сливное отверстие; 14 – система обогрева.

Fig. 2. Experimental biogas plant

1 – bioreactor; 2 – auger; 3 –hopper; 4 – storage; 5 – impeller; 6,7 – electric motor; 8 – belt drive; 9 – pressure sensor; 10 – temperature sensor; 11 – valve; 12 – gas meter; 13 – drain hole; 14 – heating system.

Основные нормативные документы и методические рекомендации, применяемые при проведении экспериментальных исследований представлены для практического руководства при составлении программы экспериментальных исследований.

Согласно «ГОСТ Р.115.13.01-2019. Наилучшие доступные технологии. Рекомендации по обработке, утилизации и обезвреживанию органических отходов сельскохозяйственного производства» для переработки навоза в хозяйстве возможно применение в качестве одного из способов обеззараживания, анаэробную ферментацию навоза в биогазовой установке.

Согласно РД –АПК.3.10.15.01-17 – «Методические рекомендаций по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживанию, хранению и утилизации навоза и помета» анаэробной переработке в биоэнергетических установках (метантенках) подвергают навоз,

смесь осадков отстойников, продукты переработки, очистки навозных стоков. В результате анаэробного сбраживания обеспечивается дегельминтизация, повышается удобрительная ценность субстрата и вырабатывается биогаз.

Необходимые требования, предъявляемые к процессу анаэробного сбраживания навоза, продуктов переработки навозных стоков:

1.Необходимая влажность должна быть в пределах 90-96%.

2.Необходимая величина pH должна быть в пределах 6,9-8,0.

Необходимый режим анаэробного сбраживания определяется по результатам технико-экономических расчетов, при этом учитываются природно-климатические условия местности, качественные параметры навоза, санитарно-гигиенические характеристики к использованию сброженного навоза, наличие площадей и т.п. Рекомендуемая продолжительность процесса анаэробного сбраживания в метантенках принимается в диапазоне от 5 до 20 суток, при этом учитывают объём загрузки, выбранный температурный диапазон сбраживаемой биомассы, скорость протекания реакции, которая в свою очередь зависит от качества и вида применяемого субстрата.

При проведении процесса анаэробного сбраживания навоза в метантенках рекомендуемы следующие технологические параметры биоэнергетической установки:

1.Оптимальная температура анаэробного сбраживания должна быть в пределах 33-38 °С для мезофильного режима.

2.Оптимальная температура анаэробного сбраживания должна быть в пределах 53-55°С для термофильного режима.

Оптимальный объем метантенков определяют с учетом влажности сбраживаемой биомассы, в зависимости от суточного объема загружаемых органических отходов согласно СП 32.13330.2018. Дозу загрузки жидкого навоза определяют экспериментальным путем.

Согласно РД – АПК.3.10.15.01-17, были приняты оптимальные технологические параметры анаэробного сбраживания отходов животноводства, продолжительность экспериментальных исследований составила 15 дней.

На основании «Ветеринарно-санитарные правила подготовки к использованию в качестве органических удобрений навоза, помета и стоков при инфекционных и инвазионных болезнях животных и птицы» (утв. Минсельхозпродом РФ 04.08.1997 N 13-7-2/1027) рекомендовано внесение в метантенк микробной "закваски" из культур термофилов при оптимальном режиме термофильного сбраживания, что позволяет сократить сроки обеззараживания от аспорогенной микрофлоры до 1 суток.

Необходимые требования, предъявляемые к процессу анаэробного сбраживания навоза, продуктов переработки, очистки навозных стоков:

- необходимая температура процесса - 52 - 54 °С;

- необходимая влажность обрабатываемой массы - 92 - 96%;

- необходимая концентрация гидроксильных ионов, pH, - 7,0 - 8,0;

- необходимое количество термофилов - 0,6 - 1,0 млн./мл;

- необходимая продолжительность каждого перемешивания - 15 - 20 мин.

На основании сравнительного анализа исследований российских ученых и методических рекомендаций, нормативной документации разработана программа экспериментальных исследований [9,10,11,12].

Экспериментальные исследования анаэробного сбраживания осадков сточных вод при периодическом психрофильном и мезофильном режиме в биореакторе проводились в летний период 2020 года.

Согласно программе экспериментальных исследований, добавление активатора процесса в биореактор не предусмотрено.

Представлена программа экспериментальных исследований анаэробного сбраживания осадков сточных вод.

Программа экспериментальных исследований:

1. Для запуска и юстировки контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), а также для проверки герметичности установки, в биореактор заливали 80 литров чистой воды.
2. После проверки биогазовой установки на работоспособность, в биореактор залили осадки сточных вод в объеме 40 литров и активный ил в объеме 40 литров влажностью 97-98%, что соответствует заполнению 2/3 части объема биогазовой установки. Анаэробное сбраживание происходило в психрофильном режиме, температурный диапазон 20-25°С. При данном температурном диапазоне благоприятная среда для развития метаногенных микроорганизмов, подогрев сбраживаемой биомассы в летний период при психрофильном режиме не требуется. Исследования проводились 16 дней при работе биогазовой установки в психрофильном режиме.
3. Исследования проводились 10 дней при работе биогазовой установки в мезофильном режиме. При данном режиме необходимо проводить подогрев биомассы, температурный диапазон 33-35°С.
4. Ежедневно с 08:00 до 19:00, запускали перемешивающее устройство 8 раз в день продолжительностью 20 минут, что бы не возникла биокорка и не произошло расслоение сбраживаемой биомассы.
5. Каждый час проводили замеры показаний температуры на 3 термометрах, расположенных в двух рабочих секциях биогазовой установки - наружной, внутренней и переходной зоне. С помощью газоанализатора «СГГ-4М-4» ежедневно, четыре раза в день проводили замеры содержания метана и углекислого газа в газгольдере. Все данные эксперимента ежедневно заносили в протокол испытаний.

Экспериментальные исследования анаэробного сбраживания отходов животноводства, в частности навоза крупного рогатого скота (КРС), при периодическом мезофильном и термофильном режиме в биореакторе проводились в летний период 2021 года. Представлена программа экспериментальных исследований анаэробного сбраживания

отходов животноводства. Для интенсификации процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства предусмотрено добавление активатора процесса.

Программа экспериментальных исследований 1 этапа опыта:

1. Для запуска и юстировки контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), а также для проверки герметичности установки, в биореактор заливали 80 литров чистой воды.
2. После проверки биогазовой установки на работоспособность, в биореактор залили 60 литров свежего навоза крупного рогатого скота (КРС) и 20 литров уплотненного активного ила. Установили температуру в пределах диапазона 33-35°С, позволяющего создать оптимальные условия для мезофильного режима сбраживания.
3. Исследования проводили 7 дней при работе биогазовой установки в мезофильном режиме. Ежедневно с 08:00 до 19:00, запускали перемешивающее устройство в режиме перемешивания с частотой 1 раз в час, продолжительностью 20 минут, что бы не возникла биокорка и не произошло расслоение сбраживаемой биомассы.
4. Каждый час проводили замеры показаний температуры на 3 термометрах, расположенных в двух рабочих секциях биогазовой установки - наружной, внутренней и переходной зоне. С помощью газоанализатора «СГГ-4М-4» ежедневно, четыре раза в день проводили замеры содержания метана и углекислого газа в газгольдере. Все данные эксперимента ежедневно заносили в протокол испытаний.

Программа экспериментальных исследований 2 этапа опыта:

1. Для запуска и юстировки контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), а также для проверки герметичности установки, в биореактор заливали 80 литров чистой воды.
2. После проверки биогазовой установки на работоспособность, в биореактор залили 60 литров свежего навоза крупного рогатого скота (КРС) и 20 литров уплотненного активного ила. Установили температуру в пределах диапазона 50-53°С, позволяющего создать оптимальные условия для термофильного режима сбраживания.
3. Исследования проводили 7 дней при работе биогазовой установки в термофильном режиме. Ежедневно с 08:00 до 19:00, запускали перемешивающее устройство в режиме перемешивания с частотой 1 раз в час, продолжительностью 20 минут.
4. Каждый час проводили замеры показаний температуры на 3 термометрах, расположенных в двух рабочих секциях биогазовой установки - наружной, внутренней и переходной зоне. С помощью газоанализатора «СГГ-4М-4» ежедневно, четыре раза в день проводили замеры содержания метана и углекислого газа в газгольдере. Все данные эксперимента ежедневно заносили в протокол испытаний.

Частота отбора проб биомассы осуществлялась однократно, перед началом и по окончании каждого этапа опыта, в лаборатории «Биотехнологий» проводился анализ по определению качества состава биомассы с применением стандартных методик. Определяли показатели качества, загружаемой и сброженной биомассы: влажность, зольность, pH.

Каждый этап опытов проводился с трёхкратным количеством повторности с использованием биогазовой установки.

Результаты

Получены результаты исследований в периодическом психрофильном и мезофильном режиме анаэробного сбраживания осадков сточных вод, без добавления активатора процесса в биомассу. Итоговые данные выработки биогаза и его метановой составляющей представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований биогазовой установки в периодическом психрофильном и мезофильном режиме сбраживания с использованием осадков сточных вод

Table 1. Results of experimental studies of the biogas plant in periodic psychrophilic and mesophilic fermentation modes using the sewage sludge

№	Время	Показания температуры			Выход биогаза, г/м^3
		T_1	T_2	T_3	
1	8:00	56,10	33,00	40,00	7,92
2	9:00	55,40	33,00	42,00	
3	10:00	55,10	34,00	40,00	
4	11:00	55,30	35,00	42,00	
5	12:00	55,30	35,00	43,00	9,98
6	13:00	55,10	31,00	43,00	
7	14:00	55,10	36,00	43,00	
8	15:00	55,00	36,50	44,50	
9	16:00	55,20	37,00	45,00	10,47
10	17:00	54,90	36,50	45,50	
11	18:00	55,10	36,00	45,50	

12	19:00	55,10	36,00	46,00	11,45

По результатам экспериментальных исследований, предусмотрена доработка технологического процесса утилизации органических отходов и предложено введение активатора процесса для увеличения объема выработки биогаза.

По результатам опытов проведены исследования в периодическом мезофильном и термофильном режиме анаэробного сбраживания отходов животноводства, в частности навоза крупного рогатого скота (КРС) при добавлении активатора процесса в биомассу.

Итоговые данные выработки биогаза и его метановой составляющей представлены в таблице 2.

Таблица 2. Количество выхода биогаза и его метановая составляющая
Table 2. The amount of biogas output and its methane component

День	Выход биогаза, гр/м^3	Выход метана гр/м^3
1	23,9	14,34
2	49,4	29,64
3	58,1	34,86
4	63,7	38,22
5	73,2	43,92
6	79,7	47,82
7	77,2	46,32
8	82,4	49,44
9	88,1	52,86
10	192,5	115,5
11	62,6	37,56
12	48	28,8
13	26,7	16,02
14	15,8	9,48

По результатам экспериментальных исследований проведены анализы исследуемой пробы биомассы в лаборатории «Биотехнологий». Для определения состава биомассы

применены химические методы, использованы методики по определению: влажности, плотности, pH в отходах животноводства и получены следующие результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Динамика изменения влажности, плотности и кислотности исследуемой биомассы

Table 3. Dynamics of changes in humidity, density and acidity of the studied biomass

Наименование методики	Загружаемый навоз КРС	Полученная биомасса
	Результат	
Определение влажности	94,1±4,9 %	89,1±4,9 %
Определение плотности	0,97 %	0,95 %
Определение pH	6,2 ед.	6,5 ед.

Результаты экспериментальных исследований по выработке биогаза в зависимости от температуры представлены в таблице 4,5.

Таблица 4. Результаты экспериментальных исследований биогазовой установки в мезофильном режиме сбраживания отходов животноводства

Table 4. Results of experimental studies of the biogas plant in the mesophilic fermentation mode of livestock waste

t, час	Выход биогаза, гр/м^3	Показания температуры		
		T_1	T_2	T_3
8:00		0	0	0
9:00		23,2	22,1	23,1
10:00		31,5	27,5	31,1
11:00	3,2	32,1	30,1	31,9
12:00		33,2	30,2	32,9

13:00		34,1	30,5	33,7
14:00	4,7	34,3	30,2	34
15:00		34,5	30,3	34,1
16:00		34,2	30,7	33,7
17:00	6,9	34,1	31,5	33,7
18:00		33,8	31,2	32,3
19:00	9,1	33,5	30,4	32,1

Таблица 5. Результаты экспериментальных исследований биогазовой установки, при работе в термофильном режиме сбраживания

Table 5. Results of experimental studies of the biogas plant in the thermophilic fermentation mode

t, час	Выход биогаза, гр/м^3	Показания температуры		
		T_1	T_2	T_3
8:00		37,3	36,2	37,1
9:00		50,1	48,3	49,6
10:00		50,2	48,5	49,8
11:00	20,2	51,5	50,1	51
12:00		52,3	51,3	51,7
13:00		52,5	51,3	51
14:00	20,4	52,6	51,4	52,3
15:00		52,4	51,1	52,1
16:00		52,1	50,8	51,6
17:00	20,8	51,7	50,2	51,3
18:00		51,4	50,1	50,9
19:00	21	51,1	49,5	50,4

Обсуждения

В отличии от результатов научных исследований д.т.н, профессора Друзьяновой В.П., которые обеспечивают устойчивую работу биоэнергетической установки в психрофильном и мезофильном режимах в Якутии, наши эксперименты направлены на получение максимального объема выработанного биогаза при использовании различных видов органических отходов в Удмуртской Республике. Согласно программе проведения экспериментальных исследований по повышению эффективности процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод, применение термофильного режима наиболее эффективно для получения максимального объема вырабатываемого биогаза. В отличии от результатов научных исследований д.т.н, профессора Друзьяновой В.П., которые рекомендует применять закваску, содержащую мезофильные микроорганизмы, мы в своих исследованиях для повышения эффективности процесса анаэробного сбраживания органических отходов при загрузке в биореактор добавляли активатор на основе микроорганизмов, общего азота, фосфора и калия, органических и гуминовых веществ. Применение активатора процесса направлено на повышение эффективности процесса и ускорения разложения органических отходов с возможностью получения максимального объема выработанного биогаза [13].

Факторами оптимизации анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод являются: температура, влажность, микробиологические и биохимические закономерности, кислотность, частота перемешиваний биомассы, продолжительность процесса, режим анаэробного сбраживания. Критерием оптимизации процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод в биореакторе является удельный показатель - объём выработанного биогаза.

Экспериментальные исследования анаэробного сбраживания осадков сточных вод в биореакторе проводились 26 дней, в периодическом психрофильном и мезофильном режиме без добавления активатора процесса.

Экспериментальные исследования анаэробного сбраживания отходов животноводства в биореакторе проводились 14 дней, в периодическом мезофильном и термофильном режиме, с добавлением активатора для интенсификации процесса.

Биогазовая установка работала в мезофильном режиме 7 дней, при температуре анаэробного сбраживания– 30-35°С. На протяжении всего времени исследований в течение каждого дня отслеживались показания выработки биогаза. Замеры содержания метана и углекислого газа в газгольдере проводились с помощью газоанализатора.

Биогазовая установка работала в термофильном режиме 7 дней, при температуре – 50-53°С в биореакторе. При термофильном режиме поддерживалось развитие устойчивой колонии метаногенных микроорганизмов и не происходило истощение биомассы . В процессе экспериментальных исследований проводился анализ состава биомассы, до и после сбраживания по влажности, плотности и pH загружаемого субстрата, отходов животноводства и исследуемой биомассы. Химические анализы были выполнены в лаборатории «Биотехнологий».

Выводы.

1) По результатам экспериментальных исследований анаэробного сбраживания осадков сточных вод в психрофильном режиме без применения активатора процесса и подогрева биомассы, выработка биогаза не наблюдалась.

2) По результатам экспериментальных исследований анаэробного сбраживания осадков сточных вод в мезофильном режиме без применения активатора, максимальный объем выработанного биогаза зафиксирован на 8 день опыта и составил 11,45 г/м^3.

3) По результатам экспериментальных исследований анаэробного сбраживания отходов животноводства, в частности навоза крупного рогатого скота, при мезофильном режиме процесс сбраживания протекает равномерно, максимальный объем выработанного метана при добавлении активатора, наблюдался на 6 день исследований и составил 47,82 г/м^3.

4) По результатам экспериментальных исследований анаэробного сбраживания отходов животноводства, в частности навоза крупного рогатого скота, оптимальным по выработке биогаза является процесс термофильного сбраживания, максимальный объем выработанного метана наблюдался на 10 день исследований и составил 115,5 г/м^3, а выработка биогаза составила 192,5 г/м$^{3.}$

5) На основании экспериментальных исследований наблюдали увеличение объема выработанного метана с отходов животноводства в 16,81 раз по сравнению с осадками сточных вод. Наиболее эффективным сырьем для получения максимального объема выработанного метана является навоз крупного рогатого скота (КРС) по сравнению с осадками сточных вод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев А.В., Панов Д.А. Свалова М.В. К методике исследования процессов анаэробной очистки сточных вод с применением энергосберегающих технологий // Наука и инновации в современных условиях. 2016. № 1. С. 215-219.

2. Афанасьев В.Н., Брюханов А.Ю. Сельскохозяйственные отходы: от ликвидации до эффективного безопасного использования // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 3. С. 30-33.

3. Брюханов А. Ю. Методы расчета вредных выбросов животноводческих ферм // Сельский механизатор. 2008. №7. С. 35-36.

4. Друзьянова, В. П., Сергеев Ю. А. Технология анаэробного сбраживания бесподстилочного навоза крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2015. № 5. С. 24-26.

5. Диденко В.Н., Свалова М.В., Исаев А.В., Узаков Н.Д. Метод сравнительной оценки тепловых потерь биореакторов на этапе аванпроекта биогазовой установки // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 5 (121). С. 61-65.

6. Касаткин В.В., Литвинюк Н.Ю., Бурлакова Ф.М., Свалова М.В., Ильин А.П. К модели процесса утилизации отходов продукции птицеводства // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. № 2. С. 70-71.

7. Колосова Н.В., Монах С.И. Математическая модель тепломассообмена при получении биогаза в метантенке // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. Т. 15, № 2. С. 67-74.

8. Оковитая К.О. Повышение эффективности работы метантенков // Эффективные технологии в области водоподготовки и очистки в системах водоснабжения и водоотведения: сб. мат. Всеросс. студ. науч.-практ. конф. Вологда: ВГТУ. 2021. С. 54-56.

9. Провоторова А.А. Сравнительный анализ использования аэротенков и метантенков при очистке сточных вод // Современная наука и ее ресурсное обеспечение: Инновационная парадигма: сб. мат. VI международной научно-практической конференции. 2021. С. 97-102.

10. Смирнова А.Р. Пути повышении эффективности работы метантенков // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XXXI междунар. науч.-практ. конф. М.: МЦНО, 2020. № 2 (31). С. 23-30. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42433585_45385262.pdf

11. Уваров Р.А., Брюханов А.Ю. Перспективные технологии биоферментации навоза/помета для Северо - Запада России // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 26-31.

12. Хворенков Д.А., Алексеева Л.В., Варфоломеева О.И., Попов Д.Н. К расчету параметров распространения угарного газа от котла индивидуальной системы отопления частного жилого дома // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945-2015) - Даниловских чтений. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2018. С. 65-69.

13. Юхин Д.П. К вопросу повышения эффективности функционирования метантенка биогазовой установки // Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы XII национальной научно-практической конференции молодых ученых. Уфа:Башкирский государственный аграрный университет. 2019. С. 168-172.

14. Baowei Wang, Zhiwen Wang, Tao Chen, Xueming Zhao. Development of novel bioreactor control systems based on smart sensors and actuators // Front Bioeng. Biotechnol. Sec. Bioprocess Engineering. 2020. Vol. 8. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00007

REFERENCES

1. Andreev A. V., Panov D. A. Svalova M. V. To the methodology of studying the processes of anaerobic wastewater treatment using energy-saving technologies. Nauka i innovacii v sovremennyh usloviyah = Science and Innovation in Modern Conditions. 2016; 1: 215-219 (In Russ.)

2. Afanasiev V.N., Briukhanov A.Yu. Agricultural waste: from disposal to effective safe use. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva = Mechanization and Electrification of Agriculture. 2012; 3: 30-33 (In Russ.)

3. Briukhanov A. Yu. Calculcation methods of harmful emissions from livestock farms. Sel'skii mekhanizator = Agricultural Machine Operator. 2008;7: 35-36 (In Russ.)

4. Druzyanova V.P., Sergeev Y.A. Technology of anaerobic fermentation of without litter cattle manure. Agrarnaya nauka = Agrarian Science. 2015; 5; 24-26 (In Russ.)

5. Didenko V.N., Svalova M.V., Isaev A.V., Uzakov N.D. Method for comparative evaluation of heat losses of the reactors at the stage of preliminary design of a biogas plant. Energosberezhenie i Vodopodgotovka = Energy Saving and Water Treatment. 2019; 5 (121):61-65 (In Russ.)

6. Kasatkin V.V., Litvinyuk N.Y., Burlakova F.M., Svalova M.V., Ilyin A.P. To a model for poultry waste management. Khranenie i Pererabotka Sel"khozsyr"ya = Storage and Processing of Farm Products. 2009;2: 70-71. (In Russ.)

7. Kolosova N.V., Monakh S.N. A mathematical model of heat and mass exchange in biogas producing in a digester. Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Modern Industrial and Civil Construction. 2019; 15(2): 67-74 (In Russ.)

8. Okovitaya K.O. Increasing efficiency of digesters // Effective technologies in water treatment and purification in water supply and wastewater disposal systems: Proc. All-Russian Student Sci. Prac. Conf. Vologda: VGTU. 2021: 54-56 (In Russ.)

9. Provotorova A.A. Comparative analysis of the use of aerotanks and digesters in wastewater treatment // Modern science and its resource support: An innovation paradigm: Proc. VI Int. Sci. Prac. Conf. 2021: 97-102 (In Russ.)

10. Smirnova A.R. Ways to increase the efficiency of methane tanks operation // Scientific forum: Technical and physical-mathematical sciences: Proc. XXXI Int. Sci. Prac. Conf. Moscow: ICNO, 2020; 2 (31): 23-30 (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42433585_45385262.pdf

11. Uvarov R. A. Bryukhanov A. Yu. Advanced technologies of biofermentation manure / litter for North-West Russia. Nauchnoe obozrenie = Scientific Review (Science of Education Publishing House). 2015;16: 26-31 (In Russ.)

12. Khvorenkov D. A., Alekseeva L. V., Varfolomeeva O. I., Popov D. N. To calculate the distribution parameters of the carbon monoxide gas from private house individual heating system boiler // Energy and resource conservation. Energy supply. Non-traditional and renewable energy sources. Nuclear energy: Proc. Int. Sci. Prac. Conf. dedicated to the memory of Professor Danilov N. I. (1945-2015) - Danilov Readings (Yekaterinburg, December 10-14, 2018). Yekaterinburg : UrFU, 2018: 65-69 (In Russ.) URL: http://hdl.handle.net/10995/74714

13. Yukhin D.P. To the issue of improving the efficiency of biogas digester functioning // Science of the young - innovative development of agroindustrial complex: Proc. XII Nat. Sci.-Prac. Conf. young scientists. Ufa:Bashkir State Agrarian University. 2019: 168-172 (In Russ.)

14. Baowei Wang, Zhiwen Wang, Tao Chen, Xueming Zhao. Development of novel bioreactor control systems based on smart sensors and actuators. Front Bioeng. Biotechnol. Sec. Bioprocess Engineering. 2020; 8. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00007

Об авторах

Марианна Викторовна Паршикова, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, Ижевск, ул. Студенческая, 07, Россия, marianna.svalova@yandex.ru

ORCID 0009-0001-4151-8119

Владимир Вениаминович Касаткин, докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии и биотехносферной безопассности, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, ул. Студенческая, 11, Россия

kasww@mail.ru

Надежда Юрьевна Касаткина, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пищевой инженерии и биотехносферной безопассности, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, ул. Студенческая, 11, Россия

kasatnu@yandex.ru

Анастасия Андреевна Литвинюк, аспирант Института гражданской защиты, Удмуртский государственный университет, Ижевск, ул. Университетская, 1, Россия

litaa2014@yandex.ru

About the authors

Marianna V. Parshikova, Cand. Sci. (Engineeering), Assistant Professor, assistant profess of the chair “Water Supply and Water Treatment”. Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov, Izhevsk, Studencheskaya St., 07, Russia, marianna.svalova@yandex.ru

ORCID 0009-0001-4151-8119

Vladimir V. Kasatkin, DSc (Engineering), professor, Professor of the chair of food engineering and biotechnospheric security, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Studencheskaya St., 11, Russia,

kasww@mail.ru

Nadezhda Yu. Kasatkina, Cand. Sci. (Engineeering), Assistant Professor, assistant profess of the chair of food engineering and biotechnospheric security, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Studencheskaya St., 11, Russia,

kasatnu@yandex.ru

Anastasia A. Litvinyuk, post-graduate student, Institute for Civil Protection, Udmurt State University, Izhevsk, Universitetskaya St., 1, Russia

litaa2014@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

М.В. Паршикова – разработка методики и этапов проведения экспериментальных исследований, администрирование данных, создание черновика рукописи.

Касаткин В.В. – руководство исследованием, концептуализация, администрирование данных создание окончательной версии (доработка).

Authors’contribution

Marianna V. Parshikova – development of methods and stages of experimental research, data administration, creation of a draft manuscript.

Vladimir V. Kasatkin – research management, conceptualization, data administration creation of the final version (revision).

Nadezhda Yu. Kasatkina – formal analysis,

Касаткина Н.Ю. – формальный анализ, ресурсы, редактирование

Литвинюк А.А. – программное обеспечение, визуализация, верификация данных.

resources, editing.

Anastasia A. Litvinyuk – software application, visualization, data verification

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Статья поступила в редакцию: 29.05.2023

Одобрена после рецензирования: 26.06.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

Received: 29.05.2023

Approved after reviewing: 26.06.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

Научная статья
УДК 631.95

DOI: 10.24412/2713-2641-2023-2115-158-172

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ОТДЫХА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПЛЕМЕННОГО МЯСНОГО СКОТА

Сидорова Виктория Юрьевна, gdi20071@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0001-9056-8326

Агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Аннотация. Экологичное содержание племенного мясного скота на откорме должно осуществляться в соответствии с принципами и методами бесстрессового разведения, что позволяет ему в полной мере реализовать свой генетический потенциал. Целью исследования было изучить особенности формирования экологичной зоны отдыха племенного мясного скота на откорме, организация которой является одним из элементов экологичного разведения. В ходе исследования были использованы методы сбора и анализа информации, полученной из передовой отраслевой практики, экспертных оценок, интернет-ресурса, научно-технического фонда и собственных исследований. Как показало изучение распорядка

дня на откормплощадках, он включает такие основные производственные операции, как кормление и отдых животных, на которые затрачивается 84% суточного времени, и сопутствующие производственные операции, на которые затрачивается 16%. Практически, на откормплощадках выделяется 2 основных производственных процесса и, соответственно, две основных зоны разведения – кормления и отдыха, организация которых имеет различное инженерно решение: зона отдыха для бесстрессового содержания животных, определяющая здоровье, посещается животными более 16-17 часов, а зона кормления – менее 7-8 часов, то есть в 2 раза реже. Организация экологичных зон отдыха для откорма зависит от следующих критериев: системы содержания, районирования, сезона откорма, программы откорма. При формировании половозрастных групп нормы площади пола для отдыха (м^2) на 1 животное должны быть не менее 20м^2, в среднем 50-60 м^2, в логове допускается боле плотное размещение, но не менее 4 м^2. Твердое долговременное структурированное покрытие площадки для откорма (галька, щебень, дерево, опилки, песок) способствует минимизации затрат на откорм. При бесстрессовой технологии откорма племенной скот быстро набирает среднесдаточный вес, уклоняется в тип породы, депонирует деликатесное мраморное мясо, а не превращает дорогостоящие корма в брюшной жир.

***Ключевые слова*:** бесстрессовое разведение мясного скота, экологичный откорм, распорядок дня на откормплощадке, зона отдыха мясного скота.

Для цитирования: Сидорова В.Ю. Особенности формирования зоны отдыха для экологичного содержания племенного мясного скота // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2 (115). С. 158-172

Research article
Universal Decimal Code
УДК 631.95

SPECIFIC FEATURES OF A RECREATION AREA FOR ECO-FRIENDLY HOUSING OF PEDIGREE BEEF CATTLE

Victoria Yu. Sidorova, gdi20071@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0001-9056-8326

Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Abstract. Eco-friendly housing of pedigree beef cattle for fattening should follow principles and methods of stress-free breeding. In this case, each animal is able to reach his or her full potential. The study aimed to get an insight into how to arrange the eco-friendly recreation area these animals since this is an element of the eco-friendly livestock breeding. The study used the methods of collecting and analyzing the information obtained from industry best practices, expert assessments, Internet resources, scientific and technical funds and own research. From the study, the daily routine at feedlots included two basic production operations – feeding and resting of animals. They accounted for 84% of the daily time. Other operations took 16% of time. In practice, two main production processes take place on the fattening feedlots. Accordingly, two main zones are allocated – for feeding and recreation. These zones need to be organized with different engineering solutions are organized by different engineering solutions. In the stress-free recreation area securing

the animals health, they stay for more than 16-17 hours. The feeding zone is visited for below 7-8 hours, i.e. twice shorter in total. The eco-friendly recreation area for fattening animals depends on the following criteria: livestock housing system, the region, the fattening season, and the fattening program. When age-and-gender groups are formed, the floor area in the recreation zone should be at least 20 m^2 per animal; in average, it is 50-60 m^2. Denser placement is allowed in the den, but not below 4 m^2. Solid durable structured cover (pebbles, crushed stone, wood, sawdust, sand) of the fattening site contribute to minimal fattening costs. Under stress-free fattening technology, the pedigree cattle quickly gains the averaged finishing weight, approaches the breed type, accumulates the delicious marbled meat, and does not waste the expensive feeds into an abdominal fat.

Keywords: beef cattle, stress-free breeding, eco-friendly fattening, daily routine at feedlots, recreation area for beef cattle

For citation: Sidorova V.Yu. *Specific features of a recreation area for eco-friendly housing of pedigree beef cattle.* AgroEcoEngineering. 2023;2(115): 158-172. (In Russ.)

Введение. Развитие племенного мясного скотоводства у нас в стране определяется многими факторами. Откорм племенного крупного скота – одно из стратегических направлений развития отечественного животноводства связано с продовольственной безопасностью страны, а также ростом населения и сокращением доступных продовольственных ресурсов в дикой природе. Технологический процесс откорма крупного рогатого скота имеет свои особенности и предусматривает комплектование площадок в зависимости от сезона года в том числе племенным молодняком живой массой – 180–240 кг, при среднесуточных приростах на уровне 1800–2100 г. При правильной технологии откорма племенной скот быстро набирает среднесдаточный вес, уклоняется в тип породы, депонирует в передней и задней третях туловища деликатесное мраморное мясо, а не превращает дорогостоящие корма в брюшной жир [1,2,3,5].

Современные откормочные площадки представляют собой сооружения открытого типа, ориентированные на откорм племенного мясного крупного рогатого скота с постановочной живой массой 300–320 кг на рационах с уровнем зерновых концентратов не менее 60–80 % по питательности при среднесуточных приростах 1300–1500 г и продолжительности около 6 месяцев. Продолжительность откорма составляет 180-200 дней до достижения съемной массы 480–500 кг с использованием полнорационных кормовых смесей с содержанием 40–60 % концентратов по питательности [5,6]. С целью получения зрелой высококачественной говядины с хорошей мраморностью стейков, наиболее целесообразным является продление откорма мясного скота и убой бычков в возрасте не менее 20-ти месяцев при достижении живой массы 500–550 кг. При откорме молодняка как мясного, так и молочного скота в условиях фидлотов, животные, характеризуются сравнительно высокими показателями интенсивности приростов живой массы с рентабельностью производства мяса 11,5–12%.

Откормочные площадки для молодняка должны быть разделены на зоны, что делается для минимизации стресса: чем старше и тяжелее животное, тем больше оно подвержено стрессу, при котором животные теряют аппетит, становятся вялыми и слабыми. Практически на откормочных площадках выделяется 2 основных зоны – зона кормления и зона отдыха, организация которых имеют различное инженерно-технологическое решение. Зона отдыха для бесстрессового содержания животных, которая непосредственно определяет здоровье, рост и развитие молодняка [7,8,9,10].

Во многих странах с развитым мясным скотоводством не предусматривается организация не только зоны отдыха, но и зоны кормления с кормушками и поилками, и корм подается животным на землю, а ведь в каждом загоне, где животные содержатся на площади в 0,6 га размещается от 280 до 300 голов мясного крупного рогатого скота, и в 146 загонах может находиться до 37 тыс. бычков. В таких условиях состояние окружающей среды перестало быть безопасной областью разведения животных, и из-за технологического стресса сроки их откорма увеличиваются, а производственного использования сокращаются.

Состояние стресса вредно влияет на привесы и дальнейший рост племенного молодняка [11,12,13]. При отсутствии применения технологий экологичного содержания и передвижения, у племенного скота может развиться острый стресс, характеризующийся потерей живой массы на 6—10% и более, снижением резистентности и адаптивных возможностей, ухудшением качества и величины убойного выхода мяса [1]. Многие авторы считают технологический стресс одним из самых опасных видов стресса, который приводит даже к гибели особо чувствительных особей [10,13].У мясного скота при стрессе наблюдают беспокойство, нервное возбуждение, мышечная дрожь, мочеиспускание, повышение температуры тела до 40,2 °С, учащение пульса до 126-140 ударов в минуту, а частоты дыхания — до 72-76 вздохов в минуту[14,15,16].

Факторы, определяющие экологичное (бесстрессовое) содержание племенных животных на откормочных площадках, и получающие свое позитивное выражение за счет организации зон отдыха при помощи инженерных коммуникаций следующие:

- размер поголовья;
- характеристика земельного участка: влажность, количество осадков, температура воздуха, направление господствующих ветров и т.д.;
- возможность увеличения (масштабирования) зоны отдыха;
- фермерская логистика, поддерживающая зону отдыха животных, с технологическими подъездными дорогами и площадками для персонала и машин и привязкой к рельефу местности, в том числе к складам кормов и навозохранилищу.

Все это возможно организовать в рамках функционального зонирования фермерской территории для формирования зон отдыха, при планировании объектов для содержания животных, и соблюдении необходимых общепринятых требований комфортного содержания, предъявляемых к ним [17,18,19].

Материал и методы исследования. В ходе исследования использованы методы сбора, изучения, систематизации и обработки информации, полученной из передовой отраслевой практики, экспертных оценок, интернет-ресурса, научно-технического фонда (литературные источники, справочники, методические руководства, рекомендации, специализированные выставки, конференции), патентно-лицензионных источников, инновационных разработок ведущих фирм-производителей техники и оборудования для откорма мясного скота и собственных исследований.

В результате собственных исследований были изучены производственные процессы на фермах, с целью определения эффективности комфортного содержания на откормочных площадках, как элемента экологичности при разведении крупного рогатого скота на мясные цели. Схема научного эксперимента приведена на рисунке 1.

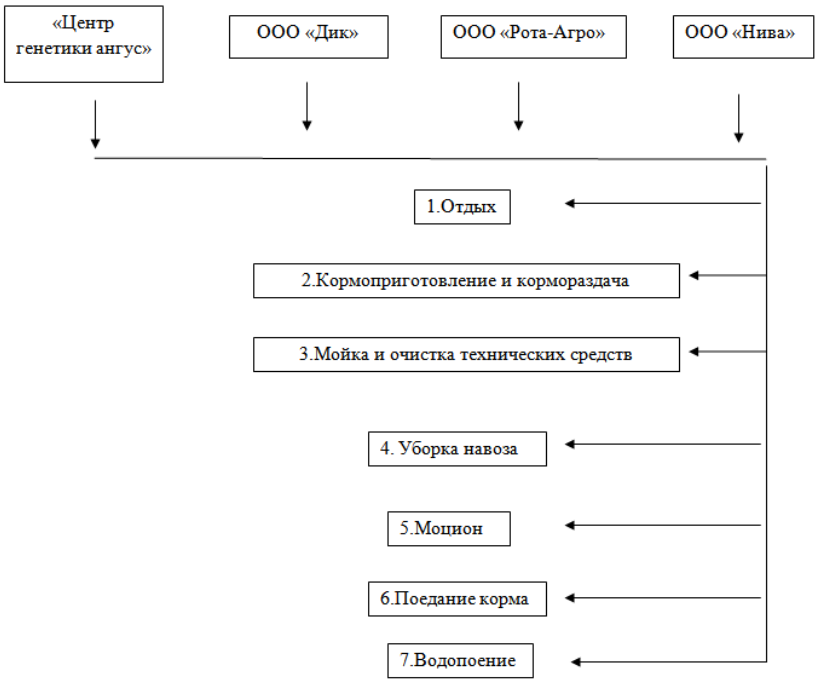


Рис.1. Схема научного эксперимента по определению экологичности содержания животных на откорме

Fig.1. The arrangement of scientific experiment on determining the eco-friendliness of fattening animals housing

В результате изучения распорядка дня на фермах с учетом имеющихся основных производственных операций и для определения их экологичности, были выделены наиболее общие процессы, как элементы экологичности откорма крупного рогатого скота для мясных целей.

Цель и задачи исследования – изучить принципы и особенности формирования зоны отдыха племенного мясного скота на откорме для комфортного бесстрессового содержания, как элемента экологичности при разведении животных.

Объект исследования: организация бесстрессового содержания молодняка крупного рогатого скота на откорме на фермах «Центр генетики ангус», ООО «Дик», ООО «Рота-Агро», ООО «Нива» и др.

Результаты исследований и их обсуждение. Несмотря на повышенный интерес к мясному скотоводству в последние годы, темпы становления недостаточны, и развитие отрасли продолжается благодаря увеличению количества скота мясных пород, а не за счет улучшения качества откорма племенного поголовья [20,21,22,23].

Содержание мясного скота на откормочных площадках является важнейшим моментом экологичности откорма скота и минимизации затрат. Большинство авторов считает, что особое значение здесь имеет наличие зон отдыха – то есть технологичного использования особого типа строений, зданий и сооружений, находиться в которых животным максимально комфортно [12, 24, 25].

На данных фермах применялся цикличный метод откорма, а именно от отъема в 6-месячном возрасте до 12-месячного возраста молодняк находился на откормочных

площадках под навесами, на глубокой подстилке, которая пополнялась по мере необходимости, а утилизировалась после реализации животных на мясо, то есть 2 раза в год.

Как оказалось, все производственные процессы имели черты экологичности, однако нами были взяты в обработку те процессы производства, которые соответствовали бесстрессовому содержанию молодняка, как элементу экологичности.

Изучение распорядка дня на откормочных площадках племенного мясного скота показало, что основными производственными операциями здесь являются кормление и отдых поголовья (Табл.1).

Таблица 1. Распорядок дня на откормочных площадках, часов

Table 1. Daily routine at feedlots, hours

№№ пп	Время проведения	Производственная операция	Количество затраченного времени, ч
1.	0.00-6.00	Ночной моцион и отдых животных	6
2.	6.00-8.00	Утреннее приготовление, раздача и поедание концентрированных кормов (зерносмеси)	2
3.	8.00-9.00	Утренний моцион и отдых животных	1
4.	8.00-9.00	Уборка территории	1
5.	9.00-11.00	Утреннее приготовление, раздача и поедание грубых кормов (кормосмеси)	2
6.	11.00-12.00	Утренний моцион и отдых животных	1
7.	11.00-12.00	Мойка и очистка технических средств кормораздачи	1
8.	12-00-14.00	Дневное приготовление, раздача и поедание грубых кормов	2
9.	14.00-20.00	Дневной моцион и отдых животных	6
10.	15.00-16.00	Мойка и очистка технических средств кормораздачи	1
11.	20.00-22.00	Вечернее приготовление, раздача и поедание грубых кормов (кормосмеси)	2
12.	21.00-22.00	Сдача смены ночному скотнику	1
13.	22-00–24.00	Ночной моцион и отдых животных	2

Таким образом, несмотря на то, что некоторые производственные операции осуществляются одновременно, основной распорядок дня включает такие производственные

операции, как кормление и отдых животных, на которые затрачивается 84% времени суток, сопутствующие производственные операции, проводимые в течение 16% времени суток.

Зона отдыха для бесстрессового содержания животных определяющая здоровье молодняка, посещается животными большую часть суток, а именно 16-17 часов, а зона кормления – менее 7-8 часов, то есть в 2 раза меньше (Рис.2).

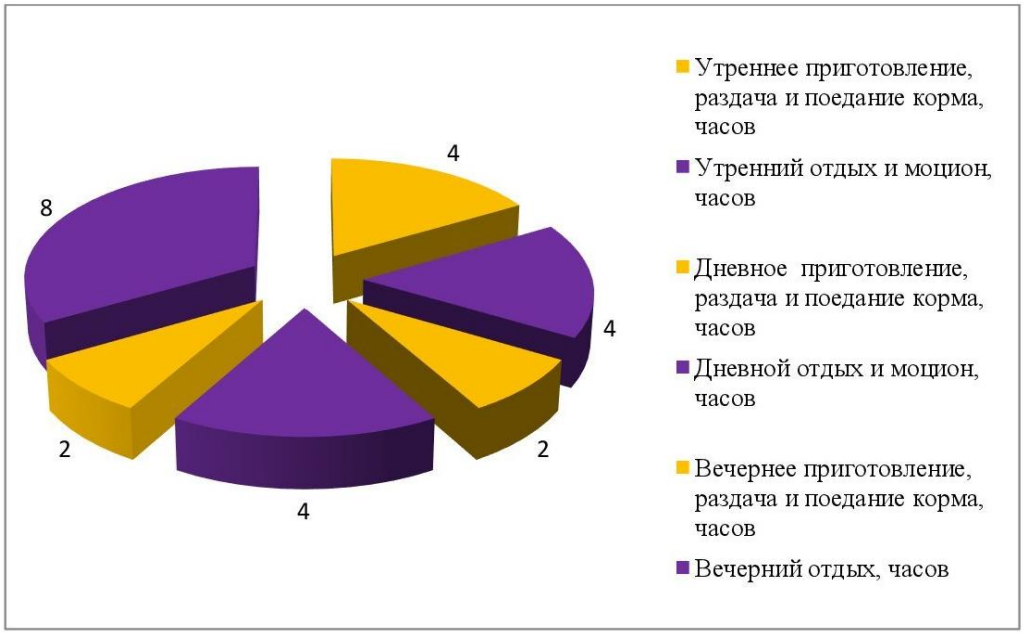


Рис.2. Распорядок дня при откорме племенного мясного скота, часов

Fig.2. Daily routine of beef breeding fattening cattle, hours

Таким образом, на откормочных площадках выделяются 2 производственных процесса и, соответственно, две основных зоны –кормления и отдыха, организация которых имеет различное инженерное решение.

Принятие технико-технологических решений для организации экологичных зон отдыха для откорма зависит от следующих критериев:

- системы содержания (открытая площадка с ветрозащитой, загон с песчано-глиняным курганом, навес с логовом на глубокой подстилке и т.д.);
- районирования мест содержания – выбор площадок для откорма с учетом рельефа местности;
- сезона откорма;
- программы откорма.

При разработке технологии (программы) откорма, необходимо учитывать долгосрочность покрытия площадок для содержания таких крупных и тяжелых животных, учитывая, что их родичи – бизоны, в свое время разрушили структуру и вытоптали Великие равнины в Америке, а при их передвижении дрожали Скалистые горы.

Неправильное планирование фермерской логистики животноводческих объектов не позволяет эффективно управлять животными и увеличивает риск заболеваемости и травматизма. Животные, находящиеся в несоответствующих условиях содержания, никогда не смогут реализовать свой генетический потенциал в полном объеме.

Для экологичного содержания на откорме у племенных животных мясного направления продуктивности должны в полной мере соблюдаться биологические потребности их организма: моцион, предотвращающий застой венозной крови в организме, и продолжительный спокойный дневной и ночной отдых в теплом логове.

Таким образом, зоны отдыха для экологичного содержания племенного скота мясного направления продуктивности должны отвечать следующим требованиям:

- при формировании половозрастных групп нормы площади пола для отдыха ($м^2$) на 1 животное должны быть не менее 20 $м^2$, в среднем 50-60 $м^2$;
- площадки для откорма представляют собой загоны, внутри которых должен быть навес, курган, ветрозащитная стена и свободный доступ к воде и кормам, что снижает затраты на содержание, исключает строительство дорогостоящих капитальных объектов, и улучшает здоровье животных;
- каждая производственная откормочная группа животных содержится в отдельном загоне, который представляет собой огороженный прямоугольник. Для логова, под навесом, в зоне отдыха крупного рогатого скота на откорме допускается более плотное размещение, но не менее 4 $м^2$. Необходимая площадь на голову зависит от также типа поверхности покрытия площадки и количества осадков;
- необходимо предусмотреть резервные секции для возможности сортировки и отделения групп животных во время ветеринарных обработок, хэдлоки и расколы для возможности фиксации животных, расположенные по обе стороны от основной; при этом кормовой проезд является галерей для перегона животных из загона в загон (Табл.2).

Таблица 2. Нормативы наименьшей площади пола загонов и расколов для формирования зоны отдыха, $м^2$/гол (РД-АПК 1.10.01.03-12)

Table 2. – Standards of the smallest floor area of the paddocks and splits in recreation areas, m^2/head (RD-APK1.10.01.03-12)

Показатель	Живая масса скота, кг		
	< 270	270-544	< 544
Накопительный загон, м2/гол	1.30	1.58	1.86
Общий загон, м2/гол	0.6	0.9	1.1

Высота ветрозащитной стены, возможных природных лесополос, деревьев или кустарников обычно составляет не менее 2,4 м. Ветрозащитную стену располагают со стороны основного направления ветра.

На площадках зоны отдыха для содержания мясного скота необходимы твердые покрытия, состоящие из бетона, гальки, песка, глины и асфальта и т.д. (Рис.3).

Такое твердое покрытие уменьшает загрязнение площадки навозом, предотвращает накопление льда, снега, на участке зоны отдыха и подтопления логова. Высота бетонной полосы до верха бетонного покрытия от земли – мах 25,6 см. При выборе места для расположения зоны отдыха учитывают наличие уклона площадки для предотвращения сбора сточных вод в зоне кормления.

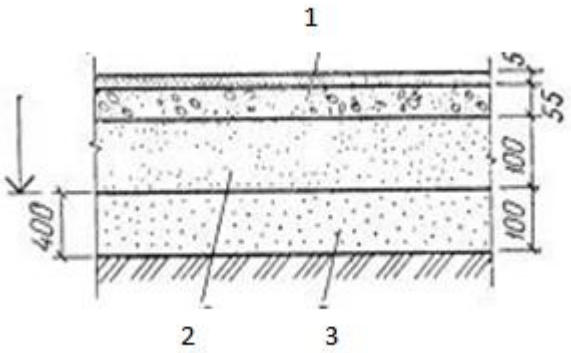


Рис.3. Структура покрытия зоны отдыха в загоне для откорма мясного скота: 1- керамобетон с полимерами; 2 – песок, глина, саман, щебень; 3- уплотненный грунт, кирпич, уложенный на ребро, осмоленное дерево, битум

Fig.3. The structure of the recreation area covering in the paddock for fattening cattle: 1- ceramic concrete with polymers; 2 – sand, clay, adobe, crushed stone; 3- compacted soil, brick laid on an edge, tarred wood, bitumen

Технологические характеристики основных элементов покрытия зоны отдыха представлены в Таблице 3. Так видно из данной таблицы, они обладают хорошими теплоизоляционными и теплопроводными свойствами: например, удельная теплоемкость самана составляет от 0,2 до 0,9 Дж/кгК.

Зоны отдыха включают в свой состав курганы, покрытые соломой или без нее. Курганы устраивают в отдалении от области кормления и поения. Минимальная высота кургана 1,5 м в центре. Боковые наклоны должны быть достаточно пологими для того, чтобы скот смог дойти до верхней части насыпи. Навоз в зоне лежания должен накапливаться, чтобы генерировать тепло во время зимы.

Таблица 3. Технологические характеристики основных элементов структуры покрытия [19]

Table 3. Technological characteristics of the main elements of the coating structure [19]

Материал	Теплоемкость Дж/кгК.	Паропроницаемость кг/м·сек·Па
Плиты древесные	2,3	0,06
Железо-бетон	0,84	0,03
Кирпич	0,88	0,11-0,17
Саман	0,2	0,2

Навесы для устройства логова могут быть нескольких видов:

- с наклонной крышей и открытой боковой стороной;
- с наклонной стеной и открытой боковой стороной,

а также их вариации – с открытой торцовой стеной (Рис.4, а, б).

Все возможные перегородки и ворота внутри навеса должны быть съемными для облегчения чистки навоза. Температура внутри навеса – выше точки замерзания: такое холодное и сухое помещение с обильным количеством подстилки из соломы и опилок для логова лучше, чем теплое и влажное.

Данный тип строения обеспечивает прекрасные условия для откорма на пастбищах в том числе в зимнее время или во время неблагоприятных погодных условий. Обычно такие зоны отдыха устраивают при разведении племенных животных, которые требуют особого внимания: размещать зону отдыха нужно в легкодоступном, но защищенном от ветров и снегопада месте.

а)

б)

Рис.4. Навесы для зоны отдыха животных (а) - с наклонной крышей и открытой боковой стеной; б)– с наклонной боковой стеной и открытой боковой стороной)

Fig.4. The open barns for animals' recreation areas (a) - with a sloping roof and open side wall; b) – with an inclined side wall and an open front wall)

Сборно-разборная конструкция загонов и навесов для зоны отдыха является преимуществом такой системы откорма: строение может быть перемещено в различные локации загона.

Выводы. Все производственные процессы, имеющие место на мясных фермах по откорму крупного рогатого скота имеют элемент экологичности. Разведение мясного скота на откормочных площадках является важнейшим моментом экологичности откорма скота и минимизации затрат при условии его бесстрессового комфортного содержания. Изучение распорядка дня на откормочной площадке показало, что он включает такие основные производственные операции, как кормление и отдых животных, на которые затрачивается 84% времени суток, и сопутствующие производственные операции, на которые затрачивается 16%. Практически, на откормочных площадках выделяется 2 основных производственных процесса и, соответственно, две зоны –кормления и отдыха, организация которых имеет различное инженерное решение: зона отдыха для бесстрессового содержания животных, определяющая здоровье молодняка, посещается животными более 16-17 часов, а зона кормления – менее 7-8 часов, то есть в 2 раза меньше. Зоны отдыха племенного скота мясного направления продуктивности должны отвечать требованиям экологичного содержания и иметь структурированное долговременное покрытие. При правильной технологии экологичного содержания при откорме племенной скот быстро набирает среднесдаточный вес, уклоняется в тип породы, депонирует деликатесное мраморное мясо, а не превращает дорогостоящие корма в брюшной жир. Животные, находящиеся в несоответствующих условиях содержания, никогда не смогут реализовать свой генетический потенциал в полном объеме.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Багиров В.А. Кленовицкий П.М., Иолчиев Б.С., Зиновьева Н.А., Шайдуллин И.Н., Жилинский М.А., Амиршоев Ф.С. Проблемы сохранения и рационального использования генофонда крупного рогатого скота // Проблемы и перспективы развития современной репродуктивной технологии, криобиологии и их роль в интенсификации животноводства: мат. межд. науч.-практ. конф. Дубровицы: ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2017. С. 256-263 URL:https://repository.rudn.ru/ru/recordsources/recordsource/8563/
2. Легошин Г.П., Шарафеева Т.Г. Бальная оценка упитанности мясного скота и ее применение в управлении стадом: практическое руководство. Дубровицы: ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2015. 48 с.
3. Черкесов Д.Л. Развитие мясного скотоводства в России. 2014. [Электронный ресурс] URL:http://www.agro-ferma.ru/dayatelnost/ferma-krs/ferma-krs-stati/razvitie-myasnog o-skotovodstva-v-rossii/ (дата обращения 10.01.2023).
4. Майорова Т.А. Взаимосвязь стрессоустойчивости и показателей резистентности крупного рогатого скота. В сб. Современные проблемы ветеринарной практики в АПК: материалы II Всероссийской науч.-практ. интернет-конф. практикующих специалистов. Ставрополь: АГРУС, 2016. С. 127-129.
5. Гизатуллин Р.С., Седых Т.А. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства говядины в мясном скотоводстве: монография. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016. 119 с.
6. Ферма-репродуктор на 1200 голов КРС (Ангус), холодный метод выращивания [Электронный ресурс] URL: https://fermer.ru/ forum/obshchie-voprosy-po-krs/157794 (дата обращения 10.01.2023).
7. Plan S-104: Porous Windbreak Fencing. Saskatchewan Agriculture and Food, 1993. Vol 3. P. 1-2
8. Специалистов «Мираторга» обучают технологиям бесстрессового откорма скота. 2014. [Электронный ресурс ГородБрянск] URL: https://gorodbryansk.info/2014/03/miratorg-57/ (дата обращения 16.01.2023).
9. Инновации в технологическом проектировании ферм. Схемы курганов для содержания мясного скота [Электронный ресурс] https://ozlib.com/958062/agro/ekspli katsiya_ plan irovochnye_resheniya_reproduktoryyh_myasnyh_ferm_raznogo _razmera. (дата обращения 16.01.2023).
10. Багиров В.А., Чернуха И.М., Тышко Н.В., Зиновьева Н.А. Поддержание генетического разнообразия животных – основа обеспечения нутриентного разнообразия // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № S2. С. 225.
11. Harner J.P., Murphy J.P. et al. Planning and designing cattle feedlots. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. MF-2316 rev. 2021. 12 p. (In Eng.) URL: https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF2316.pdf
12. Влияние стресса на здоровье и продуктивность молодняка (перевод с порт.) Информационно-аналитическое агентство Milknews. 2021. [Электронный ресурс]: URL: https://milknews.ru/longridy/Vlijanie-stressa-na-zdorove-i-produtivnost-molodnj aka.html/ (дата обращения 16.01.2023)

13. Sedykh T.A., Gladyr E.A., Gizatullin R.S., Gusev I.V., Dolmatova I.Yu, Kalashnikova L.A. GH and DGAT1 gene polymorphism effect on beef production traits of Hereford and Limousine bull calves // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. (1). p. 1425-1435. (In Eng.) https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27814064
14. Sweeten, J., Lubinus, L., Durland, R., & and Bruce, B. Feedlot Mounds. Beef Cattle Handbook: BCH-10525. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames IA. 2020. P. 25-31.
15. Эколого-технологический стресс у КРС: как определить и как бороться. АгроМедиаХолдинг Светич. 2014 [Электронный ресурс]. URL: http://svetich.info/publikacii/molochnye-reki-zauralja/yekologo-tehnologicheskii-stress-u-krupn-2882.html. (дата обращения 16.01.2023).
16. Сельское хозяйство и балансы производственных ресурсов Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: http://www.gk s.ru/wps/cm /co nnect /rosstat main/rosstat/ru/statistics/databases/ (дата обращения 10.01.2023)
17. Sedykh T.A., Kalashnikova L.A., Gusev I.V., Pavlova I.Yu., Gizatullin R.S., Dolmatova I.Yu. Influence of TG5 and LEP gene polymorphism on quantitative and qualitative meat composition in beef calves // Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2016. Vol. 30 (2). P. 41-48. https://doi.org/10.33899/ijvs.2016.121382
18. Sedykh T.A., Gladyr E.A., Harzinova V.R., Kalashnikova L.A., Gizatullin R.S. Effect of gene polymorphism of GH and DGAT1 on feeding quality steers // Russian Agricultural Sciences. 2017. Vol. 43(1). P. 48-52. (In Eng.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29854301
19. Фермы: предприятия для КРС [Электронный ресурс] URL: https://studr ef.com/ 372793/agr op romyshlennost ferm yk o mpleksk rupnogo_rogatogo_skota (дата обращения 16.01.2023).
20. Технологии разведения: технологические аспекты мясного скотоводства. Агровестник. 2019. [Электронный ресурс] URL: https://agrovesti.net/lib/tech/cattle-tech/spravochnik-po-myasnomu-skotovodstvu.html (дата обращения 16.01.2023).
21. Сидорова В.Ю. Цифровизация откорма крупного рогатого скота, как технологии будущего. Chisinau-2068: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2021.163 с.
22. Dotsev A.V., Sermyagin A.A., Gladyr E.A., Deniskova T.E., Wimmers K., Reyer H., Brem G.G., Zinoveva N.A. Population structure and genetic diversity of Russian native cattle breeds // Journal of Animal Science. 2017. Vol. 95. Suppl. 4. P. 80 (163).
23. Справочник по мясному скотоводству. Агровестник. 2019. [Электронный ресурс] URL: https://agrovesti.net/lib/tech/cattle-tech/spravochnik-po-myasnomu-skotovodstvu.html. (дата обращения 16.01.2023).
24. Ковальчикова М. Адаптация и стресс при содержании и разведении сельскохозяйственных животных /Пер. со словацкого Г.Н. Мирошниченко ; Под ред. с предисл. к.б.н. Е.Н. Панова. Москва: Колос. 1978. 271 с.
25. Reducing weaning stress [Электронный ресурс]. URL: http://www.cattlenetwork.com/advice-and-tips/cowcalf/reducing-stress-weaning (дата обращения 16.01.2023). (In Eng.)

REFERENCES

1. Bagirov V.A., Klenovitsky P.M., Iolchiev B.S., Zinoviev N.A., Shaidullin I.N., Zhilinsky M.A., Amirshoev F.S. Problems of conservation and rational use of the cattle gene pool // Problems and perspectives for development of modern cryobiological reproductive technology and its role in intensification of animal production. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. Dubrovitsy: L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry. 2017: 256-263. (In Russ.) URL:https://repository.rudn.ru/ru/recordsources/recordsource/8563/

2. Legoshin G.P., Sharafieva T.G. Beef cattle fatness score and its application in herd management: a practical guide. Dubrovitsy: L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 2015. 48 p. (In Russ.)

3. Cherkesov D.L. Progress in beef cattle breeding in Russia. 2014. [on-line] URL: http://www.agro-ferma.ru/dayatelnost/ferma-krs/ferma-krs-stati/razvitie-myasnog o-skotovodstva-v-rossii/ (accessed 10.01.2023). (In Russ.)

4. Mayorova T.A. The cattle resistance relationship at stress and its indicators. In: Modern problems of veterinary practice in agriculture: Proc. II All-Russian Sci. Prac. On-line Conf. practitioners. Stavropol: AGRUS, 2016:127-129 (In Russ.)

5. Gizatullin R.S., Sedykh T.A. Adaptive resource-saving technology of beef production in beef cattle breeding: monograph. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016. 119 p. (In Russ.)

6. Reproduction farm for 1200 cattle head (Angus), cold method of growing [on-line] URL: https://fermer.ru/forum/obshchie-voprosy-po-krs/157794 (accessed 01.10.2023) (In Russ.)

7 Plan S-104: Porous Windbreak Fencing. Saskatchewan Agriculture and Food, 1993; 3:1-2 (In Eng.)

8. “Miratorg” specialists are trained in stress-free cattle fattening technologies. 2014. [Electronic resource CityBryansk] URL: https://gorodbryansk.info/2014/03/miratorg-57/ (accessed 16.01.2023) (In Russ.)

9 Innovations in technological design of farms. Mound layouts for beef cattle housing [on-line] URL:https://ozlib.com/958062/agro/ek splikatsiya_ plan irovochnye_resheniya_reproduktoryyh_myasnyh_ferm_raznogo _raz mera. (accessed16.01.2023) (In Russ.)

10. Bagirov V.A., Chernukha I.M., Tyshko N.V., Zinovieva N.A. Maintaining animal genetic diversity is the basis for ensuring nutrient biodiversity. Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition. 2016; 85 (S2): 225 (In Russ.)

11. Harner J.P., Murphy J.P. et al. Planning and designing cattle feedlots. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. MF-2316 rev. 2021. 12 p. (In Eng.) URL: https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF2316.pdf (In Eng.)

12. Bonato M., Borges L. (P&D, ICC Brazil). How the stress can affect calf health and performance. Engormix. Dairy Cattle. 2018. URL: https://en.engormix.com/dairy-cattle/articles/ -t42056.htm (In Eng.)

13. Sedykh T.A., Gladyr E.A., Gizatullin R.S., Gusev I.V., Dolmatova I.Yu, Kalashnikova L.A. GH and DGAT1 gene polymorphism effect on beef production traits of Hereford and Limousine bull calves. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016; 8(1): 1425-1435. (In Eng.) https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27814064

14. Sweeten, J., Lubinus, L., Durland, R., & and Bruce, B. Feedlot Mounds. Beef Cattle Handbook: BCH-10525. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames IA. 2020. P. 25-31. (In Eng.)
15. Environmental and technological stress in cattle: how to detect and how to deal with it. AgroMediaHolding Svetich. 2014 [on-line]. URL: http://svetich.info/publikacii/molochnye-reki-zauralja/yekologo-tehnologicheskii-stress-u-krupn-2882.html. (accessed 16.01.2023). (In Russ.).
16. Agriculture and balances of production resources Federal State Statistics Service. [on-line]. URL: http://www.gk s.ru/wps/cm /co nnect /rosstat main/rosstat/ru/statistics/databases/ (accessed 10.01.2023) (In Russ.).
17. Sedykh T.A., Kalashnikova L.A., Gusev I.V., Pavlova I.Yu., Gizatullin R.S., Dolmatova I.Yu. Influence of TG5 and LEP gene polymorphism on quantitative and qualitative meat composition in beef calves. Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2016. Vol. 30 (2). P. 41-48. (In Eng.) https://doi.org/10.33899/ijvs.2016.121382
18. Sedykh T.A., Gladyr E.A., Harzinova V.R., Kalashnikova L.A., Gizatullin R.S. Effect of gene polymorphism of GH and DGAT1 on feeding quality steers. Russian Agricultural Sciences. 2017; 43(1): 48-52. (In Eng.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29854301
19. Farms: enterprises for cattle [on-line] URL: https://studr ef.com/ 372793/agr op romyshlennost ferm yk o mpleksk rupnogo_rogatogo_skota (accessed 16.01.2023). (In Russ.).
20. Breeding technologies: technological aspects of beef cattle breeding. Agrovestnik. 2019. [on-line] URL: https://agrovesti.net/lib/tech/cattle-tech/spravochnik-po-myasnomu-skotovodstvu.html (accessed 16.01.2023) (In Russ.)
21. Sidorova V.Yu. Digitalization of cattle fattening as technologies of the future. Chisinau-2068: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2021. 163 p. (In Russ.)
22. Dotsev A.V., Sermyagin A.A., Gladyr E.A., Deniskova T.E., Wimmers K., Reyer H., Brem G.G., Zinoveva N.A. Population structure and genetic diversity of Russian native cattle breeds. Journal of Animal Science. 2017; 95. Suppl. 4: 80 (163). (In Eng.).
23. Reference book on beef cattle breeding. Agrowestnik. 2019. [on-line] URL: https://agrovesti.net/lib/tech/cattle-tech/spravochnik-po-myasnomu-skotovodstvu.html. (accessed 16.01.2023) (In Russ.)
24. Kovalchikova M. Adaptation and stress in the maintenance and breeding of farm animals/Trans. from the Slovak G.N. Miroshnichenko; Ed. and preface by Cand. Sci. (Biology) E.N. Panov. Moscow: Kolos. 1978. 271 p. (In Russ.).
25. Reducing weaning stress [on-line]. URL: http://www.cattlenetwork.com/advice-and-tips/cowcalf/reducing-stress-weaning (accessed 16.01.2023). (In Eng.)

Об авторе

Виктория Юрьевна Сидорова, доктор сельскохозяйственных наук; главный научный сотрудник, Агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия.

gdi20071@yandex.ru

http://orcid.org/0000-0001-9056-8326

About the author

Victoria Yu. Sidorova, DSc (Agriculture), Chief Researcher, Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia,

gdi20071@yandex.ru

http://orcid.org/0000-0001-9056-8326

Заявленный вклад автора

Автор выполнил все функции проекта.

Author'contribution

Single author article - the author fulfilled all the functions in the project

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper

Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи к публикации

The author has read and agreed to the published version of the manuscript.

Статья поступила в редакцию: 26.05.2023

Одобрена после рецензирования:19.06.2023

Принята к публикации: 30.06.2023

Received: 26.05.2023

Approved after reviewing: 19.06.2023

Accepted for publication: 30.06.2023

АГРОЭКОИНЖЕНЕРИЯ
AGROECOENGINEERING

Научный журнал
Scientific journal

№ 2(115). 2023

Подписано в печать 23.06.2023
Формат 84×108 $^{1}/_{16}$.
Объем 18,06 усл.печ.л.
Тираж 300 экз.
Отпечатано в ИАЭП-филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,
Санкт-Петербург-Пушкин