

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ 1. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ.....4

**Федоренко В.Ф.** Разработка технических систем внутрпочвенной обработки интегрированных в природный ресурсооборот многолетних насаждений и кормовых угодий.....4

**Войтюк В.А., Кондратьева О.В., Слинко О.В., Чутчева Ю.В.** Пути повышения конкурентоспособности аграрных предприятий в эпоху импортозамещения.....17

**Москвичев Д.А., Хакимов Р.Т.** Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта.....29

**Казиев Ш.М., Акбаева Ф.А., Картошкин А.П.** Анализ и оценка состояния ремонтно-технологической базы тракторов в Карачаево-Черкесской Республике.....37

**Ракутько Е.Н.** Обеспечение энергоэкологичности светокультуры рассады томата путем оптимизации спектрального состава излучения.....47

**Старцев С.В.** Повышение устойчивости капусты брокколи к сосудистому бактериозу при выращивании органической продукции .....61

**Чухина О.В., Демидова А.И., Малков Н.Г., Перекопский А.Н., Уварова Д.Г., Чистякова В.А.** Особенности технологии возделывания кукурузы на силос на Европейском Севере РФ.....72

**Мурзаев Е.А., Шаблыкин И.Н.** Научные принципы разработки интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами в органическом производстве .....86

### РАЗДЕЛ 2. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ.....101

**Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Папушин Э.А.** Энергетический анализ технологии сушки навоза и помета.....101

**Плаксин И.Е., Трифанов А.В.** Теоретические предпосылки к разработке системы управления процессом откорма свиней.....112

**Второй С. В., Миронова Т. Ю., Гордеева Т. И., Матейчик С. Н.** Расчет уровня выбросов климатически активных газов при производстве молока.....131

### РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВНУТРИПОЧВЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ В ПРИРОДНЫЙ РЕСУРСООБОРОТ МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ И КОРМОВЫХ УГОДИЙ

Вячеслав Филиппович Федоренко  
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
f@maro.pro; vim@vim.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6395-4463>

**Аннотация.** Общероссийский классификатор основных фондов в структуре земельных ресурсов выделяет многолетние насаждения и кормовые угодья, которые относят к сельскохозяйственным угодьям. По данным Минсельхоза России они занимают около 38% из 193470 тыс. га сельскохозяйственных угодий страны. Из них порядка 2 млн га занимают многолетние насаждения, которые обеспечивают производство чрезвычайно значимой и важной для обеспечения продовольственной безопасности плодово-ягодной, эфиромасличной и прочей пищевой продукции и более 70 млн га занимают кормовые угодья, являющиеся основной кормовой базой для животноводства страны. Кроме того, эти насаждения и угодья формируют благоприятную социально-биологическую и природно-экологическую жизненно необходимую и важную экосистему на территориях страны. Физиология, жизнедеятельность и вегетация этих растений имеют существенные особенности, которые необходимо учитывать при разработке и применении агротехнологий и технических систем ухода за ними посредством формирования оптимальных условий для продукционных процессов и естественного многолетнего ресурсооборота. Однако, вследствие роста количества и интенсивности антропогенных факторов обостряется ситуация с сохранением полевого биоразнообразия, усиливаются негативные экологические и климатические нагрузки на биосферу и особенно на сельскохозяйственные земли. Анализ результатов исследований в этой сфере и оценка производственного опыта свидетельствуют, что основными, наиболее распространенными агротехническими приемами и техническими системами регулирования режимов интенсивности биологических процессов и фитосанитарного состояния многолетних насаждений и кормовых угодий остаются технологии, машины и орудия, которые осуществляют избыточное механическое воздействие на почву путем: резания, крошения, обрачивания слоев, уплотнения и прочих операций. Вследствие этого формируются негативные факторы: нарушается динамическое равновесие в системе «почва – растение – окружающая среда», ускоряются процессы минерализации и непродукционные потери гумуса, происходит разрушение дернины и корнеобитаемых слоев почвы, активизируются процессы эрозии и деградации сельскохозяйственных угодий. В этой связи в настоящее время особенно актуальны и востребованы технические системы внутрипочвенной обработки многолетних насаждений и кормовых угодий, которые интегрированы в природный ресурсооборот и базируются на современных представлениях о физиологии растений, их симбиоза с почвенными микроорганизмами, которые формируют и обеспечивают продукционные процессы в растениеводстве. Необходимость и целесообразность разработки и реализации таких

процессов основывается на инновационных принципах внутрипочвенной обработки импульсами сжатого воздуха посредством пневмогидробуров погружаемых на заданную глубину в корнеобитаемые слои почвы без их разрушения с регулированием в режиме реального времени в зависимости от величины пенетрации почвы, частоты и давления обеспечивающих оптимальное рыхление, формирование микропустот, каналов, полостей с одновременной аэрацией и последующей подачей с регулированием давления воды, растворов агрохимикатов.

**Ключевые слова:** внутрипочвенная обработка, многолетние насаждения, кормовые угодья, технические системы, пневмогидробур, сжатый воздух, корнеобитаемые слои, симбиоз.

**Для цитирования:** Федоренко В.Ф. Разработка технических систем внутрипочвенной обработки интегрированных в природный ресурсооборот многолетних насаждений и кормовых угодий // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 4-17 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-4-17>

Research article

Universal Decimal Code 631.31

## DEVELOPMENT OF TECHNICAL SYSTEMS OF IN-SOIL TREATMENT OF PERENNIAL PLANTATIONS AND FORAGE LANDS INTEGRATED INTO THE NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Viacheslav F. Fedorenko

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

[f@maro.pro](mailto:f@maro.pro); [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6395-4463>

**Abstract.** In the structure of land resources the All-Russian Classifier of Fixed Assets distinguishes perennial plantations and fodder lands. They are classified as agricultural land. According to the Russian Ministry of Agriculture, they occupy about 38% of the country's 193470 thousand hectares of agricultural land. Of these, perennial plantations cover about 2 million hectares and produce fruits, berries, essential-oil and other food crops of great importance for food security. The forage areas cover more than 70 million hectares and are the most important source of feed for the livestock sector in the country. In addition, these plantations and areas form a favourable socio-biological and natural-ecological ecosystem that is vital and important in the country's territories. The physiology, vital activity and vegetation of these plants have essential characteristics. These should be taken into account in the development and application of agricultural technologies and technical systems for their care, through the creation of optimal conditions for productive processes and the natural turnover of perennial resources. However, the increasing number and intensity of anthropogenic factors are making the situation for the conservation of field biodiversity more difficult. Negative environmental and climatic pressures on the biosphere, and on agricultural land in particular, are increasing. The study analysed the research results in this area and estimated the relevant production experience. The study revealed that the main, most widespread agrotechnical methods and technical systems of regulation of regimes of intensity of biological processes and phytosanitary condition of perennial plantations and fodder lands are technologies, machines and

tools that have an excessive mechanical impact on the soil by cutting, crumbling, overturning soil layers, compacting and other operations. This impact disturbs the dynamic balance in “soil-plant-environment” system, accelerates mineralization processes and unproductive losses of humus, destroys turf and root-bearing soil layers, and activates erosion and degradation of agricultural lands. In this context, technical systems for the in-soil treatment of perennial plantations and forage areas, which are integrated into the natural resource cycle and based on modern concepts of plant physiology, their symbiosis with soil microorganisms, which form and provide productive processes in crop production, are particularly relevant and in demand today. The necessity and expediency of development and implementation of such processes is based on innovative principles of in-soil treatment with pulses of compressed air. Pneumatic hydro-drills immersed at a given depth into the root-inhabited soil layers without destroying them do this. The equipment is controlled in real-time depending on the value of soil penetration, frequency and pressure providing optimal loosening, formation of micro-voids, channels, cavities with simultaneous aeration and subsequent supply of water and soluble agricultural chemicals under controlled pressure.

**Key words:** in-soil treatment, perennial plantations, forage lands, technical systems, pneumatic hydro-drill, compressed air, root-inhabited layers, symbiosis

**For citation:** Fedorenko V.F. Development of technical systems of in-soil treatment of perennial plantations and forage lands integrated into the natural resource management. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 4-17 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-4-17>

**Введение.** Общероссийским классификатором основных фондов многолетние насаждения в зависимости от назначения растений подразделяются на [1]:

- молодые и выросшие плодовые, ягодные и виноградные культуры;
- декоративно-озеленительные насаждения, лесозащитные и лесные полосы;
- насаждения ботанических садов, научных и учебных учреждений;
- ореховые сады, посадки масличных, пряных, лекарственных культур, кофе, чай, какао и другие многолетние культуры.

По существу физиологических и вегетационных особенностей, технологических аспектов и процессов обработки многолетних насаждений схожи кормовые угодья включающие: многолетние травы, пастбища, сенокосы и пр.

Минсельхоз России обе эти категории относит к сельскохозяйственным угодьям, общая площадь которых в стране составляет 193470 тыс. га, из которых многолетние насаждения и кормовые угодья занимают около 38% (рис. 1) [2].



Рис. 1. Состав и структура сельскохозяйственных угодий в хозяйствах всех категорий

Fig. 1. Composition and structure of agricultural land in farms of all categories

Анализ свидетельствует, что в настоящее время состояние большинства почвенных ресурсов, занятых многолетними насаждениями и кормовыми угодиями оценивается как посредственное и прогнозируется дальнейшее ухудшение ситуации [3, 4]. Такое положение во многом обусловлено тем, что при обработке почвы и выполнении работ по уходу за многолетними насаждениями и кормовыми угодиями применяются традиционные агротехнические приемы и орудия с механическими рабочими органами: плуги, культиваторы, бороны, фрезы и пр. [5, 6]. Они чрезвычайно агрессивно воздействуют на корнеобитаемые слои многолетних насаждений и кормовых угодий, разрушают их, повреждают корневую систему растений [7, 8].

Они базируются на энергозатратных принципах срезания, крошения и обороте пластов земли, и не учитывают состав и разнородность слоев почвы, каждый из которых населен огромным количеством различных микроорганизмов, грибов, бактерий и пр. [9, 10]. При обороте пласта аэробные агроценозы адаптированные к жизни в верхних слоях почвы, оказываются внизу и в большинстве гибнут, а анаэробные – существующие в глубине пласта, попадают наверх и тоже гибнут. Принципиально важно отметить, что упомянутые агроценозы своей жизнедеятельностью обеспечивают формирование плодородия почвы, накопление в ней гумуса [11].

Ежегодное поверхностное рыхление почвы нарушает динамическое равновесие экологической системы «почва – растение – атмосфера», усиливает аэрацию и активизирует процессы разложения гумуса, разрушает структуру и увеличивает непроизводительные потери плодородия почв. Например, непроизводительные потери органического углерода при формировании урожая достигают 50% [12].

Особенно значимо в этом процессе негативное влияние фотохимического воздействия световой энергии солнца на изменения агрохимических показателей корнеобитаемых слоев почвы многолетних насаждений и кормовых угодий [13].

Вследствие этого при возделывании многолетних насаждений и кормовых угодий особенно остро стоит вопрос перехода к инновационным разработкам эффективных технологических принципов и технических систем природопользования, нивелирующих растущие вызовы экологической и энергетической безопасности, ориентированные на постулат Б. Коммонера «природа знает лучше» чрезвычайно актуален и жизненно необходим [14, 15, 16].

**Цель исследования.** Обоснование принципов и разработка технических систем внутрпочвенной обработки интегрированных в природный ресурсооборот многолетних насаждений и кормовых угодий импульсами сжатого воздуха по средствам пневмогидробуров, погружаемых на заданную глубину с регулированием в режиме реального времени в зависимости от величины пенетрации почвы частоты, давления импульсов сжатого воздуха, обеспечивающих оптимальное рыхление, аэрацию почвы и последующей подачей с регулированием давления воды, растворов удобрений, пестицидов, гидрогеля в корнеобитаемые слои почвы.

**Материалы и методы исследования.** Выполнена оценка результатов предшествующих исследований физиологических, агротехнических, экологических, экономических особенностей возделывания многолетних насаждений и культур кормовых

угодий с учетом сформировавшихся исторических, агроклиматических, агротехнологических факторов.

Обобщены информационные, статистические и экспериментальные сведения, результаты собственных лабораторных и полевых исследований на основании которых разработаны, защищены патентами природоподобные технологические системы внутрипочвенной обработки, рыхления, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы с применением гидрогеля.

С помощью мобильной лаборатории проведена оценка эффективности внутрипочвенной подачи импульсов сжатого воздуха в корнеобитаемые слои почвы с последующим внесением водно-воздушных смесей и водных растворов удобрений, гидрогеля через универсальные пневмогидробуры в ряде регионов в плодово-ягодных садах и эфиромасличных культур [17, 18, 19].

**Результаты и обсуждение.** Новый этап трансформации технологии обработки рассматриваемых сельскохозяйственных угодий связан с переходом от экстенсивных технологий обработки механическими орудиями и управления природными ресурсами, жестко ориентированным только на сиюминутную экономическую целесообразность к развитию нетрадиционных природоохранных, природоподобных, «зеленых» технологий и технических систем. Произошел закономерный разворот от стратегии развития, основанной на принципе максимума производства энтропии (Г. Циглер) к стратегии минимума производства энтропии (И. Пригожин), в основе которого лежит рационализация использования человеческой популяцией доступных природных ресурсов. Такое земледелие характеризуется более экономичным способом обработки почвы, частичным или полным отказом от отвальной вспашки, отсутствием вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальным нарушением почвенного покрова сельскохозяйственными машинами и обязательным мульчированием почвы с целью, сохранения почвенной влаги и уменьшения эрозии почвы [20, 21, 22].

Разработанные технологические процессы и технические системы, базируются на принципиально отличных от подходов земледельческой механики физических принципах, физиологических представлениях о продукционных процессах в растениеводстве (симбиоза микроорганизмов почвы с растениями) и направлены на обеспечение оптимальных условий сохранения и развития агробиоценозов, сформировавшихся при возделывании сельскохозяйственных культур в корнеобитаемых слоях почвы без их оборота и разрушения.

Кроме того, внутрипочвенное внесение средств защиты радикально решает проблему сохранения популяции пчел и других опылителей растений.

К сожалению, до настоящего времени задачи гармоничного взаимодействия между техническими системами, возделываемыми культурами и почвой, особенно процессами жизнедеятельности почвенных бактерий, микроорганизмов, мезофауны, их симбиоза с растениями до настоящего времени не ставились. Пути оптимального решения не обосновывались и технические средства не разрабатывались. Данную ситуацию наиболее точно характеризует постулат классика экологии Б. Коммонера: «Современная техника отличается тем, что она решает проблемы до того, как становятся ясны пути их решения» [14].

Обширная практика показывает, что при возделывании многолетних насаждений и кормовых угодий эти негативы нивелируют корни растений, которые в процессе жизнедеятельности формируют органический каркас почвенной структуры, он обеспечивает

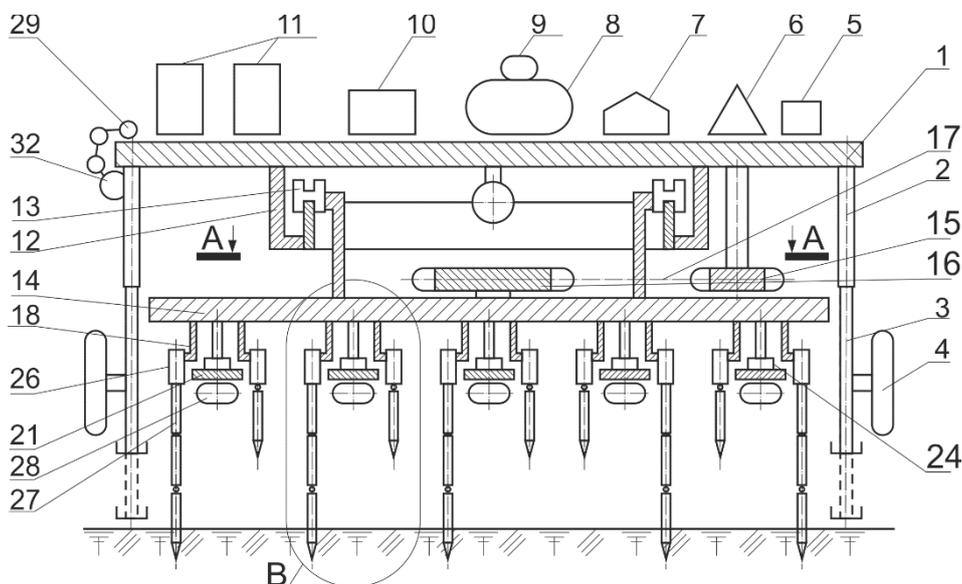
биоту почвы органическим питанием и формирует гумусовый компонент сельскохозяйственных земель [12, 15].

Наличие растительности значительно снижает, а зачастую предотвращает процессы развития эрозии, поскольку корневая система растений скрепляет частицы почвы. Вследствие этого даже проливные дожди или сильные ветра не способны создать поверхностный смыв или снос частиц почвы [23].

В природной экосистеме корни предшествующих растений, представители мезофауны (почвенные животные и насекомые, дождевые черви и др.) образуют микропустоты, полости, которые способствуют сохранению естественной структуры, плотности, увеличению пористости и аэрации, развитию процессов инфильтрации, способности аккумулировать и удерживать внутрипочвенную воду, почвенных биоценозов, роста содержания почвенного углерода, минимизации применения минеральных удобрений и практическое полное предотвращение почвенной эрозии [9, 19, 24].

На основании анализа информации, моделирования природных процессов жизнедеятельности почвенной мезофауны по аналогии и с учетом результатов экспериментальных исследований разработаны инновационный процесс техническая система внутрипочвенной раздельной подачи под давлением воздуха, воды или аэрозоля в виде смеси воздуха, растворов удобрений и гидрогеля [17, 18].

На основании результатов исследований разработана природоподобная техническая система внутрипочвенных обработки, рыхления, аэрации, подачи агрохимикатов многолетних насаждений и кормовых угодий содержит несущую раму 1 квадратной формы, оснащенную установленными по углам подъемными пневмоцилиндрами 2 с регулируемыми опорами 3 и колесами 4. На несущей раме 1 размещены источник электроэнергии 5 с электроприводом 6, компрессор 7, ресивер сжатого воздуха 8 с регулятором-стабилизатором давления 9, насос 10 и баки 11 с агрохимикатами (рис. 2).



1 – несущая рама; 2 – подъемный пневмоцилиндр, 3 – регулируемая опора; 4 – колесо; 5 – источник электроэнергии; 6 – электропривод; 7 – компрессор; 8 – ресивер сжатого воздуха; 9 – регулятор-стабилизатор давления; 10 – насос; 11 – бак агрохимикатов; 12 – направляющее кольцо; 13 – несущий каток; 14 – рабочая рама; 15 – ведущая поворотная звездочка; 16 – ведомая поворотная звездочка; 17 – приводная поворотная цепь; 18 – направляющая; 19 – выключатель; 20 – выключатель; 21 – рамный элемент; 22 – ведущая

тяговая звездочка; 23 – ведомая тяговая звездочка; 24 – приводная тяговая цепь; 25 – опорный каток; 26 – рабочий пневмоцилиндр; 27 – пневмогидробур; 28 – распределитель-стабилизатор; 29 – шланг сжатого воздуха; 30 – рабочий электропневмоклапан; 31 – дополнительный рабочий электропневмоклапан; 32 – подъемный электропневмоклапан  
 1 – bearing frame; 2 – lifting pneumatic cylinder, 3 – adjustable support; 4 – wheel; 5 – power source; 6 – electric drive; 7 – compressor; 8 – compressed air receiver; 9 – pressure stabilizer regulator; 10 – pump; 11 – agrochemical tank; 12 – guide ring; 13 – carrying roller; 14 – working frame; 15 – driving traction sprocket; 16 – driven traction sprocket; 17 – drive traction chain; 18 – guide; 19 – switch; 20 – switch; 21 – frame element; 22 – leading traction sprocket; 23 – slave traction sprocket; 24 – drive traction chain; 25 – support roller; 26 – working pneumatic cylinder; 27 – pneumatic hydraulic drill; 28 – distributor-stabilizer; 29 – compressed air hose; 30 – working electropneumatic valve; 31 – additional working electropneumatic valve; 32 – lifting electropneumatic valve.

Рис. 2. Фронтальный разрез технической системы внутрипочвенной обработки многолетних насаждений и кормовых угодий

Fig. 2. Frontal section of the technical system of in-soil treatment of perennial plantations and forage lands

Снизу на несущей раме 1 по центру закреплено направляющее кольцо 12 (рис. 3), на котором на несущих катках 13 установлена квадратная рабочая рама 14, вписанная в габариты несущей рамы 1. Рабочая рама 14 установлена с возможностью поворота относительно несущей рамы 1 в горизонтальной плоскости посредством размещенных на ней ведущей 15 и ведомой 16 поворотных звездочек, и соединяющей их приводной поворотной цепью 17. Рабочая рама 14 оснащена жестко присоединенными к ней снизу параллельно ориентированными направляющими 18 в виде двухмерной фигуры в форме прямоугольника с полуокружностями на торцах, одна из больших сторон которой является рабочей ветвью, а другая – холостой ветвью (рис. 4).

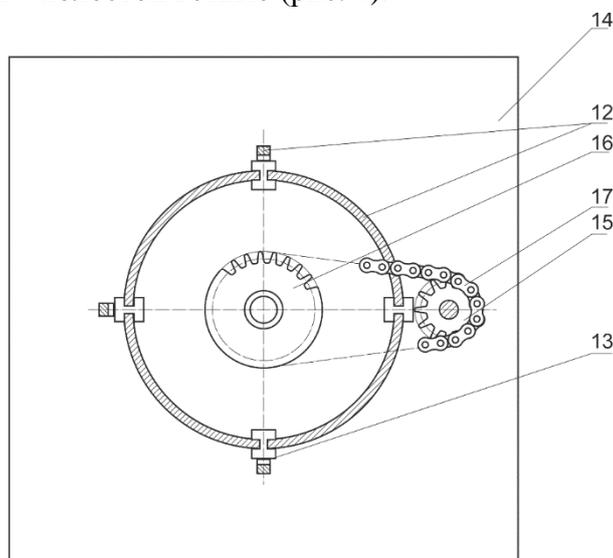


Рис. 3. Разрез А-А. Поворотный узел рабочей рамы относительно несущей рамы технической системы

Fig. 3. Section A-A. Pivoting assembly of the working frame relative to the supporting frame of the technical system

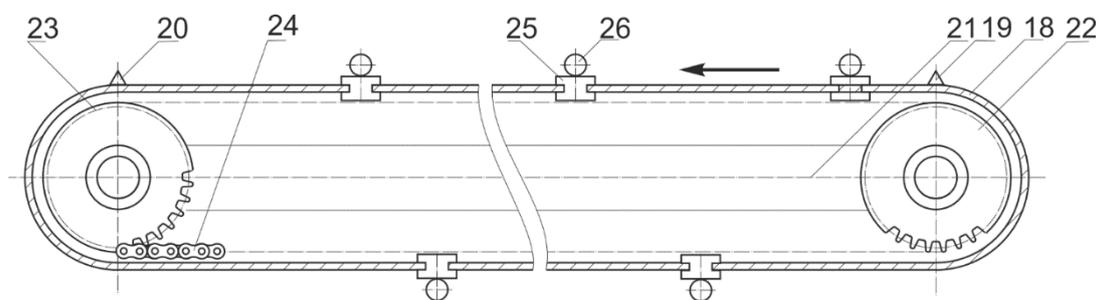


Рис. 4. Направляющая рабочего узла технической системы

Fig. 4. Guide of the working unit of the technical system

На каждой направляющей 18 на поперечных осях полуокружностей в начале рабочей ветви установлен выключатель 19 и на конце выключатель 20. В центре каждой направляющей 18 размещен рамный элемент 21, на котором смонтированы с возможностью вращения, связанные с электроприводом 6 ведущая 22 и ведомая 23 тяговые звездочки и соединяющая их приводная тяговая цепь 24. На каждой направляющей 18 установлены опорные катки 25 с вертикально прикрепленными рабочими пневмоцилиндрами 26 и присоединенным к ним снизу пневмогидробурами 27. Рабочие пневмоцилиндры 26 соединены между собой приводной тяговой цепью 24 с возможностью синхронного горизонтального перемещения на опорных катках 25. В центре каждого рамного элемента 21 снизу с возможностью вращения установлен распределитель-стабилизатор 28, который соединяет ресивер 8 сжатого воздуха шлангами 29 через рабочий электропневмоклапан 30 с каждым рабочим пневмоцилиндром 26, и через дополнительный рабочий электропневмоклапан 31 с пневмогидробуром 27, через подъемные электропневмоклапаны 32 с подъемными пневмоцилиндрами 2.

Природоподобный технологический процесс внутрипочвенных обработки, рыхления, аэрации, подачи агрохимикатов многолетних насаждений и кормовых угодий заключается в рыхлении почвы импульсами сжатого воздуха путем вертикального погружения в почву пневмогидробуров 27. Обработку, аэрацию и удобрение корнеобитаемых слоев почвы проводят внутрипочвенно. Осуществляют стабилизацию давления сжатого воздуха и растворов агрохимикатов. По ходу движения пневмогидробуры 27 извлекают из почвы. При включении подачи электроэнергии, подъемный электропневмоклапан 32 открывают и подают сжатый воздух по шлангам 29 в подъемные пневмоцилиндры 2, которые поднимают опоры 3 над поверхностью растений. Затем включают электропривод 6 и каждая ведущая тяговая звездочка 22 перемещает по направляющей 18 приводную тяговую цепь 24 и прикрепленные вертикально к ней с шагом не менее удвоенной ширины междурядий многолетних насаждений рабочие пневмоцилиндры 26 с присоединенным пневмогидробуром 27 на опорных катках 25. При этом каждый пневмогидробур 27, находящейся на рабочей ветви приводной тяговой цепи 24 каждой направляющей 18 погружен в почву, взаимодействует с ней и создает тяговое усилие, которое перемещает рабочую раму 14 и все устройство вдоль междурядий многолетних насаждений или кормовых угодий. Одновременно каждый рабочий пневмоцилиндр 26, находящийся на рабочей ветви направляющей 18, достигнув выключателя 19 открывают рабочий электропневмоклапан 30 и по шлангу 29 сжатый воздух подают в рабочий пневмоцилиндр 26, который погружает пневмогидробур 27 в почву. При достижении каждым

пневмогидробуром 27 нижнего рабочего положения рабочий электропневмоклапан 30 по шлангам через распределитель-стабилизатор подают импульсы сжатого воздуха, которые внутрипочвенно производят рыхление, аэрацию. Затем через каждый электропневмоклапан 34 агрохимикатов по соответствующим шлангам 29 подает агрохимикаты в корнеобитаемые слои почвы. При достижении каждым рабочим пневмоцилиндром 26 выключателя 20 рабочие электропневмоклапаны 30 прекращает подачу импульсов сжатого воздуха и агрохимикатов, в соответствующий пневмогидробур 27, каждый рабочий пневмоцилиндр 26 поднимают, извлекают из почвы пневмогидробур 27, перемещают его по холостой ветви направляющей 18 над поверхностью растений до выключателя 19. Достигнув края насаждений устройство останавливают, одновременно рабочие электропневмоклапаны 30 закрывают подачу сжатого воздуха и агрохимикатов в пневмогидробуры 27, находящиеся в рабочей ветви направляющих 18. Рабочие пневмоцилиндры 26 поднимают пневмогидробуры 27 над поверхностью растений. Подъемные электропневмоклапаны 32 несущей рамы открывают по шлангам 29 подачу сжатого воздуха в подъемные пневмоцилиндры 2, которые опускают опоры 3 на почву и поднимают несущую 1 и рабочую 14 рамы. Включают электропривод 6, ведущая поворотная звездочка 15 перемещает приводную поворотную цепь 17, через ведомую поворотную звездочку 16, поворачивает рабочую раму 14 по направляющему кольцу 12 на несущих катках 13, по крайней мере, на 90°, опускают ее в рабочее положение, перемещают устройство на ширину несущей рамы 1 и повторно поднимают несущую 1 и рабочую 14 рамы, разворачивают рабочую раму 14 в положение 1 параллельное первоначальному для обратного движения по полю, отключают электропривод 6 поворота рабочей рамы 14, включают подачу электроэнергии и рабочий процесс повторяют до следующей точки поворота.

Таким образом на основании анализа принципиальных представлений о физиологии и симбиозе многолетних насаждений и кормовых угодий, почвенных агроценозов, их отношений с окружающей средой с учетом результатов проведенных экспериментальных, лабораторных исследований в хозяйственных условиях, оценки тенденций развития антропогенных факторов биосферы земли, природных процессов жизнедеятельности почвенной мезофауны, и фундаментального принципа производства энтропии позволяют сделать следующие выводы.

## **Выводы.**

1. Разработанные инновационные агротехнологические процессы и технические системы обеспечивают комплексную высокоэффективную внутрипочвенную обработку, рыхление, аэрацию импульсами сжатого воздуха корнеобитаемых слоев почвы в многолетних насаждениях и кормовых угодий посредством вертикального погружения пневмогидробуров и последующей подачи в образовавшиеся почвенные поры, полости, микропустоты под давлением растворов удобрений, пестицидов, микробных биопрепаратов, гидрогеля.

В результате корнеобитаемые слои почвы не подвергаются механическому воздействию не разрушаются, а сохраняются. Создается эффективный тип устойчивого землепользования, обеспечивающий гармоничное соотношение между антропогенной нагрузкой и природным потенциалом почвы, формирования полноценного продукционного и экологического земледелия.

2. Создаются условия оптимального формирования процессов обмена веществ и энергии, водно-воздушно-теплового режима, бездефицитного баланса биофильных элементов, содержанию основных почвообразовательных и продукционных процессов, симбиоза растений с почвенными биотой, микроорганизмами и мезофауной, которые в полной мере обеспечивают комплексный, оптимально-эффективный, адаптивно-интегрированный естественно-природный ресурсооборот.

3. Установлено повышение роста интенсивности плодово-ягодных растений, виноградников, многолетних эфиромасличных культур возрастает в 2-2,5 раз. За счет инновационного физического принципа обработки почвы происходит сокращение совокупных удельных энергозатрат в 3-5 раза, прекращается формирование и развитие факторов и процессов деградации, эрозии сельскохозяйственных земель, наблюдается повышение продуктивности корнеобитаемых слоев, формирование естественно-природных процессов образования гумуса, сохранность биологических и экологических параметров почвы при высоком качестве, мобильности и ресурсоэнергоэффективности агротехнологических процессов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Общероссийский классификатор основных фондов (принят и введен в действие Приказом Росстандарта от 12.12.2014 № 2018-ст). [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/71153994/> (Дата обращения 08.08 2024 г.)

2. Агропромышленный комплекс России в 2022 году: сборник. М.: Росинформагротех. 2024. 562 с.

3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: Росинформагротех. 2023. 372 с.

4. Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного (земельного) покрова, тенденции изменения, деградация, методология учета, прогнозы. / Под ред. Р.С.Х. Эдельгериева, А.В. Гордеева, А.Л.Иванова. М.: Издательство МБА. 2022. 100 с.

5. Бараев А.И. и др. Почвозащитное земледелие. М.: Колос. 1995. 574 с.

6. Андрианов Б.В. Земледелие наших предков. М.: Наука. 1978. 167 с.

7. Гумилев Л. Этногенез и биосфера Земли. М.: ТанаисДи-Дик. 1994. 640 с.

8. Овсинский И.Е. Новая система земледелия / Перепечатка публикации 1899 г. (Киев, тип. С.В. Кульженко). Новосибирск: АГРО-СИБИРЬ. 2004. 86 с.

9. Бобровский М.В., Гин А. Земледелие в Европе. Хронология с картинками // ТРИЗ-профи: Эффективные решения в сельском хозяйстве. М.: Кушнир, 2006. 220 с.

10. Менделеев Д.И. С думою о благе российском: Избранные экономические произведения. Новосибирск: Наука. 1991. 231 с.

11. Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения: монография. М.; МАКСПресс, 2015. 196 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26175678>

12. Грошева О.А. Развитие теоретических идей и практических приемов почвозащитного земледелия: отечественный и зарубежный опыт // Успехи современного естествознания. 2021. №11. С. 13-18. <https://doi.org/10.17513/use.37706>

13. Новоселов С.И. Влияние фотохимического воздействия света на подвижность гумусовых веществ и свойств почвы // *Агрохимия*. 2021. №12. С. 37-41. <https://doi.org/10.31857/50002188121120097>
14. Коммонер Б. Замыкающийся круг. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 274 с.
15. Семиченко Е.В. Урожайность севооборотов в зависимости от приемов биологизации // *Аграрная наука*. 2021. №344(1). С. 121-124. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-121-124>
16. Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б., Ранта-Корхонен Т., Захаров А.М. Подходы к освоению органического земледелия/ *АгроЭкоИнженерия*. 2020. № 4 (105). С. 101-113. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>.
17. Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н., Давыдов А.А., Золотилов В.А., Золотилова О.М., Скипор Н.В. Результаты исследований подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур с использованием гидрогеля // *Техника и оборудование для села*. 2022. №11. С. 11-15. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-11-11-15>
18. Черногаев В.Г., Свирина В.А. Сравнительный анализ эффективности применения различных способов обработки почвы в системе ресурсосберегающих технологий земледелия // *Аграрная наука*. 2020. №11-12. С. 105-107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107>
19. Пуртова Л.Н., Щапова Л.Н., Полохин О.В. Влияние различных способов обработки почвы и норм внесения удобрений на гумусное состояние и микрофлору агрогенных почв Приморья // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2017. № 5. С. 23-27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32336108>
20. Циглер Г. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды. М.: Мир, 1966. 136 с.
21. Глендорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. М.: Мир, 1973. 280 с.
22. Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции/ *Техника и оборудование для села*. 2024. № 1 (319). С. 2-7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>.
23. Захаров А.М., Мурзаев Е.А., Комоедов А.Д., Иванов Д.Ю. Теоретические предпосылки к определению глубины залегания и величины уплотнённого слоя почвы / *АгроЭкоИнженерия*. 2023. № 4 (117). С. 14-32.
24. Захаров А. М., Мурзаев Е. А. Зависимость физических параметров почвенного состояния от способа междурядной обработки посадок органического картофеля // *Известия НВ АУК*. 2022. №1(65). С. 408-418. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-40.

## REFERENCES

1. All-Russian Classifier of Fixed Assets (adopted and put into effect by the Order of Rosstandart of 12.12.2014 No. 2018-st). [online] URL: <https://base.garant.ru/71153994/> (accessed 08.08 2024). (In Russ.)
2. Agroindustrial Complex of Russia in 2022: compendium. Moscow: Rosinformagroteh. 2024. 562 p. (In Russ.)
3. Report on the State and Use of Agricultural Land of the Russian Federation in 2022. Moscow: Rosinformagrotech. 2023. 372 p. (In Russ.)

4. Edelgeriev R.S.H., Gordeev A.V., Ivanov A.L. (eds.) Land Use of Russia in the Conditions of Global Climate Change and Unprecedented Socio-Economic Challenges: the State of Soil (Land) Cover, Change Trends, Degradation, Accounting Methodology, Forecasts. Moscow: IBA Publishing House. 2022. 100 p. (In Russ.)
5. Baraev A.I. et al. Soil-protective farming. Moscow: Kolos. 1995. 574 p. (In Russ.)
6. Andrianov B.V. Agriculture of our ancestors. Moscow: Nauka. 1978. 167 p. (In Russ.)
7. Gumilev L. Ethnogenesis and Biosphere of the Earth. Moscow: TanaisDee-Dick. 1994. 640 p. (In Russ.)
8. Ovsinsky I.E. New system of land husbandry / Reprint of the publication of 1899 (Kiev, S.V. Kulzhenko Printing House). Novosibirsk: AGRO-SIBERIA. 2004. 86 p. (In Russ.)
9. Bobrovsky M.V., Gin A. Farming in Europe. Chronology with Pictures. TRIZ- Profi: Effective Solutions in Agriculture. Moscow: Kushnir, 2006. 220 p. (In Russ.)
10. Mendeleev D.I. Thinking about the Good of Russia: Selected Economic Papers. Novosibirsk: Nauka, 1991. 231 p. (In Russ.)
11. Bogatyrev L.G. Basic concepts, laws and principles of modern soil science: monograph. Moscow: MAKSPress. 2015. 196 p. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26175678>
12. Grosheva O.A. Development of theoretical ideas and practical methods of soil-protective agriculture: domestic and foreign experience. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in current natural sciences. 2021;11:13-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/use.37706>
13. Novoselov S.I. Effect of photochemical exposure light on the mobility of humus substances and soil properties. Agrokimiya = Agricultural Chemistry. 2021;12:37-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/50002188121120097>
14. Commoner B. The Closing Circle: Nature, Man, and Technology. Random House Inc. 1971. 326 p. (In Eng.) (Russ. Ed: Kommoner B. The Closing Circle. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1974. 274 p.)
15. Seminchenko E.V. Crop rotation yield depending on from the receptions of biologization. Agrarnaya nauka = Agrarian Science. 2021;344(1):121-124. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-121-124>
16. Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B., Ranta-Korhonen T., Zakharov A.M. Approaches to the development of organic farming/ AgroEcoEngineering. 2020. № 4 (105). C. 101-113. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>
17. Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Aristov E.G., Krakhovetskiy N.N., Davydov A.A., Zolotilov V.A., Zolotilova O.M., Skipor N.V. Results of Studies of Subsoil Irrigation of Perennial Essential Oil Crops Using Hydrogel. Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area. 2022;11:11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-11-11-15>
18. Chernogaev V.G., Svirina V.A. Comparative analysis of the efficiency of application of different methods of tillage in the system of resource-saving agriculture technologies. Agrarnaya nauka = Agrarian Science 2020; 11-12:105-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107>
19. Purtova L.N., Shchapova L.N., Polokhin O.V. Influence of various methods of soil treatment and norm of fertilization on humus state and microflora of agricultural soils of the primorsky territory. Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki = Scientific Review. Biological Sciences. 2017;5:23-27. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32336108>
20. Ziegler H. Some extremum principles in irreversible thermodynamics, with application

to continuum mechanics. Progress in Solid Mechanics. 1963; 4:93-193 (In Eng.) (Russ. ed.: Tsigler G. Extreme principles of thermodynamics of irreversible processes and continuum mechanics. Moscow: Mir Publ. 1966. 136 p.)

21. Glendorf P., Prigozhin I. Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations. Moscow: Mir. 1973. 280 p. (In Russ.)

22. Fedorenko V.F., Brukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual bases for the development of organic production of agricultural products/Technics and equipment for rural areas. 2024. № 1 (319). С. 2-7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>.

23. Zakharov, A.M.; Murzaev, E.A.; Komoyedov, A.D.; Ivanov, D.Yu. Theoretical prerequisites for determining the depth of occurrence and the value of compacted soil layer / AgroEcoEngineering. 2023. № 4 (117). С. 14-32.

24. Zakharov A. M., Murzaev E. A. Dependence of physical parameters of soil state on the method of inter-row cultivation of organic potato plantings // Izvestiya NV AUK. 2022. №1(65). С. 408-418. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-40.

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<b>Федоренко Вячеслав Филиппович</b> академик РАН, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5 vim@vim.ru, f@maro.pro; ResearcherID: A-9022-2018, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6398-4463">https://orcid.org/0000-0001-6398-4463</a>	<b>Viacheslav F. Fedorenko</b> Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Engineering), chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5 vim@vim.ru, f@maro.pro; ResearcherID: A-9022-2018, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6398-4463">https://orcid.org/0000-0001-6398-4463</a>
<b>Заявленный вклад автора</b> Автор выполнил все функции проекта	<b>Author's contribution</b> Single author article - the author fulfilled all the functions in the project
<b>Конфликт интересов</b> Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и несет ответственность за плагиат	<b>Conflict of interests</b> The author declares no conflict of interests and bears responsibility for plagiarism
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The author has read and agreed to the published version of the manuscript.
<b>Статья поступила в редакцию: 25.11.2024</b>	<b>Received: 25.11.2024</b>
<b>Одобрена после рецензирования: 09.12.2024</b>	<b>Approved after reviewing: 09.12.2024</b>
<b>Принята к публикации: 10.12.2024</b>	<b>Accepted for publication: 10.12.2024</b>

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АГРАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭПОХУ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Вячеслав Александрович Войтюк<sup>1</sup>, Ольга Вячеславовна Кондратьева<sup>2</sup>, Олеся Викторовна Слинко<sup>3</sup>, Юлия Васильевна Чутчева<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (ФГБНУ «Росинформагротех»), р.п. Правдинский, Московская область, Россия.

<sup>4</sup> Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>1</sup> [bovver71@mail.ru](mailto:bovver71@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9136-3795>

<sup>2</sup> [inform-iko@mail.ru](mailto:inform-iko@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1140-1024>

<sup>3</sup> [inform-iko@mail.ru](mailto:inform-iko@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1401-7327>

<sup>4</sup> [yuv.chutcheva@yandex.ru](mailto:yuv.chutcheva@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7450-5664>

**Аннотация.** В условиях экономической нестабильности и санкционного давления повышение конкурентоспособности аграрных предприятий становится ключевой задачей российской экономики. Импортозамещение направлено на снижение зависимости от импортных товаров и стимулирование развития местного (регионального) производства, что является важным фактором, учитывая потенциал роста российского сельского хозяйства. Эффективное управление ресурсами и внедрение инноваций становятся основными условиями для достижения устойчивого и конкурентоспособного аграрного производства. В эпоху импортозамещения развитие сельских территорий и их экологии, а также внедрение современных экологически чистых агрономических практик также напрямую связано с конкурентоспособностью аграрных предприятий. В статье рассматриваются современные вызовы и возможности, с которыми сталкиваются отечественные аграрные производители. Анализируются ключевые стратегии, способствующие улучшению конкурентных позиций, включая внедрение современных технологий, оптимизацию производственных процессов и развитие кооперации между производителями. Также представлены актуальные тренды и успешные практики аграрных предприятий, которые адаптируются к изменениям рыночной среды. Рассматривается воздействие государственной поддержки и программ на стимуляцию инноваций. В статье приводятся примеры успешного импортозамещения в различных сегментах агропроизводства, демонстрирующие рост производительности и конкурентоспособности.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, импортозамещение, устойчивое развитие, конкурентоспособность, кооперация, государственная поддержка.

**Для цитирования:** Войтюк В.А., Кондратьева О.В., Слинко О.В., Чутчева Ю.В. Пути повышения конкурентоспособности аграрных предприятий в эпоху импортозамещения // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4 (121). С.17-29 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-17-29>

## WAYS TO IMPROVE THE COMPETITIVENESS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES IN THE ERA OF IMPORT SUBSTITUTION

Vyacheslav A. Voytyuk<sup>1</sup>, Olga V. Kondratyeva<sup>2</sup>, Olesya V. Slinko<sup>3</sup>,  
Yuliya V. Chutcheva<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex – Rosinformagrotech, Industrial Township Pravdinsky, Moscow Region, Russia

<sup>4</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

<sup>1</sup> bover71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9136-3795>

<sup>2</sup> inform-iko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1140-1024>

<sup>3</sup> inform-iko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1401-7327>

<sup>4</sup> yuv.chutcheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7450-5664>

**Abstract.** In a context of economic instability and sanctions pressure, improving the competitiveness of agricultural enterprises is becoming a major concern for the Russian economy. Import substitution aims to reduce dependence on imported goods and stimulate the development of local (regional) production. This is an important factor given the growth potential of Russian agriculture. Effective resource management and innovation will be key to achieving sustainable and competitive agricultural production. In the import substitution era, the rural development and introduction of modern environmentally friendly agronomic practices have a direct bearing on the competitiveness of agricultural enterprises. The article examines the current challenges and opportunities the domestic agricultural producers face. It analyses the key strategies that contribute to improving competitive positions, including the introduction of modern technologies, optimization of production processes and development of cooperation between producers. It also presents current trends and successful practices of agricultural enterprises that are adapting to changes in the market environment. The effect of government support and programs on the stimulation of innovation is considered. The article provides examples of successful import substitution in various segments of agricultural production, demonstrating the growth of productivity and competitiveness.

**Keywords:** agriculture, import substitution, sustainable development, competitiveness, cooperation, government support.

**For citation:** Voytyuk V.A., Kondratyeva O.V., Slinko O.V., Chutcheva Y. V. Ways to improve the competitiveness of agricultural enterprises in the era of import substitution. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 17-29 (In Russ.)<https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-17-29>

**Введение.** В условиях экономической нестабильности и санкционного давления повышение конкурентоспособности аграрных предприятий становится более актуальным, чем когда-либо. Импортозамещение представляет собой одну из ключевых стратегических задач российской экономики. Его основная цель — снижение зависимости страны от

импортных товаров и стимулирование развития местного производства, что способствует укреплению экономической стабильности. Аграрно-промышленный комплекс (АПК) играет ключевую роль в этом процессе, так как российское сельское хозяйство обладает значительным потенциалом для роста и увеличения продуктивности [1]. Ключевыми факторами, побудившими Россию к внедрению политики импортозамещения в агропромышленном комплексе, являются геополитическая обстановка и экономические условия. В прошлом страна испытывала значительную зависимость от импортируемых продуктов питания, особенно в моменты введения санкций и мировых экономических кризисов. Такая ситуация имела отрицательные последствия для экономической безопасности и суверенитета России. В настоящее время важным компонентом для развития АПК России является обеспечение продовольственной независимости, основанной на стабильном и конкурентоспособном отечественном производстве аграрной продукции предприятиями АПК. Конкурентоспособность аграрного производства зависит от рационального использования необходимых ресурсов с учётом их структуры [2, 3]. Современное состояние аграрного производства в России отмечается различной степенью ресурсного обеспечения в процессе сельскохозяйственной деятельности. Наблюдается как наличие неиспользованных ресурсов (более 25 миллионов гектаров сельскохозяйственных земель), так и недостаточное использование имеющихся ресурсов (минеральные удобрения вносятся на 93% от необходимого уровня) [4]. Кроме того, важным аспектом является развитие сельских территорий и их экологии [5, 6]. Устойчивое развитие сельских районов предполагает не только внедрение инновационных технологий в агрономии, но и сохранение природного баланса. Необходимо уделять внимание улучшению инфраструктуры, созданию рабочих мест и повышению качества жизни на селе. Эффективное использование природных ресурсов, внедрение экосистемных подходов и поддержку программ по охране экологии способствуют формированию устойчивых аграрных предприятий, которые могут не только удовлетворять внутренние потребности населения, но и успешно конкурировать на международном рынке [7]. В этой ситуации актуальной задачей является повышение конкурентоспособности аграрных предприятий, формирование сбалансированной структуры производства, а также удовлетворение внутренних потребностей населения страны в условиях импортозамещения и устойчивого развития.

**Целью исследования** является выявление и анализ эффективных стратегий повышения конкурентоспособности аграрных предприятий в условиях политики импортозамещения.

Экономико-статистической базой исследования стали материалы, опубликованные в отечественной и зарубежной литературе, материалы научных исследований, инициированные авторами.

**Основная часть.** В большинстве развитых государств продовольственная безопасность воспринимается как ключевая компонента национальной безопасности. Устойчивость системы продовольственного обеспечения определяет не только уровень экономического благосостояния, но и политическую автономию страны, отражая её способность удовлетворять потребности граждан без негативного влияния на национальные интересы. Достижение продовольственной безопасности становится важным индикатором социально-экономической стабильности, обеспечивая защиту от внешних угроз и способствуя внутреннему развитию [8, 9].

В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации<sup>1</sup> подчеркивается, что стратегической целью обеспечения продовольственной безопасности является гарантирование населения страны безопасными, качественными и доступными сельскохозяйственными продуктами, сырьем и продовольственными товарами в объемах, соответствующих рациональным нормам потребления.

Эта цель предполагает не только удовлетворение базовых потребностей населения в пище, но и создание условий для развития отечественного производства, что, в свою очередь, способствует экономической стабильности и снижению зависимости от импортных поставок. Важным аспектом этой стратегии является развитие сельских территорий, поддержка местных фермеров и аграриев, а также внедрение современных технологий в сельское хозяйство, чтобы не только увеличить объемы производства и повысить качество продукции, но и сохранить природный баланс.

Несмотря на жесткое санкционное давление, Россия активно работает над укреплением своей продовольственной безопасности (таблица).

Таблица. Самообеспеченность основными продуктами питания населения России, %  
Table. Self-sufficiency of basic foodstuffs of the Russian population, %

Группа продуктов питания	Норма обеспеченности в соответствии с Доктриной	Годы						
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	Прирост за период 2017-2022
Зерно	95	170.6	147.2	155.6	167.6	150.7	185,5	8,73
Масло растительное	90	153.5	157.3	178.8	195.9	176.6	221,1	44,04
Сахар	90	115.1	108.0	126.8	99.9	100.0	103,2	- 11,52
Картофель	95	91.1	95.3	95.1	89.2	90.4	98,5	8,12
Молоко и молочные продукты	90	82.3	83.9	83.9	89.1	84.0	85,7	4,13
Мясо и мясные продукты	85	93.5	95.7	97.4	99.4	100.2	101,6	8,68

По состоянию на начало 2023 года, страна значительно превысила потребности населения в ключевых продуктах питания: уровень обеспечения зерном составил 185,5%, что свидетельствует о высоких объемах производства и наличии запасов, достаточных для удовлетворения внутреннего спроса. Растительное масло, которое имеет важное значение для рациона, обеспечено на уровне 221,1%, что говорит о налаженных производственных цепочках и успешной поддержке сельского хозяйства. Что касается рыбы, обеспеченность

<sup>1</sup> Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/73438425/> (дата обращения 11.10.2024)

достигла 153,2%, что подтверждает развитие отечественного рыбного промысла и устойчивость к внешним экономическим факторам. Сахар, являющийся одним из основных продуктов, также обеспечен на 103,2%, демонстрируя уверенное положение на внутреннем рынке. Объем мясной продукции составляет 101,6%, что в сравнении с 2017 годом (93,5%) указывает на положительную динамику роста в мясном скотоводстве и развитии перерабатывающей отрасли [10]. Тем не менее, молочные продукты остаются на уровне 85,7%, что указывает на возможность дальнейшего роста в этой области и необходимость повышения объемов производства. Вопросы обеспечения овощами и бахчевыми продуктами также требуют внимания, хотя на начало 2023 года уровень обеспечения составил более 80%. Это подчеркивает проработку стратегий по стимулированию овощеводства и поддержке фермерских хозяйств [11].

Однако, не смотря на позитивную динамику, проблемы в обеспечении людей продовольствием остаются. В настоящее время можно выделить 5 основных категорий.

*Зависимость от внешних ресурсов.* Одной из основных проблем является высокая зависимость от внешних ресурсов — сырья, технологий и финансирования. В условиях глобальной экономики страны, стремящиеся повысить свою конкурентоспособность, должны найти баланс между использованием импортных товаров и развитием внутреннего производства. Это требует значительных инвестиций в отечественные отрасли, которые могут занять много времени [12].

*Нехватка технологий и инноваций.* Самообеспеченность невозможна без внедрения современных технологий и инновационных решений. Многие страны сталкиваются с недостатком высококвалифицированных кадров, способных создавать и развивать новые технологии. Привлечение иностранных специалистов и разработка программ повышения квалификации для местного населения имеют ключевое значение для решения этой проблемы.

*Инфраструктурные ограничения.* Необходимая для повышения конкурентоспособности инфраструктура также часто оказывается в запущенном состоянии. Отсутствие качественных дорог, логистических решений и учебных заведений снижает уровень производительности и, как следствие, замедляет развитие конкурентоспособных отраслей. Инвестиции в инфраструктурные проекты становятся приоритетной задачей.

*Государственная политика и поддержка.* Недостаточная поддержка со стороны государства также является значительным препятствием на пути к повышению конкурентоспособности. Необходимы продуманные программы субсидирования, налоговые льготы и другие меры, которые помогут стимулировать как малый, так и крупный бизнес. Правительственная поддержка должна быть нацелена не только на краткосрочные результаты, но и на стратегическое развитие.

*Социальные и культурные аспекты.* Не менее важным является и социальный аспект. Повышение конкурентоспособности требует изменений в сознании общества, готовности к инновациям и адаптации к новым условиям. Образование, просвещение населения и создание культурной среды, способствующей предпринимательству, играют решающую роль в этой трансформации [13].

Для решения этих проблем необходимо провести комплексный анализ существующих факторов, выявить ключевые препятствия и разработать эффективные стратегии, которые позволят минимизировать риски и обеспечить устойчивое развитие (рисунок).

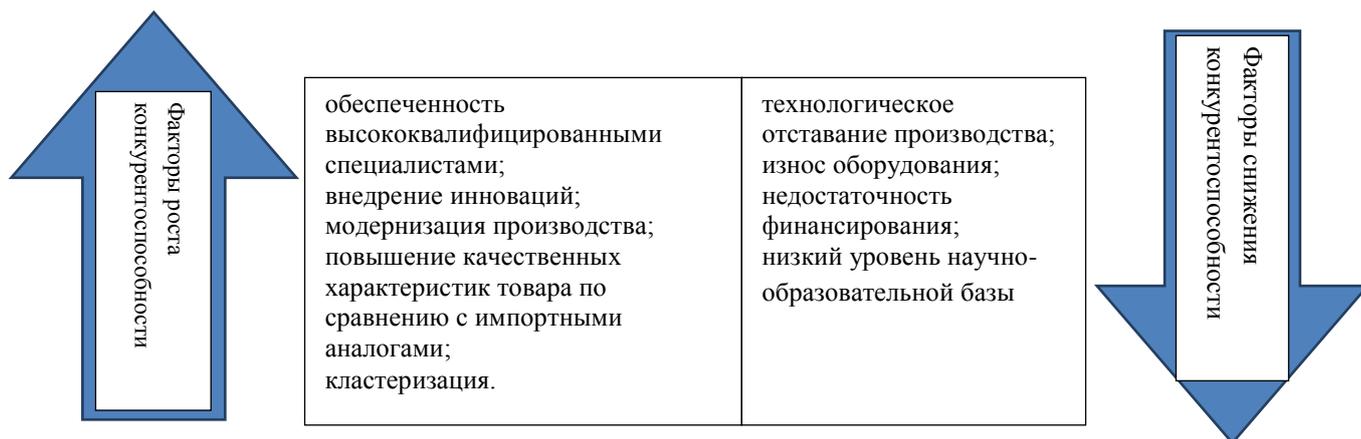


Рисунок. Факторы конкурентоспособности аграрного предприятия в условиях импортозамещения

Figure. Factors of competitiveness of an agricultural enterprise in the context of import substitution

При этом предлагаемые меры должны оказать воздействие на факторы (группы факторов), формирующие конкурентное преимущество импортозамещающего АПК и/или повышающие конкурентоспособность. Как показывает практика, для повышения конкурентоспособности необходимы приоритетные меры управления конкурентоспособностью сельскохозяйственных предприятий, связанные с новыми экономическими условиями.

Одной из эффективных стратегий повышения конкурентоспособности аграрных предприятий в условиях импортозамещения может стать кластеризация, которая широко применяемый в развитых странах за рубежом [14].

В аграрной сфере пищевая промышленность может стать основой кластера, так как её уровень является ключевым показателем продовольственной безопасности страны. Эта отрасль стратегически значима и вносит весомый вклад в развитие сельского хозяйства, а также оказывает значительное влияние на транспорт, производство упаковочных материалов, энергетику и другие связанные секторы. Пищевая промышленность играет важнейшую роль в поддержании здоровья населения и основывается на сбалансированном рационе, который включает качественные продукты, изготовленные из натурального сырья.

Для создания агропродовольственных кластеров необходима надёжная сырьевая база: действующие источники сельскохозяйственной продукции, поставщики животноводческой и растениеводческой продукции, а также производственные мощности пищевой и перерабатывающей отраслей [15].

Ещё одним действенным подходом является оптимизация государственной поддержки. В условиях невозможности увеличения бюджетных расходов, особенно реальных с учетом инфляции, существует необходимость переориентировать имеющиеся средства. Это подразумевает сокращение числа программ субсидирования и перераспределение ресурсов от субсидий на общие услуги к более эффективным инструментам, таким как льготные кредиты, лизинг и компенсация затрат на инвестиции. Такой шаг позволит повысить эффективность механизма государственной поддержки. [16].

*Перераспределение бюджетных ресурсов для инновационного развития.* Эффективная стратегия импортозамещения невозможна без инновационного развития. Бюджетные

расходы на инновации и образование не являются приоритетом в аграрном секторе. Необходимо перераспределить средства с менее эффективных субсидий на развитие инноваций, подготовку кадров и стратегию селективного импортозамещения, а также на международное сотрудничество в науке и образовании.

*Повышение эффективности льготного кредитования.* Для повышения эффективности программ поддержки кредитования рекомендуется субсидирование процентных ставок независимо от источника привлечения кредита, с минимизацией бюрократических ограничений. Повысит эффективность субсидий по этому направлению создание инфраструктуры, обеспечивающей доступ заёмщиков к кредитным ресурсам и снижающей транзакционные издержки для банков: интернет-банкинг, мобильный банкинг, сеть дорог, использование имеющейся инфраструктуры (почта). Необходимо обеспечение доступа к льготному кредитованию малых предприятий по всей продовольственной цепочке [13]. Предоставление льготного кредита стоит обусловить соответствием новых инвестиций инновативным и экологическим стандартам.

*Повышение эффективности привлечения инвестиций.* Привлечение инвестиций через программы поддержки льготного кредитования обеспечивает большую гибкость и более равномерное распределение средств, чем компенсация инвестиционных затрат. Проблемой поддержки инвестиционного кредитования и компенсации инвестиционных затрат является создание долгосрочных обязательств для бюджета, что находит отражение в снижении рычага привлекаемых в сектор средств. При этом в кризисной ситуации рекомендуется продолжить обе программы, обеспечив большую равномерность распределения средств по регионам и типам производителей. Увеличение бюджетных расходов на льготное кредитование и лизинг может производиться за счет сокращения преференций государственным компаниям в виде взносов в их уставные капиталы [17].

*Расширенная поддержка малых и средних производителей.* Поддержка малого бизнеса необходима для повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий в условиях импортозамещения. Именно малые формы сельхозпроизводителей создают сельский ландшафт, обеспечивают экологичность производства. При этом такие предприятия являются бенефициарами не более 5% трансфертов. Выигрыш от поддержки общих услуг по определению равномерно распределяется среди всех игроков рынка, поэтому концентрация ресурсов на такой поддержке позволит выровнять условия для всех производителей. Существующие формы поддержки производства должны обеспечивать преимущества в доступе к средствам малым и средним производителям.

*Снижение торговых барьеров.* Начиная с 2021 года поддержка производителей осуществлялась посредством мер, которые искажали условия торговли и нарушали рыночные сигналы. Поддержка производителей животноводческой продукции осуществлялась за счет потребителей, вынужденных больше платить за приобретаемые продукты. Реорганизация политики от трансфертов производителям, особенно связанным с конкретными продуктами, в пользу поддержки общих услуг, уменьшит негативное воздействие на потребителей [18]. Ограничения и пошлины на экспорт, с другой стороны, хотя и снижают цены на внутреннем рынке, но не являются эффективной мерой поддержки потребителя.

*Поддержка потребителей.* Снижение потребительского спроса на продовольствие является основным риском для агробизнеса для повышения конкурентоспособности. Для поддержки потребителей наиболее эффективными механизмами являются социальные

трансферты нуждающимся, а также продовольственные талоны на приобретение определенных продуктов питания.

**Заключение.** В условиях современных экономических реалий и политики импортозамещения аграрные предприятия России сталкиваются с новыми вызовами, требующими поиска эффективных стратегий повышения конкурентоспособности. На основании проведенного анализа можно уверенно утверждать, что успешное развитие аграрного сектора возможно только при условии комплексного подхода к управлению внутренними ресурсами и активного использования современных технологий и инноваций

Ключевыми факторами, способствующими повышению конкурентоспособности, являются инвестиции в модернизацию производства, развитие человеческого капитала и внедрение современных агрономических практик. Кроме того, важно учитывать перспективы интеграции аграрного сектора с наукой и образованием, что позволит создавать качественные инновационные решения, адаптированные к специфике российского рынка.

Особое внимание следует уделить развитию сотрудничества с отечественными производителями оборудования и технологий, что позволит снизить зависимость от импорта и укрепить внутренний рынок. Для обеспечения устойчивого развития аграрного сектора необходимо внедрение экологически чистых агрономических практик, которые будут способствовать не только повышению качества продукции, но и охране окружающей среды. Наконец, использование маркетинговых стратегий, нацеленных на продвижение продукции, произведенной в России, может стать важным инструментом для повышения её конкурентоспособности как на внутренних, так и на международных рынках.

Таким образом, успешность аграрных предприятий в эпоху импортозамещения во многом будет зависеть от их способности адаптироваться к новым условиям, эффективно использовать внутренние ресурсы, наращивать свои конкурентные преимущества через инновации и государственную поддержку.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1 Лукьянов А. Н., Бугай Ю. А., Гриценко Г. М. Импортозамещение в АПК региона: проблемы и методология их решения // АПК: экономика, управление. 2016. № 8. С. 64-71. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26470690>
- 2 Войтюк В. А. Кондратьева О. В., Слинко О. В. Стратегия повышения конкурентоспособности аграрных предприятий: опыт, вызовы и перспективы // EurasiaScience: Сб. стат. LIX Межд. науч.-практ. конф. (Москва, 15 февраля 2024 г.). М.: НИЦ «Актуальность.РФ». 2024. С. 17-19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63856126>
- 3 Фомин И.М., Логинов Г.А., Захаров А.М. Техничко-технологическая модернизация картофелеводства в товаропроизводящих хозяйствах Северо-Запада РФ // Сборник научных докладов ВИМ. 2011. Т. 1. С. 95-103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17775718>
- 4 Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б., Ранга-Корхонен Т., Захаров А.М. Подходы к освоению органического земледелия // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 4 (105). С. 101-113. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>
- 5 Логинов Г.А., Фомин И.М., Орешин Е.Е., Захаров А.М. Экологические требования к технико-технологическим решениям при производстве картофеля // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2010. № 82. С. 51-57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22846279>

- 6 Фомин И.М., Орешин Е.Е., Логинов Г.А., Захаров А.М. Механизированная технология производства экологически чистого картофеля // Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения. Матер. 7-й Межд. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 17-19 мая 2011 г.) СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2011. Т. 2. С. 141-146. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21370356&pff=1>
- 7 Фомин И.М., Захаров А.М. Энергетическая эффективность картофелеводства от технико-технологических решений // Техника и оборудование для села. 2012. № 1. С. 26-27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17295851>
- 8 Danko Yu., Sliusareva L. Mechanisms for increasing the competitiveness and product quality of enterprises of the agricultural sector of the economy // Ukrainian Journal of Applied Economics. 2020. Vol. 5. P. 379-387. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-1-44>
- 9 Юдина Е. В., Васильева И. А., Лебедев К. А. Перспективы повышения конкурентоспособности продукции АПК на внешних рынках // Экономика и предпринимательство. 2023. № 1(150). С. 208-211. <https://doi.org/10.34925/EIP.2023.150.1.042>
- 10 Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2024. № 1 (319). С. 2-7 <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>
- 11 Некрасов К. В., Набоков В. И. Цифровизация как фактор повышения конкурентоспособности предприятий аграрной сферы // Уфимский гуманитарный научный форум. 2024. № 1(17). С. 171-182. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65667927>
- 12 Кондратьева, О. В. Войтюк В. А. Импортозамещение и его роль в повышении конкурентоспособности аграрных предприятий // В сб. Экономика и менеджмент: новые вызовы и возможности: Сб. науч. тр. II Межд. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 22 февраля 2024 г.). под общ. ред. К.А. Бармуты. Ростов-на-Дону: ДГТУ. 2024. Ч. 1. С. 376-379. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67320087>
- 13 Беликова И. П., Лазарева Н. В., Фурсов В. А. Теоретические аспекты инновационного менеджмента в повышении эффективности деятельности агропромышленного предприятия // Экономика и предпринимательство. 2024. № 1(162). С. 1326-1329. <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.162.1.258>
- 14 Voytyuk M., Voytyuk V., Marinchenko T. Increasing the competitiveness of agricultural enterprises based on a cluster strategy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, 22083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022083>
- 15 Паршуков Д. В. Стратегические приоритеты и перспективные направления развития Южного агропромышленного территориального кластера Красноярского края // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2024. № 2(32). С. 3-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67226423>
- 16 Загруднинов А. Р. Методические подходы исследования конкурентоспособности сельскохозяйственных организаций // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2024. № 2. С. 114-119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=62702945>
- 17 Войтюк В. А., Кондратьева О. В. Стратегическое управление рисками при импортозамещении на аграрных предприятиях. В сб. Формирование эффективной системы менеджмента в условиях транзитивной экономики: Матер. I Межд. науч.-практ. конф. Мелитополь: МелГУ. 2024. С. 120-124. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67302538>

18 Косов, М. Е., Голубцова Е. В., Новикова Е. С. Государственное налоговое регулирование в сельском хозяйстве в условиях политики импортозамещения // Финансы: теория и практика. 2023. Т. 27. № 2. С. 119-130. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2023-27-2-119-130>

#### REFERENCES

1. Lukyanov A. N., Bugai Yu. A., Gritsenko G. M. Import substitution in the agro-industrial complex of the region: problems and methodology of their solution. *APK: ekonomika, upravlenie = Agro-Industrial Complex: Economics, Management*. 2016;8:64-71. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26470690>

2. Voityuk V. A. Kondratieva O. V., Slinko O. V. Strategies for improving the competitiveness of agricultural enterprises: experience, challenges and prospects. In: *EurasiaScience: Coll. Papers. LIX Int. Sci. Prac. Conf. (Moscow, 15 February 2024)*. Moscow: Scientific and Publishing Center "Actuality.RF". 2024:17-19. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63856126>

3. Fomin I.M., Loginov G.A., Zakharov A.M. Technical and technological modernisation of potato production in commodity-producing farms of the North-West of the Russian Federation. *Sbornik nauchnykh dokladov VIM = Collection of Scientific Reports of VIM*. 2011;1:95-103. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17775718>

4. Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B., Ranta-Korhonen T., Zakharov A.M. Approaches to harnessing organic agriculture. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2020;4 (105):101-113. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>

5. Loginov G.A., Fomin I.M., Oreshin E.E., Zakharov A.M. Environmental requirements to engineering solutions in potato cultivation. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production*. 2010; 82: 51-57. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22846279>

6. Fomin I.M., Oreshin E.E., Loginov G.A., Zakharov A.M. Mechanized production technology of green-labelled potatoes. In: *Ecology and agricultural technologies: agroengineering solutions. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Sci. Prac. Conf. (Saint Petersburg, 17-19 May 2011)*. Saint Petersburg: SZNIIMESH. 2011;2:141-146. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21370356&pff=1>

7. Fomin I.M., Zakharov A.M. Energy efficiency of potato growing depending on technical and technological solutions. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2012;1:26-27. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17295851>

8. Danko Yu., Sliusareva L. Mechanisms for increasing the competitiveness and product quality of enterprises of the agricultural sector of the economy. *Ukrainian Journal of Applied Economics*. 2020; 5: 379-387. (In Ukrainian) <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-1-44>

9. Yudina E. V., Vasilyeva I. A., Lebedev K. A. Prospects for improving the competitiveness of agricultural products in foreign markets. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2023;1(150):208-211. (In Russ.) <https://doi.org/10.34925/EIP.2023.150.1.042>

10. Fedorenko V.F., Bryukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual basis for the development of organic agricultural production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;1 (319):2-7 (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>

11 Nekrasov K. V., Nabokov V. I. Digitalization as a factor of increasing the competitiveness of agricultural enterprises. *Ufinskii gumanitarnyi nauchnyi forum = Ufa Humanitarian Scientific Forum*. 2024; 1(17): 171-182. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65667927>

12 Kondratieva, O. V. Voityuk V. A. Import substitution and its role in increasing the competitiveness of agricultural enterprises. In: Barmuta K.A. (ed.) *Economics and management: new challenges and opportunities: Proc. II Int. Sci. Prac. Conf. (Rostov-on-Don, 22 February 2024)*. Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2024; 1: 376-379 (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67320087>

13 Belikova I. P., Lazareva N. V., Fursov V. A. Theoretical aspects of innovation management in increasing the efficiency of an agricultural enterprise. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2024; 1(162): 1326-1329. (In Russ.) <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.162.1.258>

14 Voytyuk M., Voytyuk V., Marinchenko T. Increasing the competitiveness of agricultural enterprises based on a cluster strategy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 677, 22083. (In Eng.) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022083>

15 Parshukov D. V. Strategic priorities and prospective directions for the southern agricultural territorial cluster of the Krasnoyarsk Region development. *Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyi zhurnal. = Socio-Economic and Humanitarian Journal*. 2024; 2(32): 3-17. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67226423>

16 Zagrutdinov A. R. Methodological approaches to studying the competitiveness of agricultural organizations. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii = Competitiveness in a Global World: Economics, Science, Technology*. 2024; 2: 114-119. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=62702945>

17 Voityuk V. A., Kondratieva O. V. Strategic risk management in import substitution at agricultural enterprises. In: *Formation of an effective management system in the conditions of transitive economy. Proc. I Int. Sci. Prac. Conf. Melitopol: Melitopol State University, 2024: 120-124*. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67302538>

18 Kosov M. E., Golubtsova E. V., Novikova E. S. Government tax regulation in the agricultural sector in conditions of import substitution policy. *Finansy: teoriya i praktika = Finance: Theory and Practice*. 2023; 27 (2):119-130. (In Russ.) <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2023-27-2-119-130>

<b>Об авторах:</b>	<b>About the authors:</b>
<b>Войтюк Вячеслав Александрович</b> канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения, председатель молодых ученых ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 Bovver71@mail.ru <a href="https://orcid.org/0000-0001-9136-3795">https://orcid.org/0000-0001-9136-3795</a>	<b>Vyacheslav A. Voytyuk</b> Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher of the Department of Predictive and Analytical Information and Consulting Support, Chairman of the Young Scientists of the Federal State Budgetary Scientific Institution Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 Bovver71@mail.ru

+7-985-164-86-94	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9136-3795">https://orcid.org/0000-0001-9136-3795</a> +7-985-164-86-94
<p><b>Кондратьева Ольга Вячеславовна</b> канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения, председатель молодых ученых ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 inform-iko@mail.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-1140-1024">https://orcid.org/0000-0002-1140-1024</a> +7-903-276-40-41</p>	<p><b>Olga V. Kondratieva</b> Candidate of Economic Sciences, Leading researcher of the Department of Predictive Analytical Information and Consulting Support, Chairman of the young scientists of the Federal State Budgetary Scientific Institution Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 inform-iko@mail.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-1140-1024">https://orcid.org/0000-0002-1140-1024</a> +7-903-276-40-41</p>
<p><b>Слинько Олеся Викторовна</b> Старший научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения, председатель молодых ученых ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 inform-iko@mail.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-1401-7327">https://orcid.org/0000-0002-1401-7327</a></p>	<p><b>Olesya V. Slinko</b> Senior Researcher at the Department of Predictive Analytical Information and Consulting Support, Chairman of the Young Scientists of the Federal State Budgetary Scientific Institution Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 inform-iko@mail.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-1401-7327">https://orcid.org/0000-0002-1401-7327</a></p>
<p><b>Чутчева Юлия Васильевна</b> д-р экон., наук, профессор кафедры экономики и организации производства Российского государственного аграрного университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49. yuv.chutcheva@yandex.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-7450-5664">https://orcid.org/0000-0002-7450-5664</a></p>	<p><b>Yuliya V. Chutcheva</b> Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics and Production Organization of the Russian State Agrarian University - Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127550. yuv.chutcheva@yandex.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-7450-5664">https://orcid.org/0000-0002-7450-5664</a></p>
<p><b>Заявленный вклад авторов</b> В.А. Войтюк – создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование, визуализация. О.В. Кондратьева – методология Ю.В. Чутчева –руководство исследованием О.В. Слинько – концептуализация</p>	<p><b>Stated authors' contribution</b> V.A. Voytyuk – creation of a draft and the final version of the manuscript, revision of the manuscript and its editing, visualization. O.V. Kondratieva – methodology Y. V Chutcheva – research management O.V. Slinko – conceptualization</p>
<p><b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p><b>Conflict of interest</b> The authors declare that there is no conflict of interest.</p>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 13.09.2024	<b>Received:</b> 13.09.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 21.11.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 21.11.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

Научная статья  
УДК 631.37

DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТРАКТОРАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Дмитрий Александрович Москвичев<sup>1□</sup>  
Рамиль Тагирович Хакимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва,  
Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>moskvichev@rgau-msha.ru ORCID 0009-0002-7082-4876

<sup>2</sup>haki7@mail.ru ORCID 0000-0003-4858-3586

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются особенности разработки программного обеспечения с использованием искусственного интеллекта для автоматизации процессов в сельском хозяйстве, сосредотачиваясь на реализации на языке Python. Анализируются ключевые компоненты программной архитектуры и методы, позволяющие интегрировать ИИ в системы управления сельскохозяйственными машинами. Обсуждаются актуальные технологии и алгоритмы, такие как машинное обучение и обработка данных, а также их применение для повышения эффективности работы сельскохозяйственной техники. Статья описывает процесс проектирования и реализации программного обеспечения, включая выбор инструментов и библиотек. Показаны примеры задач, решаемых с помощью ИИ, такие как оптимизация маршрутов, мониторинг состояния почвы и растений, а также диагностика и профилактика неисправностей в работе машин. В заключение подчеркивается важность внедрения современных технологий в аграрном секторе, что открывает новые перспективы для повышения производительности и устойчивого развития сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** трактор, искусственный интеллект, программа ЭВМ, автоматизированное управление, компьютерное зрение, анализ почвы.

*Для цитирования:* Москвичев Д.А., Хакимов Р.Т. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 29-37 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37>

Research article

Universal Decimal Code 631.37

## SPECIFIC ASPECTS OF DESIGNING AI-BASED COMPUTER PROGRAMS FOR CONTROL SYSTEMS OF AGRICULTURAL TRACTORS

Dmitry A. Moskvichev<sup>1</sup>□, Ramil T. Khakimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup>moskvichev@rgau-msha.ru ORCID 0009-0002-7082-4876

<sup>2</sup>haki7@mail.ru ORCID 0000-0003-4858-3586

**Abstract.** The paper deals with specific aspects of software development using Artificial Intelligence to automate processes in agriculture, focusing on implementation in Python. The paper considers the key components of the software architecture and methods that allow the integration of AI into agricultural machine control systems. The paper discusses current technologies and algorithms, such as machine learning and data processing, and their application to improve the efficiency of agricultural machinery. The paper describes the software design and implementation process, including the selection of tools and libraries. The paper shows examples of tasks solved by AI, such as route optimization, soil and crop condition monitoring, and machine fault diagnosis and prevention. Finally, the importance of implementing modern technologies in the agricultural sector is emphasized, opening up new perspectives for increasing productivity and sustainable agricultural development.

**Keywords:** tractor, artificial intelligence, computer program, automated control, computer vision, soil analysis.

**For citation:** Moskvichev D. A., Khakimov R.T. Specific aspects of designing AI-based computer programs for control systems of agricultural tractors. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 29-37 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37>

**Введение.** С развитием технологий и внедрением искусственного интеллекта (ИИ) современное сельское хозяйство претерпевает значительные изменения [1]. Одним из наиболее интересных направлений является использование ИИ в управлении сельскохозяйственной техникой, в частности, трактором. Программа ЭВМ на основе ИИ способна повысить эффективность работы машин, сократить затраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду [2]. Данным направлением занимались различные отечественный и зарубежные компании: John Deere, Granular, Blue River Technology, «Крокус». В данной статье будет рассмотрен процесс разработки программы на

основе ИИ для трактора, охватывающий методы и технологии, используемые в производстве.

**Цель исследования:** привести особенности создания программы ЭВМ с искусственным интеллектом для сельскохозяйственной машины.

**Материалы и методы.** Для создания программы для трактора необходимо использовать несколько ключевых технологий ИИ. К их числу относится машинное обучение (МО). Оно является основой искусственного интеллекта и позволят компьютерам обучаться на основе данных [3]. В сельском хозяйстве машинное обучение может использоваться для анализа больших объемов данных о почве, климате, здоровье растений и других факторах. Компьютерное зрение позволяет трактору «видеть» окружающую среду, обрабатывать изображения и принимать решения на основе визуальной информации. Это может включать распознавание объектов, анализ состояния растений и определение структур на полях. Интеграция датчиков в тракторы и использование технологий IoT (Internet of Things – Интернет вещей) позволяет собирать данные в реальном времени о состоянии техники, окружающей среде и полевых условиях [4]. Это открывает возможности для более точного и своевременного принятия решений. Разработка программы на основе ИИ для трактора включает несколько ключевых этапов. Прежде чем начать разработку, необходимо четко определить цели и задачи, которые программа должна решать [5]. Например, это может быть автоматическое управление трактором, мониторинг состояния растений или оптимизация расхода ресурсов. На этом этапе осуществляется сбор данных, необходимых для обучения модели [6]. Для этого могут использоваться данные о почве, климате, ранее собранных урожаях и показателях работы техники. Данные могут быть собраны как из открытых источников, так и с помощью датчиков, установленных на тракторе [7]. Собранные данные подвергаются обработке и анализу. Это включает в себя очистку данных, их нормализацию и разделение на обучающую и тестовую выборки. Важно обеспечить высокое качество данных, так как на них будет основано обучение модели [8]. На основе подготовленных данных осуществляется обучение модели. Для этого используются алгоритмы машинного обучения, такие как регрессия, деревья решений, нейронные сети и другие [9]. Важно выбрать правильный алгоритм, который лучше всего подходит для решения поставленных задач.

После обучения модели необходимо провести тестирование и валидацию, чтобы убедиться в ее эффективности и точности [10]. Это может включать проверку модели на тестовых данных и ее практическое применение в полевых условиях.

**Результаты.** На этом этапе программа интегрируется в трактор. Это может включать разработку интерфейса для взаимодействия с оператором, настройку систем управления и интеграцию с имеющимися технологиями [11]. Одним из наиболее очевидных применений ИИ в тракторах является автономное управление. Используя данные от датчиков и технологии компьютерного зрения, трактор может самостоятельно выполнять рутинные задачи, такие как распахка, посев или обработка полей.

С помощью ИИ можно оптимизировать расход ресурсов, таких как удобрения и вода. Анализ данных о состоянии почвы и растений позволяет точно определить количество необходимых ресурсов и время их применения [12]. Программы на основе ИИ могут предсказывать урожайность на основе исторических данных и текущих условий. Это помогает фермерам лучше планировать свои действия и управлять ресурсами. Компьютерное зрение может использоваться для выявления болезней листьев и наличия

вредителей, что позволяет вовремя принимать меры по защите растений. Это улучшает здоровье культур и увеличивает их урожайность [13]. У данной технологии есть существенные преимущества: автономные тракторы способны работать более эффективно и с меньшими затратами; оптимизация ресурсов приводит к снижению расходов на топливо, удобрения и защитные средства; своевременное выявление проблем и применение технологий могут существенно повысить урожайность [14]. Однако существуют и недостатки: инвестиции в технологии ИИ могут быть значительными; для работы с ИИ необходимы специалисты, которые могут управлять и обслуживать такие системы; полная автоматизация может привести к снижению квалификации работников и зависимости от технологий.

**Обсуждение.** По представленным материалам выполнено построение блок-схемы работы трактора с автоматизированным управлением, компьютерным зрением и анализом почвы, которая представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Блок-схема работы трактора с автоматизированным управлением, компьютерным зрением и анализом почвы

Fig. 1. Block diagram of the operation of a tractor with automated control, computer vision and soil analysis

В данном случае требуется определить заданные параметры такие максимальная и минимальная скорость. Для создания кода программы ЭВМ использован язык программирования PYTHON. Вначале необходимо применение различных библиотек PYTHON:

- Для компьютерного зрения (OpenCV).
- Для работы с данными (например, NumPy, Pandas).

- Для реализации алгоритмов ИИ (TensorFlow, PyTorch).

Фрагмент программы ЭВМ для работы трактора с автоматизированным управлением, компьютерным зрением и анализом почвы представлен на рисунке 2.

```
# Импорт необходимых библиотек
import cv2
import numpy as np
import pandas as pd
import tensorflow as tf

# Инициализация модели для анализа изображений
model = tf.keras.models.load_model('your_model.h5')

# Функция для получения изображений с камеры
def capture_image():
    cap = cv2.VideoCapture(0) # Начало захвата видео с камеры
    ret, frame = cap.read()
    cap.release()
    return frame

# Функция для анализа изображения
def analyze_image(image):
    processed_image = preprocess_image(image) # Предобработка изображения
    prediction = model.predict(processed_image) # Предсказание
    return prediction

# Функция для предобработки изображения
def preprocess_image(image):
    # Изменение размера и нормализация
    image_resized = cv2.resize(image, (224, 224)) # Пример для модели
    image_normalized = image_resized / 255.0
    return np.expand_dims(image_normalized, axis=0)
```

Рис. 2. Программа ЭВМ для работы трактора с автоматизированным управлением, компьютерным зрением и анализом почвы

Fig. 2. Computer program for operating a tractor with automated control, computer vision and soil analysis

Описание процессов работы программы разбивается по 4 группам:

1. Сбор изображений: используется камера для захвата изображений местности.
2. Анализ изображения: изображение обрабатывается и передается в заранее обученную модель ИИ для классификации.
3. Анализ почвы: данные о влажности и рН почвы поступают от датчиков и анализируются.
4. Управление трактором: на основе результатов анализа трактор получает команды на движение или выполнение определенных действий, таких как полив.

Представленные результаты исследований были внедрены на предприятии ООО «Экспедишен Логистик», которые позволили посмотреть программу в практическом применении на тракторе Rostselmash Versatile 2375. Программа ЭВМ хорошо себя зарекомендовала, были пройдены все 4 группы процессов работы, получен акт внедрения по результатам практического применения.

**Выводы.** Это упрощенная модель программы ЭВМ, которая может быть улучшена и переработана более сложной логикой процессов с обработкой различных исключений. Предоставляется обзор процесса создания программы на основе ИИ для тракторов, включая этапы разработки, методы и технологии, а также примеры применения и возможное будущее таких приложений с развитием технологий и дальнейшим внедрением ИИ в сельское хозяйство можно ожидать, что программы для тракторов станут более сложными и мощными. Исследования в области обработки данных, робототехники и IoT будут способствовать созданию более современных и эффективных решений. Создание программы на основе искусственного интеллекта для трактора — это шаг к более эффективному и рациональному сельскому хозяйству. Сочетание машинного обучения, компьютерного зрения и современных технологий позволяет значительно повысить производительность и уменьшить затраты. Эффективное внедрение таких систем может стать ключевым фактором в развитии аграрного сектора и обеспечении продовольственной безопасности.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Высоцкий, М.С., Харитончик С.В., Кочетов С.И. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов. Минск: Белорусская наука. 2011. 392 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: МФН. 2019. 524 с.
3. Зайцев К. Р. Преимущества и проблемы эксплуатации электромобилей // Чтения академика В. Н. Болтинского, посвященные 300-летию Российской академии наук. Сб. статей конференции (Москва, 17-18 января 2024 г.). М.: РГАУ-Сам Полиграфист. 2024. С. 172-177. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492993&pff=1>
4. Косогорова, С. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов: Сб. статей Московской межд. межвузовской науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 19-20 декабря 2023 г.). М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2023. С. 88-93.
5. Куликов И. С., Хасанов Ж. М., Москвичев Д. А. Штрихкодирование при грузоперевозках: проблемы и перспективы внедрения // Чтения академика В. Н. Болтинского, посвященные 300-летию Российской академии наук. Сб. статей конференции (Москва, 17-18 января 2024 г.). М.: РГАУ-Сам Полиграфист. 2024. С. 147-153. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492989&pff=1>
6. Москвичев, Д.А., Виноградов О.В. Оценка свойств надежности при техническом обслуживании перспективных автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения, // Международный технико-экономический журнал. 2022. №5-6. С. 96-103. <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2022-86-5-6-96-103>
7. Москвичев Д.А., Виноградов О.В. Методика определения периодичности технического обслуживания перспективных автотранспортных средств

сельскохозяйственного назначения // Вестник Башкирского ГАУ. 2022. №4(64). С. 112-117. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2022-64-4-112-117>

8. Москвичев Д. А. Совершенствование методов технического обслуживания перспективных автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения: дисс. ... канд. техн. наук. 2023. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 250 с.

9. Темченко Г. А. Анализ искусственного интеллекта в автомобилях // Чтения академика В. Н. Болтинского, посвященные 300-летию Российской академии наук. Сб. статей конференции (Москва, 17-18 января 2024 г.). М.: РГАУ-Сам Полиграфист. С. 154-160. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492990&pff=1>

10. Цветков П. К., Д. А. Москвичев Д. А. Использование аддитивных технологий в автомобильном производстве // Чтения академика В. Н. Болтинского, посвященные 300-летию Российской академии наук. Сб. статей конференции (Москва, 17-18 января 2024 г.). М.: РГАУ-Сам Полиграфист. 2024. С. 142-146. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492988&pff=1>

11. Дидманидзе О. Н., Евграфов А. В., Москвичев Д. А. [и др.] Экспериментальные исследования влияния освещения на эвтрофикацию водоемов и работу систем капельного орошения // Природообустройство. 2024. № 3. С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

12. Lekavičienė K., Šarauskis E., Naujokienė V., Buragienė S., Kriauciūnienė Z. The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO<sub>2</sub> emissions // Soil & Tillage Research. 2019. Vol. 192. P. 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.002>

13. Lysych M. N. Review of numerical methods for modeling the interaction of soil environments with the tools of soil tillage machines // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1399, 044014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044014>

14. Vinogradov O. V., Moskvichev D. A., Didmanidze O. N., Parlyuk E. P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 6 (30). P. 5289-5292. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2592821>

## REFERENCES

1. Vysotsky, M.S., Kharitonchik S.V., Kochetov S.I. Fundamentals of design of modular mainline road trains. Minsk: Belorusskaya nauvuka. 2011. 392 p. (In Russ.)

2. Gnedenko B.V., Belyaev Y.K., Soloviev A.D. Mathematical methods in reliability theory. Moscow: MFN. 2019. 524 p. (In Russ.)

3. Zaitsev K. R. Advantages and problems of electric vehicles operation. In: Readings of Academician V. N. Boltinsky dedicated to 300 years of Russian Academy of Sciences: Proc. Conf. (Moscow, 17-18 January 2024). Moscow: RSAU-Sam Polygraphist. 2024: 172-177. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492993&pff=1>

4. Kosogorova, S. V. Use of unmanned aerial vehicles in agriculture In: Reengineering and digital transformation of the operation of transport and technological machines and robotic complexes. Proc. Moscow Int. Interuniversity Sci. Tech. Conf. of Students, Masters, Postgraduates and Young Scientists (Moscow, December 19-20, 2023). Moscow: RSAU - Timiryazev Agricultural Academy. 2023: 88-93. (In Russ.)

5. Kulikov I. S., Khasanov Zh. M., Moskvichev D. A. Barcoding in cargo transportation: problems and prospects of implementation. n: Readings of Academician V. N. Boltinsky dedicated

to 300 years of Russian Academy of Sciences: Proc. Conf. (Moscow, 17-18 January 2024). Moscow: RSAU-Sam Polygraphist. 2024:147-153. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492989&pff=1>

6. Moskvichev D. A., Vinogradov O. V. Evaluation of reliability properties in the maintenance of promising vehicles for agricultural purposes. *Mezhdunarodnyi tekhniko-ekonomicheskii zhurnal = International Technical and Economic Journal*. 2022;5-6:96-103. (In Russ.) <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2022-86-5-6-96-103>

7. Moskvichev D.A., Vinogradov O.V. Methodology for determining the periodicity of maintenance of perspective agricultural vehicles. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2022;4(64):112-117. (In Russ.) <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2022-64-4-112-117>

8. Moskvichev D. A. Perfection of the maintenance methods for the advanced agricultural vehicles: diss ... cand. tech.sci. 2023. Moscow: RSAU-Timiryazev Agricultural Academy. 250 p.

9. Temchenko G. A. Analysis of artificial intelligence in cars. In: Readings of Academician V. N. Boltinsky dedicated to 300 years of Russian Academy of Sciences: Proc. Conf. (Moscow, 17-18 January 2024). Moscow: RSAU-Sam Polygraphist. 2024:154-160. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492990&pff=1>

10. Tsvetkov P. K., Moskvichev D. A. Use of additive technologies in automotive production. In: Readings of Academician V. N. Boltinsky dedicated to 300 years of Russian Academy of Sciences: Proc. Conf. (Moscow, 17-18 January 2024). Moscow: RSAU-Sam Polygraphist. 2024: 142-146. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68492988&pff=1>

11. Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., Kharitonov S.I., Kulchev A.Yu. Experimental studies of the effect of lighting on eutrophication of water bodies and the operation of drip irrigation systems. *Prirodoobustrojstvo*. 2024;3:6-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

12. Lekavičienė K., Šarauskis E., Naujokienė V., Buragienė S., Kriauciūnienė Z. The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO<sub>2</sub> emissions. *Soil & Tillage Research*. 2019;192:95-102. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.002>

13. Lysych M. N. Review of numerical methods for modeling the interaction of soil environments with the tools of soil tillage machines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1399, 044014. (In Eng.) <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044014>

14. Vinogradov O. V., Moskvichev D. A., Didmanidze O. N., Parlyuk E. P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019;6 (30):5289-5292. (In Eng.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.2592821>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<p><b>Москвичев Дмитрий Александрович</b>, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры тракторов и автомобилей, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, ул. Тимирязевская,</p>	<p><b>Dmitry A. Moskvichev</b>, Ph.D., senior lecturer of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazev, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49, 127434, Russia;</p>

49, 127434, Россия; moskvichev@rgau-msha.ru ORCID 0009-0002-7082-4876	moskvichev@rgau-msha.ru ORCID 0009-0002-7082-4876
<b>Хакимов Рамиль Тагирович</b> , д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей, тракторов и технического сервиса, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия haki7@mail.ru ORCID 0000-0003-4858-3586	<b>Ramil T. Khakimov</b> , DSc. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoje Shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia haki7@mail.ru ORCID 0000-0003-4858-3586
<b>Заявленный вклад авторов</b> Все авторы внесли равный вклад в работу, в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность.	<b>Authors' contribution</b> All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
<b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	<b>Conflict of interests</b> The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 16.10.2024	<b>Received:</b> 16.10.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 09.12.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 09.12.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

Обзорная статья

УДК 631.112

DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-37-46

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕМОНТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ  
ТРАКТОРОВ В КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Шамиль Магамедович Казиев<sup>1</sup>, Фатима Алиевна Акбаева<sup>2</sup>, Александр Петрович  
Картошкин<sup>3□</sup>

<sup>1,2</sup> Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>[kaziev.schamil@yandex.ru](mailto:kaziev.schamil@yandex.ru), <http://orcid.org/0000-0002-7831-3838>

<sup>2</sup>[akbaevafatima@yandex.ru](mailto:akbaevafatima@yandex.ru), <http://orcid.org/0000-0001-9770-0457>

<sup>3</sup>[akartoshkin@yandex.ru](mailto:akartoshkin@yandex.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3407-4844>

**Аннотация.** Современное сельское хозяйство Центральной России характеризуется возможностью реализации перспективных технологий производства сельскохозяйственной продукции. Для реализации комплексных технологий выращивания сельскохозяйственных культур разработан широкий шлейф машин и орудий, включая комбинированные агрегаты. Причём, в основном, это сельскохозяйственные агрегаты, машины, орудия и трактора зарубежного производства. Для их обслуживания и ремонта была создана сеть дилерских центров и организованы предприятия по сборке тракторов, комбайнов и другой мобильной техники на территории Российской Федерации с последующей их реализацией. Всё это благополучие продолжалось до тех пор, пока нам не предъявили санкции зарубежные страны. Особенно болезненно связанные с этим проблемы отразились на окраинах России, в республиках, например, Кабардино-Балкарской, Карачаево-Черкесской и других. Целью исследования является анализ состояния ремонтно-технологической базы в Карачаево-Черкесской Республике (КЧР) и рекомендации по её возрождению. При проведении исследований использовались аналитические материалы, отчёты сельхозпредприятий, методы математической статистики и прогнозные ресурсы. Результаты исследования установили, что наличие большого количества мелкоконтурных полей площадью 10-20 гектаров осложняет работу современных высокопроизводительных сельхозагрегатов. При этом много времени уходит на перегоны техники с одного участка на другой. Наиболее проблемным вопросом является техническое обслуживание и ремонт тракторов и мобильной сельскохозяйственной техники, особенно тракторов вторичного рынка. Серьёзные проблемы в ремонте, особенно капитальном, создает разномарочность и конструкторские особенности тракторов, особенно зарубежных. В статье приведены количественные показатели наличия тракторов в КЧР. По результатам анализа состояния ремонтно-технологической базы предложены рекомендации по созданию ремонтно-диагностических мастерских общего назначения, включая мобильные диагностические установки, позволяющие осуществлять техническое обслуживание и мелкий ремонт в полевых условиях. В республике должен функционировать мощный цех по восстановлению и изготовлению деталей. Крупным сельхозпредприятиям рекомендовано восстанавливать ремонтно-обслуживающую базу на своей территории. Возможно создание совмещённых станции технического обслуживания и ремонта, или возврат к МТС, или другие варианты решения проблемы.

**Ключевые слова:** тракторы, техническое обслуживание, ремонт, сельское хозяйство, ремонтные мастерские

**Для цитирования:** Казиев Ш.М., Акбаева Ф.А., Картошкин А.П. Анализ и оценка состояния ремонтно-технологической базы тракторов в Карачаево-Черкесской Республике // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 37-47 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-37-46>

Review article

Universal Decimal Code 631.36

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE CONDITION OF TRACTOR REPAIR AND  
TECHNOLOGICAL BASE IN THE KARACHAY-CHERKESS REPUBLIC

Shamil M. Kaziev<sup>1</sup>, Fatima A. Akbayeva<sup>2</sup>,  
Alexander P. Kartoshkin<sup>3</sup>□

<sup>1,2</sup>North Caucasian State Academy, Cherkessk, Russia

<sup>3</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup>kaziev.schamil@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7831-3838>

<sup>2</sup>akbaevafatima@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9770-0457>

<sup>3</sup>akartoshkin@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3407-4844>

**Abstract.** Modern agriculture in Central Russia has the potential to introduce promising production technologies. A wide range of agricultural machinery and equipment, including complex units, has been developed to implement integrated crop production technologies. At the same time, the majority of agricultural units, machines, tools and tractors are of foreign manufacture. A network of dealer centers was created for their maintenance and repair, as well as enterprises for the assembly of tractors, combine harvesters and other mobile equipment on the territory of the Russian Federation with their subsequent sale. This continued until foreign countries imposed sanctions. The related problems were particularly painful in Russia's periphery, in the republics such as Kabardino-Balkaria, Karachay-Cherkessia and others. The aim of the study was to analyze the state of the repair and technological base in the Karachay-Cherkessia Republic and to make recommendations for its revival. The study used analytical materials, reports from agricultural enterprises, methods of mathematical statistics and forecasting resources. The study found that the presence of many small fields of 10-20 hectares complicated the work of modern high-performance agricultural units. At the same time, it takes a lot of time to move equipment from one location to another. The most problematic issue is the maintenance and repair of tractors and mobile agricultural machinery, especially after-market tractors. The variety and design characteristics of tractors, especially foreign tractors, create serious problems for repairs, especially capital repairs. The article presents quantitative indicators of tractor availability in the Republic of Karachay-Cherkessia. The study recommends the opening of universal repair and diagnostic workshops, including mobile diagnostic facilities, which would allow maintenance and minor repairs to be carried out under field conditions. A powerful workshop for the restoration and manufacture of parts should function in the republic. Large agricultural enterprises are recommended to restore the repair and maintenance base on their territory. It is possible to create a combined maintenance and repair station, or return to machine-and-tractor stations, or other solutions to the problem.

**Keywords:** tractors, maintenance, repair, agriculture, repair shops

**For citation:** Kaziev Sh.M., Akbayeva F.A., Kartoshkin A.P. Analysis and assessment of the condition of the tractor repair and technological base in the Karachay-Cherkess Republic. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 37-47 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-37-46>

**Введение.** В сельском хозяйстве СССР, а позже и в Российской Федерации проводилось много экспериментов, которые довели сельское хозяйство нашей страны до нынешнего состояния. Приход к власти М.С. Горбачева положил начало эксперименту с организацией по всей стране межхозяйственных предприятий на базе районных, областных, краевых и республиканских объединений «Сельхозтехника»<sup>2</sup>. В результате земля осталась в

---

<sup>2</sup> Федеральный закон от 24.07.2002 №101ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения». [Электронный ресурс] URL; [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37816/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37816/) (дата обращения 10.09.2024)

колхозах и совхозах, а сельскохозяйственная техника, механизаторы и ремонтные базы были переданы в районные объединения «Сельхозтехника». В частности, в Прикубанском районном объединении «Сельхозтехника» Карачаево-Черкесской республики (КЧР), где в то время работал один из авторов этой статьи, на балансе появилось более 1000 тракторов, не считая комбайнов и остальной сельскохозяйственной техники, а также ремонтные мастерские хозяйств с обслуживающим персоналом<sup>3</sup>. К счастью эксперимент продлился недолго и все вернулось на свои места. Однако, с началом перестройки ремонтная база в нашей республике на республиканском и районных уровнях была полностью ликвидирована. Ремонтные мастерские бывших совхозов и колхозов или полностью ликвидированы, или перешли в собственность физических лиц и используется не по назначению. Оборудование, которое находилось в этих мастерских, морально и физически устарело. Поэтому большинство крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ) ремонт своей техники проводило под навесами или даже под открытым небом.

Цель исследования – проанализировать состояние системы технического обслуживания и ремонта автотракторной техники в Карачаево-Черкесской Республике.

При проведении исследований использовались аналитические материалы, отчёты сельхозпредприятий, методы математической статистики и прогнозные ресурсы.

**Основная часть.** С развалом СССР начался новый эксперимент в сельском хозяйстве<sup>1</sup>. Землю раздали на пай, а техника перекочевала в руки отдельных физических лиц. Это привело к тому, что хозяевами паев стали не столько работники, которые ее обрабатывали, а иные лица, не имеющие отношения к сельскому хозяйству, у которых не было агротехнических знаний и опыта обработки земли и ведения сельскохозяйственного производства. Размеры паев составляли в среднем 4-5 гектаров. Если семья из двух дееспособных человек имеет два пая, то как можно на этой площади организовать севооборот? Где брать органические удобрения, если у этой семьи в сарае находится одна или две коровы, от которых выход 10 - 12 тонн навоза от каждой в год? Норма внесения органических удобрений (навоза) на один гектар обычных однолетних растений составляет от 5 до 10 тонн<sup>2</sup>. Получается, на каждый гектар пая надо держать одну корову и если в семье площадь (2 пая) составляет 10 га, то необходимо держать 9-10 коров. Это под силу единицам. Основная масса пайщиков в Карачаево-Черкесской республике сеет кукурузу, которая стала монокультурой, и вносит только минеральные удобрения.

Минеральные удобрения могут быть не очень хорошего качества. Всхожесть семян, упакованных в красивой таре, также вызывает серьёзные нарекания. Известны случаи, когда пайщики не получали даже половины рекламируемого урожая. На претензии к всхожести семян их поставщик отвечал, что это все происходит из-за неправильного проведения химической обработки, из-за нарушения технологии посадки и ухода за посадками, от климатических условий и т.д.

Большая часть пайщиков не имеет собственной сельскохозяйственной техники, а это не позволяет им проводить все основные операции по возделыванию сельскохозяйственных культур в оптимальные агротехнические сроки. Уборочные работы выполняются в основном комбайнами, привлеченными из Ставропольского или Краснодарского края [1].

---

<sup>3</sup> Карачаево-Черкесская республика: Ставропольстат. [Электронный ресурс]. URL: <http://stavstat.gks.ru> (дата обращения 10.09.2024).

Наличие большого количества мелкоконтурных полей площадью 10-20 гектаров осложняет работу современных высокопроизводительных комбайнов. При этом много времени уходит на перегоны техники с одного участка на другой. Отсутствие зернохранилищ, зерносушилок, зернотоков и прочего заставляет пайщиков продавать урожай с поля, что очень сильно сказывается на стоимости выращенного урожая. Всё это приводит к тому, что пайщики сдают свои пай в аренду за небольшие суммы денег или продают. На какое-то время вопросы по земле и сельскохозяйственной технике были решены, т.е. земля, тракторы и сельскохозяйственная техника имеют своих хозяев. Но остается открытым вопрос технического сервиса [2]. С введением санкций против России начался новый эксперимент в сельском хозяйстве. Дилеры, которые обслуживали и ремонтировали импортные трактора и сельхозмашины, и так были монополистами. Во-первых, они не успевали быстро обслуживать технику на обширных сельскохозяйственных территориях. С введением санкций произошло сокращение или объединение региональных дилерских центров исходя из экономических соображений. Превалирование зарубежной сельскохозяйственной техники над отечественной привело к тому, что прекратились поставки комплектующих агрегатов и запасных частей. Появились индивидуальные предприниматели, которые в обход санкций через другие страны начали доставать нужные запчасти и расходные материалы. Это привело к длительному простоя машин, так как на приобретение нужной детали уходит от двух до трех месяцев. Цены при этом существенно увеличились [3]. Кроме того, наблюдается тенденция к постоянному росту цен на топливо и смазывающие материалы. Причем, цены на дизельное топливо повышаются именно в тот период, когда начинается посевная и уборочная компании. На сегодняшний день многие сельхозтоваропроизводители стараются закупать дизельное топливо в межсезонный период, т.е. до очередного повышения цен. Эти закупки в основном приходятся на январь-февраль очередного хозяйственного года, когда предприятие рассчиталось по кредитам, по налогам и прочим затратам за предыдущий год. Закупается партия дизельного топлива с учётом тендера, но, во-первых, качество поставляемого топлива не всегда совпадает с заявленными эксплуатационными показателями, во-вторых, сельхозпредприятие не имеет возможности проверить качество поставляемого топлива, в-третьих, поставляемое топливо имеет зимнюю марку. Хозяйство хранит дизельное топливо у себя на нефтескладе, при этом цистерны находятся на открытой площадке и подвергаются воздействию атмосферных условий (влажный воздух, температурные перепады). За период зимнего хранения дизельное топливо обводняется [4], а в хозяйстве нет возможности удалить отстойную воду из баков хранения дизельного топлива. Работа дизелей на обводнённом топливе приводит к выходу из строя топливной аппаратуры высокого давления, особенно чувствительна к обводнённому топливу система «Коммон Рэйл»<sup>4,5</sup>, в частности топливный насос высокого давления (тракторы John Deere, CASE и др.). На складе у дилеров такого дорогостоящего узла не бывает. Поэтому заказ длится в лучшем случае месяц. А это простой энергонасыщенного трактора на весь период посевной компании. В связи с вышеизложенным эксплуатация сельскохозяйственных тракторов европейского и американского рынков представляется затруднительной, по

---

<sup>4</sup> Tractor CLAAS. AXION 840-820-810. User manual. SERVICE&PARTS. CMatic-Cebis. 2009. P. 476.

<sup>5</sup> Tractor JOHN DEER (8130, 8230, 8330, 8430, 8530) Operation and maintenance manual. Mangleim: John Deere Waterloo Works. 2013. P. 384.

крайней мере на период действия санкций. Многие зарубежные дилеры и сборочные заводы ушли с российского рынка[5]. Анализ состояния технического сервиса тракторов КЧР, показал, что смешанный парк тракторов состоит из гарантийных тракторов отечественного (3 %) и зарубежного (14 %) производства; послегарантийных тракторов отечественного (10 %) и зарубежного (19 %) производства; тракторов вторичного рынка отечественного (23 %) и зарубежного (31 %) производства. В Республике возникла проблема вторичного рынка тракторов в плане технического обслуживания и особенно ремонта[6]. Оставшиеся дилеры отказываются от обслуживания тракторов вторичного рынка. Обслуживание желательно проводить в специализированных местах, но иногда в процессе работы (посевная или уборочная страда) возникает необходимость обслуживать сельскохозяйственную технику «в борозде». Для этого необходимо иметь определённое аппаратное обеспечение и возможность добраться к месту работы сельскохозяйственного агрегата. Комплексные сельскохозяйственные агрегаты в Республике практически не используются, так как нет опыта комплектования, эксплуатации и тем более обслуживания. Для обслуживания комплексного сельскохозяйственного агрегата необходима передвижная диагностическая лаборатория [7, 8], включая возможности мелкого ремонта техники в полевых условиях. Серьёзные проблемы в ремонте, особенно капитальном, создает разномарочность и конструкторские особенности тракторов, особенно зарубежных. Кроме того, возникает необходимость в ремонте зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов и прочей мобильной сельскохозяйственной техники. Техническое обслуживание комбайнов имеет свою специфику, да и в целом ремонт сельскохозяйственной техники требует определённых знаний и навыков. В Карачаево-Черкесской Республике только одно высшее учебное заведение готовит бакалавров по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Но бакалавры не обладают знаниями, навыками и опытом в сфере технического обслуживания и ремонта автотракторной и сельскохозяйственной техники. Особенно это касается активного и пассивного диагностирования датчиков, блоков управления, исполнительных механизмов. В связи с вышеизложенным, энергонасыщенные тракторы зарубежного производства на вторичном рынке чаще всего простаивают из-за невозможности продиагностировать, восстановить, провести контрольные тесты, настроить тестовый режим. Всё это объясняется отсутствием программного обеспечения, отсутствием сканеров даже просто для фиксации диагностических параметров в ЭБУ бортового компьютера трактора. Причём, в тракторах одного типа могут быть установлены блоки управления разных изготовителей. А для них разработаны различные диагностические программы. Поэтому на вторичном рынке большой популярностью в нашем регионе пользуются отечественные тракторы без электронных блоков управления.

**Обсуждение.** На 9 апреля 2024 года в КЧР на балансе различных предприятий и у физических лиц имеется 11827 тракторов. К примеру, ООО ФИРМА «ХАММЕР» в настоящее время имеет тракторы John Deere - 10 физических единиц; CASE – 5 единиц; RS1604 ZOOMLION - 6 единиц и 26 тракторов Минского тракторного завода. У тракторов John Deere и CASE гарантийный срок обслуживания практически заканчивается, и они уходят на вторичный рынок со всеми вышеперечисленными проблемами. Остаётся надеяться на тракторы Минского тракторного завода, обладающие большой ремонтпригодностью. Освобождающийся от зарубежной техники Российский рынок начинают заполнять китайские производители тракторов. В частности, появляются колёсные тракторы RS1604 ZOOMLION китайского производства. В связи с тем, что китайские универсально –

пропашные колесные тракторы RS1604 ZOOMLION зарекомендовали себя надежными и очень высокопроизводительными (например, два трактора RS1604 ZOOMLION в агрегате с разбрасывателями минеральных удобрений AMAZONE ZG-B 8200 за смену внесли удобрения на площади 800 гектаров) ООО ФИРМА «ХАММЕР» оплатила стоимость еще 6 тракторов и у нее этих тракторов к началу июня 2024 года стало 12 физических единиц. На спрос этих тракторов также сильно повлияла хорошая работа дилеров, обслуживающих эти тракторы [8]. В течении двух-трех дней после получения заявки специалисты высокопрофессионально выполняют работу по обслуживанию техники. Все это говорит о том, что сельхозпроизводители КЧР в дальнейшей своей работе будут ориентироваться на китайский рынок. Если и дальше будет продолжаться такая ситуация с тракторами John Deere и CASE ООО ФИРМА «ХАММЕР» наверняка будет избавляться от этих марок тракторов через вторичный рынок [7, 8] и на вырученные деньги будет приобретать китайские тракторы. Но на китайские тракторы тоже не стоит делать ставку, необходимо возродить отечественное тракторо-сельхозмашиностроение.

**Выводы.** Учитывая, что в КЧР в настоящее время 11827 тракторов, большое количество комбайнов и сельскохозяйственных машин, на наш взгляд, параллельно с дилерами в каждом районе должна работать ремонтно-диагностическая мастерская общего назначения, включая наличие мобильной диагностической установки [9], позволяющей осуществлять техническое обслуживание и мелкий ремонт в полевых условиях [9]. В республике должен функционировать мощный цех по восстановлению и изготовлению деталей (ЦВИД), оснащенный самым современным технологическим оборудованием [10]. Крупные сельхозпредприятия, имеющие достаточное финансовое обеспечение, должны восстанавливать ремонтно-обслуживающую базу у себя на территории [11], так как кроме энергонасыщенной техники приходится ремонтировать сельскохозяйственные агрегаты и орудия (плуги, культиваторы, сеялки и т.д.). Возможно, использовать опыт некоторых российских регионов, в которых созданы совмещённые станции технического обслуживания и ремонта [12, 13]. Когда на базе сервисного центра по обслуживанию и ремонту автомобилей создаётся цех по ремонту сельскохозяйственной техники, включая тракторы, зерновые и кормоуборочные комбайны. Но с другой стороны при создании совмещённых станций технического обслуживания также возникает большое количество организационных вопросов. Не все руководители станций технического обслуживания готовы принять на себя дополнительную нагрузку. В лучшем случае соглашаются взять на себя капитальный ремонт дизелей, но не всю сельскохозяйственную технику. Вопросы необходимости создания совмещённых станций технического обслуживания и ремонта нужно детально прорабатывать, или предлагать другие варианты, например, возврат к МТС, создание (возрождение) ремонтных мастерских на территории сельхозпредприятий и т.д.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1 Казиев Ш.М., Акбаева Ф.А. Современное состояние и эффективное использование земель сельскохозяйственного назначения в КЧР // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. Т. 2. № 41. С. 27-30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36573550>
2. Дунаев А.В. Инновационные приёмы повышения ресурса и экономичности тракторов при их техническом сервисе: монография. М: Русайнс. 2024. 204 с. URL: <https://book.ru/book/935886>

3. Хабардин В.Н. Условия и затраты труда при техническом обслуживании машин на местах их использования // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 2(54). С. 80-84. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-12026>
4. Хабардин В.Н., Шелкунова Н.О. Проблемы утилизации загрязнённых нефтепродуктами отходов производства при техническом обслуживании сельскохозяйственных машин // Известия Оренбургского ГАУ. 2013. № 3 (101). С.16-166. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-161-166>
5. Хабардин В.Н. Проблемы и концепция технического обслуживания машин в сельском хозяйстве: монография. Иркутск: Изд-во ИрГАУ. 2020. 128 с. URL: [http://195.206.39.221/fulltext/i\\_032799.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/i_032799.pdf)
6. Бердникова Р.Г., Криков А.М. Система информационного обеспечения технического обслуживания тракторов в АПК: монография. Новосибирск: ИЦ НГАУ. 2019. 122 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41515128>
7. Карпиевич Ю.Д., Бондаренко И.И. Бортовое диагностирование технического состояния силового агрегата трактора: монография. Минск: БНТУ. 2022. 126 с. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/118991>
8. Картошкин А.П., Любимов С.В. Концепция организации технического сервиса тракторов вторичного рынка // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 23. С. 442-446. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18089850>
9. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов М.А., Казакова В.А. Эволюция технического сервиса в агропромышленном комплексе // Технический сервис машин. 2024. №62(3). С. 47-52. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2024-62-3-47-52>
10. Черноиванов В.И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: монография. М.:ГОСНИТИ. 2003. 992 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23845624>
11. Бурак П.И., Голубев И.Г. Анализ динамики обновление парка сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2024. №7. С. 23-26. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-7-23-25>
12. Grunin K., Ryndin A., Starostina A., Zhamalov R., Danilov D., Voronov E., Kartoshkin A. Improvement of diagnostics of the cylinder-piston group of internal combustion engines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 857, 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/857/1/012006>
13. Агапов Д.С., Картошкин А.П., Филимонов В.А., Кулешова Л.А. Модель интеграции процессов технического обслуживания на совмещённой станции технического обслуживания // Сельский механизатор. 2021. № 10. С. 18-19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47211741>

#### REFERENCES

1. Kaziev Sh.M., Akbaeva F.A. Current status and effective use of the agricultural land in Karachay-Cherkessia. Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya = Izvestiya International Academy of Agrarian Education. 2018; 2(41): 27-30. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36573550>
2. Dunaev A.V. Innovative techniques to increase the resource and efficiency of self-propelled machines with their technical service in the agro-industrial complex: monograph. Moscow: RuScience. 2024. 204 p. (In Russ.) URL: <https://book.ru/book/935886>

3. Khabardin V.N. Conditions and labor costs of machine maintenance in the field. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik = Far Eastern Agricultural Journal*. 2020; 2(54):80-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-12026>
4. Khabardin V.N., Shelkunova N.O. Problems of disposal of production waste contaminated with oil products during maintenance agricultural machinery. *Izvestiya OGAU = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2013;3 (101):161-166. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-161-166>
5. Khabardin V.N. Problems and the concept of machine maintenance in agriculture: monograph. Irkutsk: Irkutsk SAU. 2020. 128 p. (In Russ.) URL: [http://195.206.39.221/fulltext/i\\_032799.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/i_032799.pdf)
6. Berdnikova R.G., Krikov A.M. System of information support of tractor maintenance in agroindustrial complex: monograph. Novosibirsk: NSAU Publ. 2019. 122 p. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41515128>
7. Karpievich Y.D., Bondarenko I.I. On-board diagnostics of the technical condition of the tractor power unit: monograph. Minsk: BNTU. 2022. 126 p. (In Russ.) URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/118991>
8. Kartoshkin A.P., Lyubimov S.V. Concept of organisation of technical service of secondary market tractors. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2011;23:442-446. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18089850>
9. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov M.A., Kazakova V.A. Evolution of technical service in the agricultural industrial complex. *Tekhnicheskii servis mashin = Machinery Technical Service*. 2024;62(3):47-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2024-62-3-47-52>
10. Chernoiyanov V.I. Maintenance and repair of machines in agriculture: monograph. Moscow: GOSNITI. 2003. 992 p. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23845624>
11. Burak P.I., Golubev I.G. Analysis of the dynamics of renewal of the agricultural machinery fleet. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;7:23-26 (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-7-23-26>
12. Grunin K., Ryndin A., Starostina A., Zhamalov R., Danilov D., Voronov E., Kartoshkin A. Improvement of diagnostics of the cylinder-piston group of internal combustion engines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 857, 012006. (In Eng.) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/857/1/012006>
13. Kartoshkin A.P., Agapov D.S., Filimonov V.A., Kuleshova L.A. Model of integration of maintenance processes at a combined service station. *Sel'skii mekhanizator = Rural Mechaniser*. 2021;10:18-19. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47211741>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<p><b>Шамиль Магамедович Казиев,</b> канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технологические машины и переработка материалов», Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск, Россия. <a href="mailto:kaziev.schamil@yandex.ru">kaziev.schamil@yandex.ru</a> <a href="http://orcid.org/0000-0002-7831-3838">http://orcid.org/0000-0002-7831-3838</a></p>	<p><b>Shamil M. Kaziev,</b> Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department “Technological Machines and Processing of Materials”, North Caucasian State Academy, Cherkessk, Russia <a href="mailto:kaziev.schamil@yandex.ru">kaziev.schamil@yandex.ru</a> <a href="http://orcid.org/0000-0002-7831-3838">http://orcid.org/0000-0002-7831-3838</a></p>

<p><b>Фатима Алиевна Акбаева,</b> канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры «Лесное дело», Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск, Россия. <a href="mailto:akbaevafatima@yandex.ru">akbaevafatima@yandex.ru</a>, <a href="http://orcid.org/0000-0001-9770-0457">http://orcid.org/0000-0001-9770-0457</a></p>	<p><b>Fatima A. Akbayeva,</b> Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry, North Caucasian State Academy, Cherkessk, Russia. <a href="mailto:akbaevafatima@yandex.ru">akbaevafatima@yandex.ru</a>, <a href="http://orcid.org/0000-0001-9770-0457">http://orcid.org/0000-0001-9770-0457</a></p>
<p><b>Александр Петрович Картошкин,</b> д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия. <a href="mailto:akartoshkin@yandex.ru">akartoshkin@yandex.ru</a>, <a href="http://orcid.org/0000-0003-3407-4844">http://orcid.org/0000-0003-3407-4844</a></p>	<p><b>Alexander P. Kartoshkin,</b> DSc (Engineering), Professor, Professor of Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia. <a href="mailto:akartoshkin@yandex.ru">akartoshkin@yandex.ru</a>, <a href="http://orcid.org/0000-0003-3407-4844">http://orcid.org/0000-0003-3407-4844</a></p>
<p><b>Заявленный вклад авторов</b> Ш.М. Казиев – администрирование данных, сбор исходной информации. Ф.А. Акбаева – формальный анализ, создание черновика рукописи. А.П. Картошкин – редактирование, создание окончательной версии (доработка)</p>	<p><b>Authors' contribution</b> Sh.M. Kaziev – data administration, collection of initial information. F.A. Akbayeva – formal analysis, creation of a draft manuscript. A.P. Kartoshkin – editing, creation of the final version (revision)</p>
<p><b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p><b>Conflict of interest</b> The authors declare that there is no conflict of interest</p>
<p>Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации</p>	<p>The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication</p>
<p><b>Статья поступила в редакцию:</b> 14.10.2024</p>	<p><b>Received:</b> 14.10.2024</p>
<p><b>Одобрена после рецензирования:</b> 28.11.2024</p>	<p><b>Approved after reviewing:</b> 28.11.2024</p>
<p><b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024</p>	<p><b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024</p>

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧНОСТИ СВЕТОКУЛЬТУРЫ РАССАДЫ ТОМАТА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ

Елена Николаевна Ракутько

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

elena.rakutko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>

**Аннотация.** В настоящее время перспективным направлением является развитие систем комбинированного облучения. Они состоят из основных источников – натриевых ламп, и дополнительных источников – светодиодов, корректирующих спектр суммарного излучения в дефицитных спектральных диапазонах. Цель работы – определение оптимального спектрального состава излучения по критерию энергоэкологичности. В качестве объекта исследования использовали растения томата (*Solanum Lycopersicum L.*) в возрасте 39 суток от появления всходов. Выращивание производили при фотонной облученности  $PPFD = 200$  мкмоль/м<sup>2</sup>с<sup>-1</sup> и фотопериоде 16 ч. Спектры излучения задавали совокупностью различных светодиодов: синего, зеленого, желтого, красного и дальнекрасного. В качестве факторов были взяты: X1 – соотношение энергии в синем и красном диапазонах, X2 – соотношение энергии в дальнекрасном и красном диапазонах. Для определения фактического значения энергоэкологичности измеряли площадь листьев, их сырую массу, содержание сухого вещества и флуктуирующую асимметрию билатеральных признаков. Теоретическое значение энергоэкологичности искали в виде полинома второй степени, коэффициенты которого находили по методу наименьших квадратов. Минимальное значение функция отклика  $9,81$  мольг<sup>-1</sup> принимает при значениях факторов X1=0,59 и X2=0,51. Для типичного спектра натриевой лампы  $12,24$  мольг<sup>-1</sup>. Таким образом, коррекция спектра позволяет повысить энергоэкологичность светокультуры на 25%. Полученные результаты открывают перспективы создания дополнительного к натриевой лампе корректора, излучающего в дефицитных спектральных диапазонах.

**Ключевые слова:** светокультура, энергоэффективность, экологичность, энергоэкологичность, натриевые лампы, светодиоды, корректор, гибридное облучение

**Для цитирования:** Ракутько Е.Н. Обеспечение энергоэкологичности светокультуры рассады томата путем оптимизации спектрального состава излучения // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 47-61 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-47-61>

Research article  
Universal Decimal Code 631.234:628.931

ENSURING ENERGY AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF ARTIFICIAL LIGHTING OF TOMATO SEEDLINGS BY OPTIMIZING THE SPECTRAL COMPOSITION OF RADIATION

Yelena N. Rakutko

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

elena.rakutko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>

**Abstract.** Currently, a promising direction is the development of combined irradiation systems. They consist of main sources – sodium lamps, and additional sources – LEDs, correcting the light quality of total radiation in deficient spectral bands. The study aimed to determine the optimal spectral composition of radiation by the criterion of energy efficiency. The study object was tomato plants (*Solanum Lycopersicum L.*) at the age of 39 days from the emergence of seedlings. The plants were grown at photon irradiation  $PPFD = 200 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$  and photoperiod of 16 hours. The irradiation spectra were set by different LEDs: blue, green, yellow, red and far-red. The factors under study were: X1 – the ratio of energy in the blue and red ranges, and X2 – the ratio of energy in the far-red and red ranges. To determine the actual value of energy efficiency, the study measured the leaf area, wet weight, dry matter content and fluctuating asymmetry of leaf bilateral traits. The theoretical value of energy and ecological efficiency was found in the form of a second-degree polynomial, the coefficients of which were found by the least squares method. The response function has the least value of  $9.81 \text{ mol/g}^{-1}$  when  $X1=0.59$  and  $X2=0.51$ . For a typical spectrum of sodium lamp  $12.24 \text{ mol/g}^{-1}$ . Thus, the spectrum correction allows increasing the energy and ecology efficiency of plant indoor lighting by 25%. The obtained results open the prospects of creating an additional corrector to the sodium lamp, emitting in the scarce spectral bands.

**Key words:** plant lighting, energy efficiency, ecological efficiency, energy and ecology criterion, sodium lamp, LED, corrector, hybrid lighting

**For citation:** Rakutko E.N. Ensuring energy and ecological efficiency of artificial lighting of tomato seedlings by optimizing the spectral composition of radiation. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 47-61 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-47-61>

**Введение.** В северных странах, к условиям которых относится большая доля регионов России, значительную часть года составляют дни с низкой естественной освещенностью и коротким днем. Для обеспечения круглогодичного производства тепличной продукции высокого качества используют дополнительное облучение. Преобладающим источником оптического излучения (ОИ) в теплицах сегодня все еще являются натриевые лампы высокого давления. Однако ни их спектр (дефицит излучения в некоторых диапазонах ОИ), ни энергоэффективность (большие энергетические потери) не являются оптимальными. Многообещающим типом источников ОИ являются светодиоды, благодаря, прежде всего, возможности управления спектральным составом излучения. Применение комбинированной (гибридной) облучательной установки, в состав которой входят оба типа источников, должно повысить эффективность светокультуры [1]. Применение таких систем облучения позволит реализовать преимущества отдельных типов источников ОИ, обеспечивающих максимальный полезный эффект от их совместного применения. Данный подход представляет собой реализацию концепции наилучших доступных технологий в светокультуре [2].

Большое влияние на растение оказывает ОИ в области фотосинтетически активной радиации (ФАР), которое задают соотношением долей энергии в его поддиапазонах: синем  $k_B$  (B, 400-500 нм), зеленом  $k_G$  (G, 500-600 нм), красном  $k_R$  (R, 600-700 нм) и дальнекрасном

$k_{FR}$  ( $FR$ , 700-780 нм). Для анализа качества спектра используют также соотношения  $k_{R:B}$  и  $k_{R:FR}$ . Спектр излучения является важнейшим параметром световой среды в теплице [3]. Даже малое воздействие излучением (фотонное управление [4]) позволяет влиять на рост и развитие растений, что позволяет оптимизировать спектральный состав излучения в целях повышения энергоэффективности и экологичности светокультуры [5].

Большое внимание уделяется изучению влияния  $R$  и  $FR$  излучения на рост и развитие растений [6, 7]. Известны спектральные соотношения, оптимальные для выращивания светолюбивых растений  $k_B: k_G: k_R = 0,3:0,2:0,5$  [8]. В диапазонах  $B$  и  $R$  наблюдается сильное поглощение света. В диапазоне  $G$  наблюдается отражение света. В  $FR$  диапазоне наблюдаются оба этих явления [9].  $B$  излучение влияет на производство биомассы и уменьшает удлинение гипокотыля.  $R$  излучение удлиняет гипокотыль и способствует увеличению площади листьев [10].  $FR$  излучение стимулирует фотоморфогенетические процессы, происходящие в растении. Исследования растений перца, выращиваемых в условиях стресса, показало роль спектра на устойчивость растений. Большее количество  $B$  излучения подавляло рост растений и образование биомассы и, следовательно, уменьшало потребность растений в воде. В целом  $B$  излучение увеличивает эффективность фотосинтеза, изменяет состав хлоропластов [11].  $R$  излучение увеличивает массу растений томатов, способствует формированию удлиненного стебля и большей площади листа [12], в то время как  $B$  излучение влияет на морфологию развития и производство биомассы в зависимости от вида и других условий окружающей среды [13]. Выявлено, что добавление  $B$  излучения к дополнительному  $R$  излучению в теплице не является строго необходимым для получения функционального урожая. Добавление некоторого количества (6–12%)  $B$  излучения полезно для роста и урожайности, в то время как его увеличение до 24% уже оказывает обратный эффект [14]. При выращивании китайской черешковой капусты было найдено, что соотношение  $R:B$  влияет на рост, фотосинтез и спектр поглощения листьев растений. Наибольший размер листа, содержание сухого вещества, эффективность использования световой энергии наблюдались при  $R:B=0,9$  [15]. Соотношение  $R:B$  влияет на длину стебля сеянцев томата [16]. Имеются сообщения, что оптимальным является соотношение  $R:B=4,0$ , однако отмечается, что оно зависит от сорта и фазы роста [17].

Соотношение  $R:FR$  влияет на изоформы фитохрома и ряд биохимических и физиологических реакций. Низкое соотношение  $R:FR$  способствует удлинению междоузлий, черешков и листьев. При этом происходит усиление апикального доминирования, сокращение разветвления и ускорение цветения [18]. Высокое соотношение  $R:FR$  вызывает физиологические реакции, приводящие к компактной кроне растений [19]. Результаты исследований показали, что рассада томатов, подвергнутая более низкому значению  $R:FR = 0,8$ , значительно увеличила свой рост, содержание хлорофилла и чистую скорость фотосинтеза по сравнению с высокими значениями отношения  $R:FR = 7,4$  [20]. Сравнивались варианты выращивания кукурузы с высоким (1,37) и низким (0,67) соотношениями  $R:FR$ . При низком соотношении растения кукурузы были выше, имели более крупные листья и массу кроны, чем растения, растущие в варианте с высоким соотношением [21]. В исследованиях стрессоустойчивости рассады томата наилучшая эффективность фотосинтеза наблюдалась при соотношении  $R:FR = 0,7$  [22]. Уменьшение соотношения  $R:FR$  с 15 до 2 (при соотношении  $B:R$  около трех) скорость ее роста увеличилась в три раза, сырая масса растения и выход сухого вещества – на треть, удельные затраты электроэнергии были снижены на 12%, что обеспечило экономию электроэнергии 34% [23].

Несмотря на богатый экспериментальный материал, имеющийся в распоряжении исследователей, общую реакцию растений на действие излучения с произвольным спектром прогнозировать трудно из-за сложного взаимодействия откликов растения на излучения отдельных диапазонов ФАР. Оптимизация спектрального состава излучения является важным мероприятием для повышения эффективности светокультуры [24].

В работе использован математический метод полного факторного эксперимента, при котором варьировались факторы спектральных соотношений.

**Цель работы.** Определение оптимального спектрального состава излучения в светокультуре по критерию энергоэкологичности.

**Материалы и методы.** Эксперимент проводили в научно-исследовательской лаборатории энергоэкологии светокультуры Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП-филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). В качестве объекта исследования использовали растения томата (*Solanum Lycopersicum L.*) гибрида Полонез F1. Семена выращивали в смеси агроторфа и субстрата «Живая земля» в пропорции один к двум. Сеянцы пикировали в контейнеры объёмом один литр и затем выставляли в камеры, где выращивали в течение 39 суток от появления всходов. Эксперимент проводили в отдельных секциях, разделенных светонепроницаемыми шторами. В каждой секции выращивали по шесть растений. Варианты опыта по секциям реализовывали рандомизированно. Для измерений в конце выращивания брали по три нормально развитых растения (тройная биологическая повторность, рис. 1). Для поддержания в секциях влажности на уровне 65-70% использовали ультразвуковой увлажнитель воздуха Electrolux EHD-3510D. Температуру воздуха задавали на уровне  $21 \pm 1,0^\circ\text{C}$  с помощью контроллера Ketotek KT1000. Фотопериод 16 часов задавали с помощью программируемого таймера ARCOM-АНС15А в суточном режиме его работы. Скорость движения воздуха в зоне выращивания растений  $0,2-0,3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  обеспечивали вентиляторами. Интегральную фотонную облученность в секциях на уровне  $PPFD=200 \text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$  поддерживали изменением высоты подвеса фитооблучателей.

Спектр излучения обеспечивали в соответствии с планом эксперимента. Имея в виду, что результаты оптимизации будут востребованы для создания дополнительного корректора к спектру натриевой лампы [25], спектр последней моделировался совокупностью различных светодиодов (СД). Использовали трехваттные светодиоды: синие (С), зеленые (З), желтые (Ж), красные (К) и дальнекрасные (ДК). Их спектр излучения (зависимость фотонного потока  $PPF$ , отн.ед., от длины волны  $\lambda$ , нм) показан на рис. 2. Для компоновки экспериментальных облучателей использовали ранее разработанную методику [26].

В отдельных измерениях было найдено, что у различных типов натриевых ламп спектр излучения достаточно близок. Доли потоков  $k_i$  в отдельных  $i$ -ых спектральных диапазонах составляют  $k_B=6,1\%$ ,  $k_G=48,1\%$ ,  $k_R=36,2\%$ ,  $k_{FR}=9,6\%$ . При этом обеспечиваются спектральные соотношения  $k_{R,B}=6,0$  и  $k_{R,FR}=3,8$  отн.ед. [27]. Это означает сниженную долю потока в  $B$  и  $FR$  диапазонах.

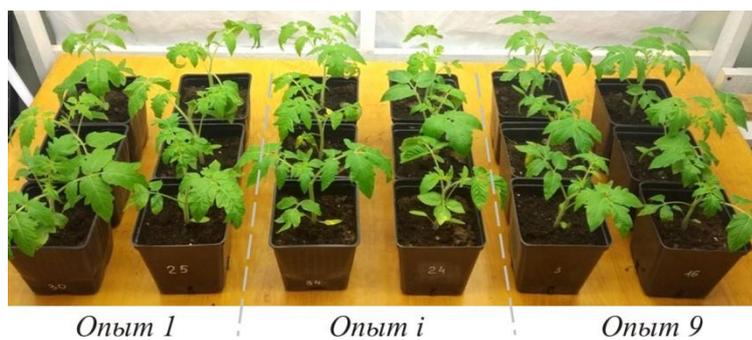


Рис. 1. Экспериментальные растения  
Fig. 1. Experimental plants

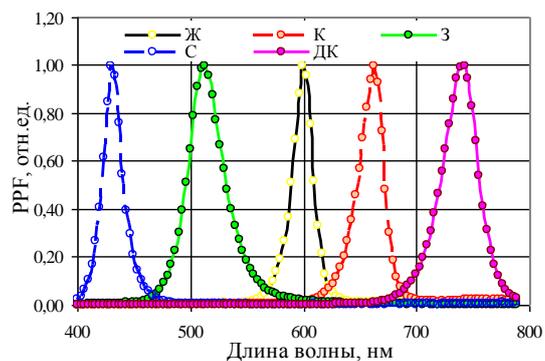


Рис. 2. Спектры используемых СД  
Fig. 2. Spectra of used LEDs

В качестве факторов были взяты:

X1 – соотношение энергии в синем и красном диапазонах ( $X1=1/k_{R:B}$ ), отн.ед.;

X2 – соотношение энергии в дальнекрасном и красном диапазонах ( $X2=1/k_{R:FR}$ ), отн.ед.;

Факторы X1 и X2 были приняты обратными общепринятым долям  $k_i$  в силу большого значения  $R$  у натриевой лампы, которое невозможно изменить. Варьирование спектром может быть произведено только добавкой  $B$  и  $FR$  излучения, т.е. в дефицитных спектральных диапазонах. Для типичного спектра натриевой лампы  $X1=0,17$ ;  $X2=0,26$ .

В таблице 1 показана матрица планирования эксперимента, проводимого на трех уровнях. На основании априорной информации в качестве центра плана были приняты значения факторов:  $X1=0,35$ , шаг варьирования  $(-1, 0)$  и  $(0,+1)$  составил  $0,35$  и  $X2=0,50$  отн.ед., шаг варьирования составил  $0,50$  отн.ед.

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента  
Table 1. Matrix of experiment design

№ опыта	Факторы в кодированном виде		Факторы в натуральном масштабе, отн.ед.	
	X1	X2	X1	X2
1	-1	-1	0,00	0,00
2	-1	0	0,00	0,50
3	-1	+1	0,00	1,00
4	0	-1	0,35	0,00
5	0	0	0,35	0,50

6	0	+1	0,35	1,00
7	+1	-1	0,70	0,00
8	+1	0	0,70	0,50
9	+1	+1	0,70	1,00

В качестве критерия оптимизации принята энергоэкологичность  $\mathcal{E}\mathcal{E}$ , которую предложено вычислять по следующей формуле

$$\mathcal{E}\mathcal{E} = \mathcal{E}_H \cdot \mathcal{E}_K, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_H$  – энергоэффективность, моль  $\text{г}^{-1}$ ;

$\mathcal{E}_K$  – экологичность, отн.ед.

Численно энергоэффективность характеризуется величиной энергоемкости, в предложенной модели представляющая собой отношение дозы облучения к массе продуктов фотосинтеза. Повышение энергоэффективности означает увеличение выхода продуктов фотосинтеза при меньших затратах энергии на облучение, то есть меньшим значениям критерия соответствует большая энергоэффективность. Величина энергоэффективности, моль  $\text{г}^{-1}$ , при линейной модели динамики изменения площади листьев растения, поглощающих поток оптического излучения и накопления сухого вещества

$$\mathcal{E}_H = \frac{3600 \cdot E \cdot T \cdot \Phi\Pi \cdot S_0}{M_{\text{л}} V_{\text{л}} / 100}, \quad (2)$$

где  $M_{\text{л}}$  – сырая масса листьев, г;

$V_{\text{л}}$  – содержание сухого вещества в листьях, %;

$E$  – фотонная облученность, мкмоль  $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$T$  – время выращивания растений, сут.;

$\Phi\Pi$  – фотопериод, ч;

$S_0$  – площадь листьев кроны.

В качестве характеристики экологичности принята стабильность развития растения  $St$ , отн.ед., вычисляемая через флуктуирующую асимметрию (ФА) билатеральных признаков

$$St = \frac{\Phi}{\Phi_{\min}}, \quad (3)$$

где  $\Phi$  – значение ФА в варианте опыта, отн.ед.;

$\Phi_{\min}$  – минимальное значение ФА, отн.ед.

Величины  $\Phi$  находили по формуле

$$\Phi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|ОП_{Li} - ОП_{Ri}|}{(ОП_{Li} + ОП_{Ri})}, \quad (4)$$

где  $ОП_{Li}$  и  $ОП_{Ri}$  - значения оптической плотности листа соответственно слева и справа от его центральной жилки.

Оптическую плотность листьев в эксперименте измеряли с помощью листового фотоколориметра.

Выражение для фактического значения энергоэкологичности  $\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{эксн}}$ , моль $\cdot$ г $^{-1}$

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{эксн}} = \frac{3600 \cdot E \cdot T \cdot \Phi \Pi \cdot S_0 \cdot \Phi}{(M_{\text{л}} \nu_{\text{л}} / 100) \cdot \Phi_{\min}}, \quad (5)$$

Уравнение регрессии для энергоэкологичности искали в виде:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{теор}} = aX_1^2 + bX_1 + cX_2^2 + dX_2 + eX_1X_2 + f. \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения регрессии определяли по методу наименьших квадратов, в соответствии с данными, полученными при выращивании растений в трех повторностях для всех вариантов спектрального состава излучения. Минимизировали величину

$$\delta = \sum (\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{теор}} - \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{эксн}})^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента, согласно общепринятой методике. Проверку адекватности уравнения проводили с использованием  $F$ -критерия Фишера [28]. Для нахождения экстремума находили частные производные первого порядка уравнения регрессии по каждому фактору. Данные обрабатывали методами математической статистики ( $p < 0.05$ ) с использованием пакетов программ *Excel 2003* и *Statistica 6.0*.

**Результаты.** Полученные в результате экспериментальные средние значения биометрических параметров растений при различных сочетаниях факторов, а также средние значения энергоэкологичности показаны в таблице 2. По результатам предварительных экспериментов принимали  $\Phi_{\min} = 0,0350$  отн.ед.

Таблица 2. Экспериментальные значения показателей  
Table 2. Experimental values of indicators

№ опыта	Факторы в кодированном виде		Средние значения параметров				Ср. знач. энергоэкологичности $\bar{\mathcal{E}}_{эксп}$ , моль·г <sup>-1</sup>
	X1	X2	$\bar{S}_0$ , см <sup>2</sup>	$\bar{M}_л$ , г	$\bar{v}_л$ , %	$\bar{\Phi}$ , отн.ед.	
1	-1	-1	991,4	41,4	9,6	0,0515	16,5
2	-1	0	1042,0	45,5	11,0	0,0480	12,8
3	-1	1	915,4	39,6	9,7	0,0554	17,0
4	0	-1	1044,7	43,2	11,0	0,0476	13,6
5	0	0	1237,4	57,2	11,3	0,0389	9,7
6	0	1	915,7	44,5	10,6	0,0536	13,6
7	1	-1	1005,7	52,7	9,8	0,0501	12,6
8	1	0	1083,9	53,3	10,8	0,0466	11,3
9	1	1	865,1	58,4	9,1	0,0564	10,4

Получены коэффициенты аппроксимирующего уравнения:  $a=11,34$ ;  $b=-12,11$ ;  $c=11,69$ ;  $d=-11,21$ ;  $e=-1,62$ ;  $f=11,34$ . Проверка по критерию Фишера показала, что уравнение адекватно описывает процесс. Построенные поверхность отклика и ее сечения (рис. 3) наглядно свидетельствуют, что каждый из исследуемых факторов влияет на эффективность использования потока кроной растения.

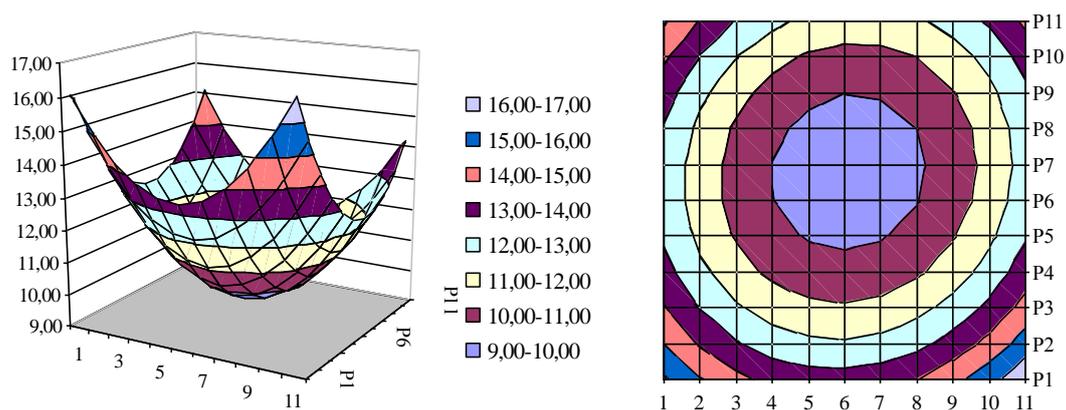


Рис. 3. Поверхность отклика и ее сечения  
Fig. 3. Response surface and its sections

Минимальное значение функция отклика  $\mathcal{E}_{\text{онт}} = 9,81$  моль·г<sup>-1</sup> принимает при значениях факторов  $X1=0,59$  и  $X2=0,51$ . Это соответствует спектральным отношениям  $k_{R,B} = 1,7$  и  $k_{R,FR} = 2,0$  отн.ед. Для типичного спектра натриевой лампы  $\mathcal{E}_{HA} = 12,24$  моль·г<sup>-1</sup>. Таким

образом, коррекция спектра позволяет повысить энергоэкологичность светокультуры на 25%.

**Обсуждение.** Светокультура сегодня занимает прочное место в тепличном овощеводстве многих странах мира, особенно в регионах с недостатком естественной освещенности. Наиболее распространенным источником излучения в светокультуре являются натриевые лампы высокого давления. Главным недостатком облучательных установок на их основе является невысокое соответствие их спектрального состава требуемому, что приводит к высоким энергетическим затратам.

Проблема повышения энергоэкологичности светокультуры особенно актуальна с появлением на рынке новых СД источников потока оптического излучения, позволяющих гибко управлять спектром потока в различные фазы развития растений и имеющих более высокую светоотдачу. Изучению влияния различных частей спектра и режимов облучения уделяется достаточно внимания в научных работах, однако нельзя констатировать, что эти вопросы исследованы исчерпывающим образом [3].

В ряде отечественных и зарубежных исследований показана перспективности использования СД источников излучения в интенсивной светокультуре. Однако вопросы оптимизации спектра и режимов облучения для отдельных культур и фаз развития растения все еще актуальны.

Выявлено, что красное излучение является наиболее эффективным для фотосинтеза. Однако рост и развитие растений, выращиваемых строго при монохроматическом красном свете, серьезно затруднены («синдром красного света»). Симптомы включают скручивание листьев и снижение фотосинтетической способности, толщины листьев и пигментации листьев. Добавление синего излучения подавляет эти симптомы. Необходима также определенная доля дальнекрасного излучения, которое играет важную роль в приспособляемости растений к условиям окружающей среды.

Энергоэффективность светокультуры заключается в достижении требуемого уровня продуктивности растений при использовании меньшего количества энергии. Показатель энергоэффективности характеризует долю потока энергии, используемой для получения полезной продукции, от общего количества затрачиваемой энергии [29]. Экологичность является менее распространенным критерием. В наших работах под экологичностью светокультуры мы понимаем стабильность ее развития, гармоничность морфологии растения, которые свидетельствуют о реализации растением своего генетического потенциала в данных параметрах окружающей среды.

В зарубежной практике мерой энергоэффективности светокультуры является параметр  $RUE$  (*radiation use efficiency*), определяемый как отношение количества сухой массы продуктов фотосинтеза, продуцированных затраченной на процесс дозой излучения  $RUE = M_{\text{сух}}/H$ , г·моль<sup>-1</sup>. В отечественной научной литературе используется обратная ему величина – энергоемкость.

В качестве меры экологичности в работе принята стабильность развития растений, определяемая через флуктуирующую асимметрию билатеральных признаков листьев растений. Этот подход достаточно распространен в практике биоиндикации.

В данной работе производили выращивание рассады томата под спектрами, в которых содержание  $B$  варьировалось от нуля до 75% от содержания  $R$ , а содержание  $FR$  варьировалось от нуля до 100% содержания  $R$ . В этот диапазон входит излучение натриевых ламп, у которой эти доли составляют соответственно 17% и 26%.

Было найдено, что по принятому критерию энергоемкости оптимум наблюдается при соотношениях  $B:R=59\%$  и  $FR:R=51\%$ . При этом наблюдается минимальное значение энергоэкологичности  $9,81 \text{ моль}\cdot\text{г}^{-1}$ . По сравнению с типичным спектром натриевой лампы такая коррекция спектра позволяет повысить энергоэкологичность светокультуры на  $25\%$ . Полученные результаты позволяют создать дополнительный к натриевой лампе корректор, излучающий в дефицитных спектральных диапазонах.

#### **Выводы.**

1. Натриевые лампы как источники дополнительного облучения в теплице, имеют существенные недостатки, заключающиеся в дефиците излучения в синем и дальнекрасном спектральном диапазонах.

2. Зависимость энергоэкологичности светокультуры от факторов - долей синего и дальнекрасного излучения по отношению к красному – адекватно описывается полиномом второй степени.

3. Минимальное значение энергоэкологичности  $9,81 \text{ моль}\cdot\text{г}^{-1}$  наблюдается при оптимальном значении этих факторов соответственно  $59\%$  и  $51\%$ .

4. По сравнению с типичным спектром натриевой лампы дополнительная добавка синего и дальнекрасного излучения до оптимальных значений позволит повысить энергоэкологичность светокультуры на  $25\%$ .

5. Полученные результаты открывают перспективы создания дополнительного к натриевой лампе корректора, излучающего в дефицитных спектральных диапазонах.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Аюпов М.Р. Применение комбинированного облучения в светокультуре // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т.14. №2. С. 46-52. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-2-46-52>

2. Ракутько С.А. Энергоэкологические основы наилучших доступных технологий светокультуры // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1 (98). С. 44-60. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10121>

3. Ракутько С.А., Маркова А.Е., Судаченко В.Н., Колянова Т.В. Определение эффективности светодиодных источников облучения при выращивании рассады томата и огурца // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2013. № 84. С. 82-90. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22677096>

4. Кульчин Ю.Н., Булгаков В.П., Гольцова Д.О., Субботин Е.П. Оптогенетика растений – светорегуляция генетического и эпигенетического механизмов управления онтогенезом // Вестник ДВО РАН. 2020. № 1. С.5-25. <https://doi.org/10.25808/08697698.2020.209.1.001>

5. Rakutko S., Rakutko E., Tranchuk A. Comparative evaluation of tomato transplants growth parameters under LED, fluorescent and high-pressure sodium lamps // Engineering for Rural Development. Proc.14<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. (Jelgava, Latvia, 20-22.05.2015). 2025. Vol. 14. P.222-229 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23991415>

6. Rajapaske N.C., Pollock R.K., McMahon M.J., Kelly J.W., Young R.W. Interpretation of light quality measurements and plant response in spectral filter research // Horticultural Science. 1992. Vol.27. P.1208-1211. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.808>

7. Губина А. А., Левин Е. В., Романович М. М. Определение оптимального спектрального состава излучения светодиодной фитолампы для стимуляции развития семян моркови и томата // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25. № 3. С. 62-72. <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-62-72>
8. Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры // Светотехника. 1992. № 3. С. 5-7.
9. Larcher W. Physiological plant ecology. Berlin: Springer. 2003. 513 p. <https://doi.org/10.1093/aob/mch084>
10. Johkan M, Shoji K, Goto F, Nahida S, Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa* // Environmental and Experimental Botany. 2012. Vol. 75. P. 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010>
11. Hoffmann A.M., Noga G. Hunsche M. Acclimations to light quality on plant and leaf level affect the vulnerability of pepper (*Capsicum annuum L.*) to water deficit // Journal of Plant Research. 2015. Vol. 128(2). P. 295-306. <https://doi.org/10.1007/s10265-014-0698-z>
12. Wu M.C., Hou C.Y., Jiang C.M., Wang Y.T., Wang C.Y., Chen H.H., Chang H.M. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings // Food Chemistry. 2007. Vol.101 (4). P.1753-1758. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.02.010>
13. Kigel J., Cosgrove D.J. Photoinhibition of stem elongation by blue and red light: Effects and cell wall properties // Plant Physiology. 1991. Vol. 95. P. 1049-1056. <https://doi.org/10.1104/pp.95.4.1049>
14. Kaiser E., Ouzounis T., Giday H., Schipper R., Heuvelink E., Marcelis L.F.M. Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum // Frontiers of Plant Science. 2019. Vol. 9, 2002. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>
15. Li Y.N., Liu N., Ji F., He D.X. Optimal red:blue ratio of full spectrum LEDs for hydroponic pakchoi cultivation in plant factory // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2022. Vol. 15(3). P. 72-77. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221503.7362>
16. Nanya K., Ishigami Y., Hikosaka S., Goto E. Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings // Acta Horticulturae. 2012. Vol. 956. P. 261-266. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.29>
17. Zala D. What color light is best for plant growth. (2024 Guide). [Электронный ресурс] <https://farmingram.com/what-color-light-is-best-for-plant-growth> (дата обращения 18.09.2024)
18. Smith H., Whitelam G.C. The shade avoidance syndrome: Multiple responses mediated by multiple phytochromes // Plant, Cell and Environment. 1997. Vol 20. P. 840-844. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-104.x>
19. Mortensen L.M., Stromme E. Effects of light quality on some greenhouse crops // Scientia Horticulturae. 1987. Vol. 33(1-2). P. 27-36. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(87\)90029-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(87)90029-X)
20. Cao K., Yu J., Xu D. et al. Exposure to lower red to far-red light ratios improve tomato tolerance to salt stress // BMC Plant Biology. 2018. Vol.18, 92. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1310-9>
21. Rajcan I., Chandler K.J., Swanton C.J. Red-far-red ratio of reflected light: A hypothesis of why early-season weed control is important in corn // Weed Science. 2004. Vol, 52(5). P. 774-778. <https://doi.org/10.1614/WS-03-158R>

22. Zhou X.T., Li Z.L., He J.J., Wang X.Y. Effects of red to far-red light ratio on growth and photosynthetic characteristics of tomato seedlings under calcium nitrate stress // *Photosynthetica*. 2021. Vol. 59 (4). P. 625-632. <https://doi.org/10.32615/ps.2021.052>
23. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Выращивание рассады томата под излучением светодиодов с различным соотношением красного и дальнекрасного потоков // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. № 44. С. 281-287. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27674959>
24. Долгих П.П. Новые подходы к повышению энергетической эффективности облучательных установок в светокультуре // *Эпоха науки*. 2021. №27. С.23-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46616938>
25. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Гибридное облучение как перспективная технология для решения проблем светокультуры. Обзор // *АгроЭкоИнженерия*. 2024. №3. С. 119-145. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-119-145>
26. Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н. Методика расчета комбинированного светодиодного облучателя для растений // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. № 95. С. 89-100. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10035>
27. Ракутько Е.Н. Эффективность светокультуры томата с гибридным облучением. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2024. №3. С. 146-155. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-146-155>
28. Яворский В.А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных. М: МФТИ. 2006. 44 с. URL: <https://course-crystal.narod.ru/DswMedia/experiment.pdf>
29. Ракутько С.А. Теоретические основы энергосбережения в оптических электротехнологиях АПК // *Достижения науки и техники АПК*. 2010. № 5. С. 68-70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15167105>

## REFERENCES

1. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Ayupov M.R. Use of combined irradiation in grow light. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14 (2): 46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-2-46-52>
2. Rakutko S.A. Energy and ecological basis of best available techniques of plant lighting. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production*. 2019; 1 (98): 44-60 (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10121>
3. Rakutko S.A., Markova A.E., Sudachenko V.N., Kolianova T.V. Determination of led sources efficiency for the lighting of tomato and cucumber seedlings. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production..* 2013;84:82-90. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22677096>
4. Kulchin Yu.N., Bulgakov V.P., Goltsova D.O., Subbotin E.P. Plant optogenetics – photoregulation of genetic and epigenic mechanisms of ontogenesis control. *Vestnik Dal'nevostochnogo Otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk = Vestnik of the Far East Branch of the*

Russian Academy of Sciences. 2020; 1: 5-25. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.25808/08697698.2020.209.1.001>

5. Rakutko S., Rakutko E., Tranchuk A. Comparative evaluation of tomato transplants growth parameters under LED, fluorescent and high-pressure sodium lamps. In: Engineering for Rural Development. Proc.14<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. (Jelgava, Latvia, 20-22.05.2015). 2025;14:222-229 (In Eng.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23991415>

6. Rajapaske N.C., Pollock R.K., McMahon M.J., Kelly J.W., Young R.W. Interpretation of light quality measurements and plant response in spectral filter research. Horticultural Science. 1992;27:1208-1211. (In Eng.) <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.808>

7. Gubina A.A., Levin E.V., Romanovich M.M., Degterev A.E., Patokov N.O., Lamkin I.A., Tarasov S.A. Optimal spectral radiation composition of a LED phytolamp for stimulating carrot and tomato seed development. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika = Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2022;25(3):62-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-62-72>

8. Prikupets L. B., Tikhomirov A. A. Optimization of the radiation spectrum when growing vegetables under intensive indoor lighting. Svetotekhnika = Light Engineering. 1992;3:5-7. (In Russ.)

9. Larcher W. Physiological plant ecology. Berlin: Springer. 2003. 513 p. (In Eng.) <https://doi.org/10.1093/aob/mch084>

10. Johkan M, Shoji K, Goto F, Hahida S, Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. Environmental and Experimental Botany. 2012; 75:128-133. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010>

11. Hoffmann A.M., Noga G. Hunsche M. Acclimations to light quality on plant and leaf level affect the vulnerability of pepper (*Capsicum annuum L.*) to water deficit. Journal of Plant Research. 2015;128(2): 295-306. (In Eng.) <https://doi.org/10.1007/s10265-014-0698-z>

12. Wu M.C., Hou C.Y., Jiang C.M., Wang Y.T., Wang C.Y., Chen H.H., Chang H.M. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chemistry. 2007;101(4):1753-1758. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.02.010>

13. Kigel J., Cosgrove D.J. Photoinhibition of stem elongation by blue and red light: Effects and cell wall properties. Plant Physiology. 1991;95:1049-1056. (In Eng.) <https://doi.org/10.1104/pp.95.4.1049>

14. Kaiser E., Ouzounis T., Giday H., Schipper R., Heuvelink E., Marcelis L.F.M. 2019. Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum. Frontiers of Plant Science. 2019;9, 2002. (In Eng.) <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>

15. Li Y.N., Liu N., Ji F., He D.X. Optimal red:blue ratio of full spectrum LEDs for hydroponic pakchoi cultivation in plant factory. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2022. 15(3): 72-77. (In Eng.) <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221503.7362>

16. Nanya K., Ishigami Y., Hikosaka S., Goto E. Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. Acta Horticulturae. 2012;956:261-266. (In Eng.) <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.29>

17. Zala D. What color light is best for plant growth. (2024 Guide). [online]. URL: <https://farmingram.com/what-color-light-is-best-for-plant-growth> (accessed 18.09.2024)

18. Smith H., Whitelam G.C. The shade avoidance syndrome: Multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell and Environment*. 1997; 20:840-844. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-104.x>
19. Mortensen L.M., Stromme E. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae*. 1987;33 (1-2):27-36. (In Eng.) [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(87\)90029-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(87)90029-X)
20. Cao K., Yu J., Xu D. et al. Exposure to lower red to far-red light ratios improve tomato tolerance to salt stress. *BMC Plant Biology*. 2018;18, 92. (In Eng.) <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1310-9>
21. Rajcan I., Chandler K.J., Swanton C.J. Red-far-red ratio of reflected light: A hypothesis of why early-season weed control is important in corn. *Weed Science*. 2004;52(5):774-778. (In Eng.) <https://doi.org/10.1614/WS-03-158R>
22. Zhou X.T., Li Z.L., He J.J., Wang X.Y. Effects of red to far-red light ratio on growth and photosynthetic characteristics of tomato seedlings under calcium nitrate stress. *Photosynthetica*. 2021;59(4): 625-632. (In Eng.) <https://doi.org/10.32615/ps.2021.052>
23. Rakutko E.N., Rakutko S.A. Growing tomato seedlings under LED radiation with different ratios of red and far-red fluxes. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2016;44:281-287. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27674959>
24. Dolgikh P.P. New approaches to improving the energy efficiency of irradiation installations in light culture. *Epokha nauki = Era of Science*. 2021;27:23-26. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46616938>
25. Rakutko E.N., Rakutko S.A. Hybrid irradiation as a promising technology for solving problems in greenhouse horticulture. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2024;3:119-145. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-119-145>
26. Rakutko S.A., Mishanov A.P., Rakutko E.N. Calculation method of combined LED irradiator for plants. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production*. 2018; 95:89-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10035>
27. Rakutko E.N. The effectiveness of a tomato plant lighting with hybrid irradiation. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024;3:146-155. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-146-155>
28. Yavorsky V.A. Planning a scientific experiment and processing experimental data. Moscow: MIPT Publishing House. 2006. 44 p. (In Russ.) URL: <https://course-crystal.narod.ru/DswMedia/experiment.pdf>
29. Rakutko S.A. Theoretical bases of energy saving in optical electrotechnology of agrarian and industrial complex. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2010;5:68-70. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15167105>

<b>Об авторе</b>	<b>About the author</b>
<b>Елена Николаевна Ракутько</b> , научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве Института	<b>Yelena N. Rakutko</b> , researcher, Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental

агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филтровское ш., д. 3, elena.rakutko@mail.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-3536-9639">https://orcid.org/0000-0002-3536-9639</a>	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: <a href="https://orcid.org/0000-0002-3536-9639">https://orcid.org/0000-0002-3536-9639</a>
<b>Заявленный вклад автора</b> Автор выполнил все функции проекта	<b>Author's contribution</b> Single author article - the author fulfilled all the functions in the project
<b>Конфликт интересов</b> Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов	<b>Conflict of interests</b> The author declares no conflict of interests
Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант	The author have read and approved the final version of the paper submitted
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 21.10.2024	<b>Received:</b> 21.10.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 22.11.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 22.11.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

Научная статья

УДК 631.4+632.954

DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-61-72

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КАПУСТЫ БРОККОЛИ К СОСУДИСТОМУ  
БАКТЕРИОЗУ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Сергей Викторович Старцев

Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук,  
Астраханская область, Россия

[sergey\\_170787@mail.ru](mailto:sergey_170787@mail.ru)

**Аннотация.** Болезни растений приводят к потерям продукции в мире в среднем до 20% и более, а традиционные средства защиты растений накапливаются в почве и нередко высоко токсичны, как для человека, так и для окружающей среды. Целью исследований было изучение максимальной возможности использования генетически обусловленной устойчивости отобранных селекционных линий капусты брокколи к сосудистому бактериозу, а также влияния экологически безопасного кремнийсодержащего препарата

Biosilicium у наиболее восприимчивых к данному фитопатогену селекционных линий, для минимизации использования в товарном производстве традиционных средств защиты растений. В результате проведенных исследований была показана возможность экологизации выращивания растений капусты брокколи при условии максимального использования генетически обусловленной устойчивости самих растений, а также эффективности использования физиологически активных биостимуляторов, таких как кремнийсодержащие препараты. Была подобрана оптимальная концентрация препарата Biosilicium (0,15 мл/л воды), существенно повышающая устойчивость к *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (с 17-19 % в 2020 году и до 9-10 % в 2022 году) даже сильновосприимчивых генотипов растений капусты брокколи. Выделены перспективные генотипы капусты брокколи, имеющие наибольшую устойчивость к *X. campestris* pv. *campestris*.

**Ключевые слова:** *Xanthomonas campestris*, препарат Biosilicium, сосудистый бактериоз, устойчивость, капуста брокколи, селекционные линии.

**Для цитирования:** Старцев С.В. Повышение устойчивости капусты брокколи к сосудистому бактериозу при выращивании органической продукции // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4 (121). С. 61-72 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-61-72>

Research article

Universal Decimal Code 631.4+632.954

## INCREASING THE BROCCOLI RESISTANCE TO VASCULAR BACTERIOSIS IN ORGANIC FARMING

Sergey V. Startsev

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan Region, Russia

[sergey\\_170787@mail.ru](mailto:sergey_170787@mail.ru)

**Abstract.** Plant diseases lead to average global loss of products up to 20% or more. Conventional crop protection agents tend to accumulate in the soil. They are often very toxic both to humans and to the environment. The aim of the research was to determine the best use of genetic resistance to vascular bacteriosis in selected broccoli breeding lines. To diminish the application of traditional plant protection agents in commercial production, the study also estimated the effect of the environmentally friendly silicon-containing preparation Biosilicium in the breeding lines most susceptible to the above phytopathogen. The study demonstrated the potential of greening the cultivation of broccoli cabbage in case the genetic resistance of plants proper is used in the best way possible, and physiologically active biostimulants, such as silicon-containing preparations, are applied most efficiently. The study identified the optimal concentration of the preparation Biosilicium (0.15 ml/l of water) significantly increasing resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (from 17-19% in 2020 and to 9-10% in 2022) of even highly susceptible genotypes of broccoli plants. The study also identified the promising genotypes of broccoli with the highest resistance to *X. campestris* pv. *campestris*.

**Keywords:** *Xanthomonas campestris*, Biosilicium preparation, vascular bacteriosis, resistance, broccoli, breeding lines.

**For citation:** Startsev S.V. Increasing the broccoli resistance to vascular bacteriosis in organic farming. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 61-72 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-61-72>

**Введение.** Производство органической сельскохозяйственной продукции – это быстроразвивающаяся форма хозяйствования, подразумевающая применение инновационных природоподобных агротехнологий, направленных на получение экологически чистых продуктов питания с минимизацией антропогенного воздействия на почвенно-климатические параметры окружающей среды [1, 2]. Для обеспечения устойчивого развития органического производства необходимы научно-обоснованные подходы построения систем рационального применения средств производства органической сельскохозяйственной продукции, которые в настоящее время отсутствуют, а отдельные элементы таких систем, представлены только в результатах исследований по решению локальных проблем базовых технологий производства конкретного продукта, в том числе и в области биологической защиты растений [3, 4].

Болезни растений до и после сбора урожая часто приводят к потерям продукции на 20% и более, как в развивающихся странах, так и в экономически и технологически развитых странах. Несмотря на то, что бактериальные заболевания менее многочисленны, чем грибные, с ними часто трудно справиться из-за их полициклической природы и отсутствия системных антибактериальных веществ [5]. Соединения меди и антибиотики являются одними из немногих антибактериальных средств для борьбы с фитопатогенными бактериями, которые легко доступны в значительной части мира [6, 7]. Содержащаяся в препаратах медь представляет ряд рисков и неожиданных последствий для сельскохозяйственных систем и окружающей среды, например, фитотоксичность, негативное воздействие на насекомых-опылителей и другие полезные организмы, биоаккумуляцию в почве и поверхностных водах и сокращение микробного биоразнообразия [8, 9, 10]. Антибиотики, такие как главным образом, стрептомицин и тетрациклины в качестве действующих веществ в сельском хозяйстве, также могут представлять неприемлемый риск при использовании в качестве пестицидов [7]. Несмотря на то, что они не накапливаются в почве и не оказывают неблагоприятного воздействия на растения, они могут провоцировать развитие устойчивых признаков в популяциях фитопатогенных микроорганизмов.

Наряду с таким распространенным и опасным грибным заболеванием капусты как кила, возбудителем которой является *Plasmodiophora brassicae* Woronin, представители семейства фитопатогенных бактерий *Xanthomonadaceae*, также являются не менее экономически важными растительными патогенными бактериями, поражающими более 400 видов растений. Основным видом является *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson pv. – черная гниль (англ. black rot), возбудитель опасной болезни капустных культур, который и послужил объектом изучения.

*X. campestris* – граммотрицательная облигатная аэробная факультативная сапрофитная палочка. Она подвижна, имеет ширину от 0,2 до 0,6 мкм и длину от 0,8 до 2,9 мкм. Может проявляться как одиночная особь или образовывать нити, окруженные ксантаном, который она производит.

Большинство представителей рода *Xanthomonas* характеризуются продуцированием ксантомонадина – желтого пигмента, который представляет собой наиболее значимый диагностический признак, используемый для их идентификации [11], хотя сообщается о

нескольких патоварах, которые не продуцируют такой пигмент, например, *X. axonopodis* pv. *manihotis*, *X. campestris* pv. *mangiferaeindicae* и *X. campestris* pv. *viticola* [12, 13].

**Целью исследований** было изучение влияния кремнийсодержащего препарата «Biosilicium» на устойчивость селекционных линий к возбудителю *X. campestris*, отбор на этом фоне перспективных линий капусты брокколи.

В задачи исследования входило выделение ценных по признаку устойчивости к сосудистому бактериозу селекционных линий капусты брокколи, выделение и идентификация возбудителя сосудистого бактериоза, заражение и оценка опытных растений возбудителем сосудистого бактериоза, подборка оптимальной концентрации препарата Biosilicium и изучение его влияния на повышение устойчивости опытных растений к сосудистому бактериозу.

**Материалы и методы.** Полевые исследования проводились на опытном поле опытно-производственной базы ФГБНУ ВНИИФ «Раменки» Одинцовского городского округа Московской области. Характер территории – равнинный. По механическому составу преобладают суглинистые почвы. Одинцовский район располагается на границе лесной и лесостепной зон в центре Восточно-Европейской равнины. Среднегодовая температура в г. Одинцово – 5,8 °С. среднегодовая норма осадков – 690 мм, что способствует относительно высокой относительной влажности воздуха, которая создает благоприятные условия для развития эпифитотий грибной и бактериальной этиологии.

Изучение патогенности выделенных возбудителей болезни проводили путем приготовления суспензии бактериальных клеток, смывом питательной среды и заражения опытных растений полученной суспензией (титр не менее  $5 \times 10^9$  КОЕ/мл).

Препарат Biosilicium по информации производителя представляет собой биологически активный кремний в свободной форме без каких-либо соединений и другие природные микроэлементы N, P, K, Fe.

За период с 2019 по 2022 год было выращено и исследовано 746 растений капусты брокколи. Кроме этого производился отбор на устойчивость, а также изучение преобработок повышающими устойчивость био-агентами (таблица 1, рисунок 1).

Степень пораженности определяли визуально с выражением в баллах по следующей шкале:

- 0 - здоровые растения;
- 1 - поражено до 1/3 всех листьев растения (поражение слабое);
- 2 - поражено до 2/3 всех листьев растения (поражение среднее);
- 3 - поражено более 2/3 листьев (поражение сильное).

На основании количества исследованных в пробе растений и числа пораженных из них в определенной степени тяжести, высчитывался процент распространенности и развития болезни по схеме:

№ пробы	Количество растений в пробе, шт.	Количество растений с одинаковым баллом поражения				Поражённость, %	Развитие болезни, %
		0	1	2	3		

Выделение патогенов осуществлялось экстракцией из сосудистой ткани и семян пораженных растений. Для дальнейшей идентификации осуществлялось выращивание

бактериальных колоний на селективной питательной среде, предназначенной для выделения *X. campestris pv campestris* и *X. campestris pv. armoraciae* из семян крестоцветных.

Селективные питательные среды, предназначенные для выделения *X. campestris* готовились по общепринятым методикам [14].

Дальнейшее обнаружение жизнеспособных представителей вида *X. campestris* осуществляли проведением qPCR-анализ (quantitative PCR, или количественная полимеразная цепная реакция - ПЦР). Так как qPCR обнаруживает как инфекционные, так и неинфекционные бактериальные частицы, а также жизнеспособную и нежизнеспособную бактериальную ДНК, после получения положительных предварительных результатов методом qPCR проводился посев и анализ на патогенность жизнеспособных и предположительно патогенных *X. campestris*. После повторного, посева, заражения и выделения подозрительных бактериальных колоний использовалась ПЦР идентификация, основанная на системе *TaqMan*. В ПЦР исследованиях использовался анализатор Cobas TaqMan 48, производителя «Roche Diagnostics GmbH» в соответствии с рекомендованными производителем инструкциями и с идентификацией возбудителя по общепринятым методикам [15].

Испытания патогенности выделенных возбудителей проводили путем приготовления суспензии бактериальных клеток, смывом их с агаризованной питательной среды стерильной водой. Полученной суспензией проводили заражение растений путем опрыскивания и инъекцией бактериальной суспензией с помощью медицинского шприца.

В качестве опытных растений использовали растения-регенеранты, полученные в культуре неоплодотворенных завязей и микроспор от исходного материала сорта Тонус, предварительно отобранные для анализа устойчивости к *X. campestris pv. campestris*.

Статистический анализ результатов исследования проведен с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel.

### Результаты.

Таблица 1. Сравнение пораженности растений капусты брокколи сосудистым бактериозом для выделения наиболее устойчивых линий

Table 1. Comparison of the infestation of broccoli cabbage plants with vascular bacteriosis to identify the most resistant lines

№ образца*	Поражённость растений, %			
	2017	2018	2019	2020
1 (3)	40	19	16	17
2 (5)	35	20	18	13
3 (7)	41	25	17	12
4 (12)	17	15	12	8
5 (15)	22	26	20	15
6 (17)	32	20	20	19
7 (18)	37	22	21	17

\*Селекционный номер (номер селекционной линии) указан в скобках

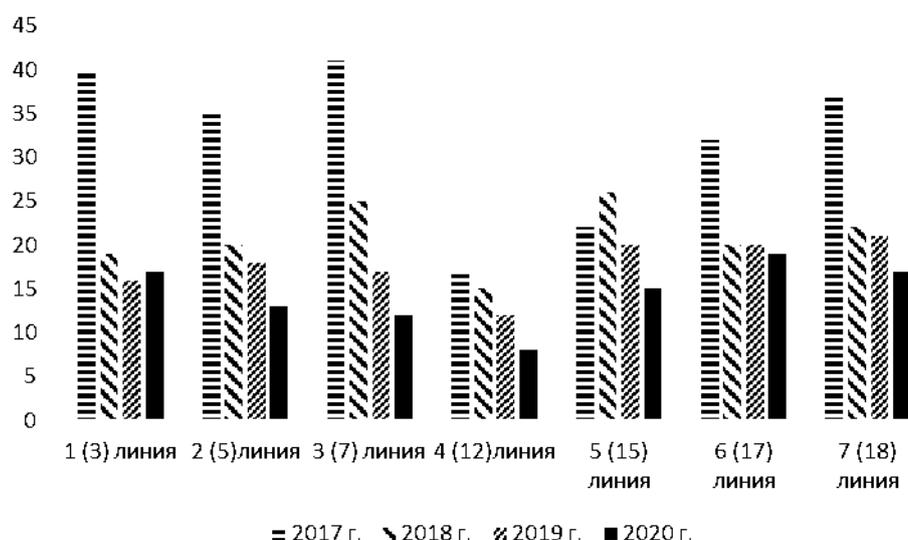


Рис. 1. Сравнение пораженности растений капусты брокколи сосудистым бактериозом для выделения наиболее устойчивых линий (%).

Fig. 1. Comparison of the infestation of broccoli cabbage plants with vascular bacteriosis to identify the most resistant lines (%).

На основании анализа и сравнения с другими линиями по высокой доле поражаемости (в процентном соотношении) в период с 2017-2020 гг. были отобраны линии 17 и 18 с 2021 года, и в период с 2021 по 2022 год проведены исследования влияния предобработки путем опрыскивания препаратом на основе кремния (смесь минеральных компонентов BioSi (Biosilicium)). Результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 2. Так как концентрация препарата, рекомендованная инструкцией, составляет «1-2 капли»<sup>6</sup>, изучались варианты предобработки Biosilicium с концентрацией 0,05 мл; 0,1 мл; 0,15 мл на 1 л воды (табл. 2, рис. 2.). Обработки проводились опрыскиванием с интервалом в 1 неделю на протяжении всего вегетационного периода (от высадки рассады до получения товарных органов).

Таблица 2. Влияние предобработки смесью минеральных компонентов BioSi (Biosilicium) наиболее восприимчивых селекционных линий растений капусты брокколи на пораженность сосудистым бактериозом

Table 2. The effect of pretreatment with a mixture of BioSi (Biosilicium) mineral components of the most susceptible broccoli cabbage plant breeding lines on vascular bacteriosis

№ линии*	Вариант обработки	Поражённость растений, %	
		2021	2022
Линия 17	Контроль, без обработки	23	26

<sup>6</sup> Кремниевые удобрения BioSi. [Электронный ресурс]. URL: <https://bio-silicium.ru/> (дата обращения 21.10.2024)

	0,05 мл/л;	17	12
	0,1 мл/л;	14	11
	0,15 мл/л	14	10
Линия 18	Контроль, без обработки	24	28
	0,05 мл/л;	19	12
	0,1 мл/л;	13	10
	0,15 мл/л	14	9
<b>Сравнительные данные за 2019-2020 гг.</b>			
Вариант без обработки	Пораженность растений, %		
	2019	2020	
линия 17	20	19	
Линия 18	21	17	

\*эффект обработки изучался дополнительно на самых поражаемых линиях

1-столбец-2021 год , 2-столбец - 2022 год

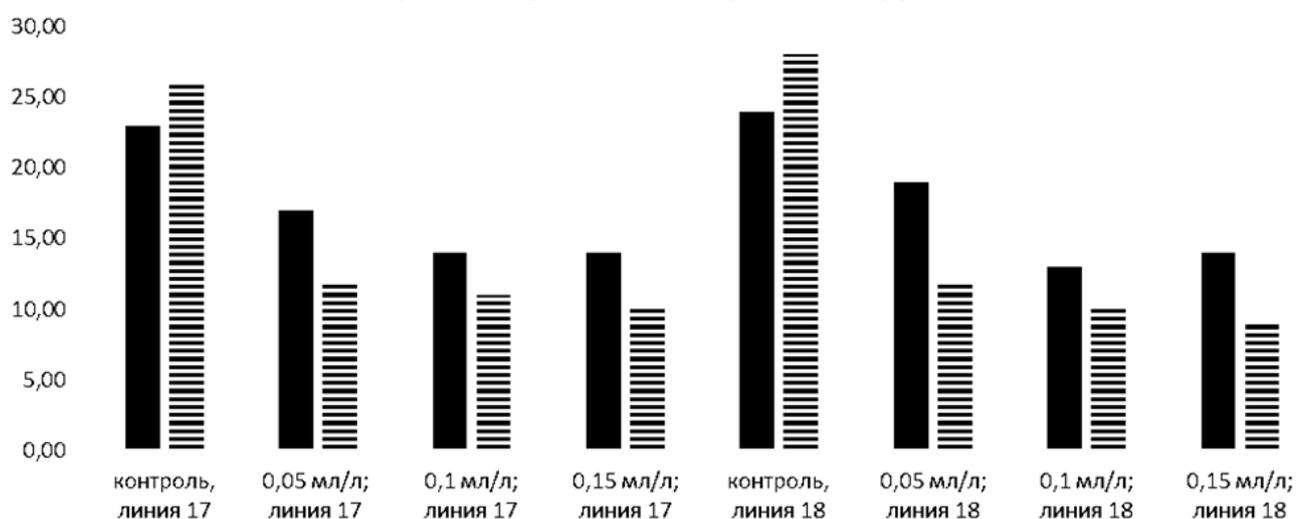


Рис.2 Влияние предобработки смесью минеральных компонентов *BioSi (Biosilicium)* наиболее восприимчивых селекционных линий растений капусты брокколи на пораженность сосудистым бактериозом

Процент пораженности (%) указан по вертикальной оси координат, номера селекционных линий с концентраций предобработки по каждому году указаны в мл/л воды по горизонтальной оси координат.

Fig. 2. The effect of pretreatment with a mixture of BioSi (Biosilicium) mineral components of the most susceptible broccoli cabbage plant breeding lines on vascular bacteriosis. The percentage of infestation (%) is indicated along the vertical coordinate axis, the number of breeding lines with pretreatment concentrations for each year are indicated in ml/l of water along the horizontal coordinate axis.

**Обсуждение.** На основании анализа 746 растений капусты брокколи в период с 2017 по 2020 годы, разбитых на 7 вариантов по номерам селекционных линий: 3, 5, 7, 12, 15, 17, 18, наибольшая пораженность сосудистым бактериозом была отмечена у линий 3, 17, 18 по годам и в 2020 году (последний год, когда подводились итоги), соответственно были отобраны линии 5,7,12 в качестве генетического источника устойчивости к сосудистому бактериозу.

Также для дальнейшей работы по изучению влияния предобработки смесью минеральных компонентов BioSi (Biosilicium) были отобраны и изучены линии 17, 18 – как одни из самых восприимчивых к *X. campestris pv. campestris*. При этом изучались и варианты предобработки растений указанных линий препаратом Biosilicium с концентрацией: 0,05 мл; 0,1 мл; 0,15 мл на 1 л воды.

Полученные результаты свидетельствовали о высокой эффективности применения на протяжении всего вегетационного периода обработки опрыскиванием растений капусты брокколи данным препаратом в концентрации 0,15 мл/л воды (интервал между обработками 1 неделя).

Необходимо отметить, что положительное влияние кремнийсодержащих соединений на развитие и повышение устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам известно достаточно давно (с середины XX века), однако окончательно этот механизм его действия еще недостаточно изучен и описан.

**Выводы.** В результате проведенных исследований была показана возможность экологизации выращивания растений капусты брокколи при условии максимального использования генетически обусловленной устойчивости самих растений, а также эффективности использования физиологически активных биостимуляторов, таких как кремнийсодержащие препараты. Была подобрана оптимальная концентрация препарата Biosilicium (0,15 мл/л воды), существенно повышающая устойчивость растений к *Xanthomonas campestris pv. campestris* (с 17-19 % в 2020 году до 9-10 % в 2022 году) даже сильновосприимчивых генотипов растений капусты брокколи.

Кроме этого, выделенные генотипы капусты брокколи линии 5,7,12, имеющие наибольшую устойчивость к *Xanthomonas campestris pv. campestris*, рекомендованы к использованию в селекционной практике как источники ценных генов устойчивости к сосудистому бактериозу.

Таким образом, сочетание селекционных и технологических мер (от использования генетически устойчивого материала до обработки кремнийсодержащими препаратами), позволит значительно сократить затраты на использование химически синтезированных пестицидов в сельскохозяйственном производстве и, как следствие, устранить негативное влияние их на здоровье человека и окружающую среду, а также не вызовет возникновения резистентности у возбудителя *Xanthomonas campestris pv. campestris* и других почвенных и фитопатогенных микроорганизмов к пестицидам.

Несмотря на то, что значение кремния для противодействия стрессовым факторам растений (жара, холод, засуха, насекомые-вредители, грибные болезни) известно достаточно

давно, тем не менее его значение недостаточно оценено, в том числе на капустных культурах. Отдельные исследователи предлагают использовать его в композиции регуляторов роста растений на основе биологически активного кремния и синтетических ауксинов для борьбы с чрезмерным выносом элементов питания и повышения урожайности овощных культур.

В наших же исследованиях ставится акцент именно на противодействие фитопатогенам за счет использования кремнийсодержащих препаратов и природной устойчивости растений, и как следствие экологизации выращивания растений капусты брокколи и снижение пестицидной нагрузки токсичными соединениями на окружающую среду [16].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1 Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2024. № 1 (319). С. 2-7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>
- 2 Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б., Ранта-Корхонен Т., Захаров А.М. Подходы к освоению органического земледелия // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 4 (105). С. 101-113. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>
- 3 Novikova I.I., Minin V.B., Titova J.A., Zakharov A.M., Krasnobaeva I.L., Murzaev E.A. The use of new polyfunctional biologics and compost to achieve a competitive yield of organic potatoes in the conditions of the North-West region of Russia // Plants. 2022. Vol.11(7), 962 <https://doi.org/10.3390/plants11070962>
- 4 Novikova I.I., Titova J.A., Krasnobaeva I.L., Minin V.B., Zaharov A.M., Perekopsky A.N. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases // Agronomy Research. 2021. Vol. 19(3). P. 1617-1626. URL: <https://dspace.emu.ee/items/088c2bc6-88dd-4cf4-ac83-e2e1ccd97ba0>
- 5 Oerke E.C. Crop losses to pests // The Journal of Agricultural Science. 2006. Vol. 144(1). P. 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- 6 Taylor P., Reeder R. Antibiotic use on crops in low and middle-income countries based on recommendations made by agricultural advisors // CABI Agriculture and Bioscience. 2020. Vol.1,1. <https://doi.org/10.1186/s43170-020-00001-y>
- 7 Sundin G.W., Castiblanco L.F., Yuan X., Zeng Q., Yang C.H. Bacterial disease management: Challenges, experience, innovation and future prospects // Molecular Plant Pathology. 2016. Vol.17(9). P.1506-1518. <https://doi.org/10.1111/mpp.12436>
- 8 Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M.Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications // Toxics. 2021. Vol.9(3),42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- 9 Vloek V., Pohanka M. Adsorption of copper in soil and its dependence on physical and chemical properties // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2018. Vol. 66(1). P. 219-224. <https://doi.org/10.11118/actaun201866010219>
- 10 Wang L., Xia X., Zhang W., Wang J., Zhu L., Wang J., Wei Z., Ahmad Z. Separate and joint eco-toxicological effects of sulfadimidine and copper on soil microbial biomasses and ammoxidation microorganisms abundances // Chemosphere. 2019. Vol. 228. P. 556-564. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.165>

- 11 Poplawsky A.R., Kawalek M.D., Schaad N. A xanthomonadin-encoding gene cluster for the identification of pathovars of *Xanthomonas campestris* // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 1993. Vol. 6(5). P. 545-552. <https://doi.org/10.1094/MPMI-6-545>
- 12 Midha S., Patil P.B. Genomic insights into the evolutionary origin of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* and its ecological relatives // *Applied and Environmental Microbiology*. 2014. Vol. 80, 20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01654-1413>
- 13 Ferreira M.A.S.V., Bonneau S., Briand M., Cesbron S., Portier P., Darrasse A., Gama M.A.S., Barbosa M.A.G., Mariano R.L.R., Souza E.B., et al. *Xanthomonas citri* pv. *viticola* affecting grapevine in Brazil: Emergence of a successful monomorphic pathogen // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10, 489. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00489>
- 14 Хисаметдинов М.Р., Гамаюрова В.С., Сагдеева Р.Р., Крыницкая А.Ю., Астраханцева М.Н., Суханов П.П. Влияние состава питательной среды на рост культуры *Xanthomonas campestris* и синтез экзополисахарида ксантана // *Вестник Казанского технологического университета*. 2009. № 2. С. 104-110. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12041251>
- 15 Berg T., Tesoriero L., Hailstones D. L. A multiplex real-time PCR assay for detection of *Xanthomonas campestris* from brassicas // *Letters in Applied Microbiology*. 2006. Vol. 42. P. 624-630. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.01887.x>
- 16 Петриченко В.Н., Логинов С. В., Туркина О.С. Кремнийсодержащие препараты на атрановой основе: практика и перспективы применения в растениеводстве России // *Бутлеровские сообщения*. 2015. Т.43. №9. С. 49-65. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25007080>

#### REFERENCES

- 1 Fedorenko V.F., Bryukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual basis for the development of organic agricultural production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;1(319):2-7. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>
- 2 Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B, Ranta-Korhonen T., Zakharov A.M. Approaches to harnessing organic agriculture. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2020; 4(105):101-113 (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>
- 3 Novikova I.I., Minin V.B., Titova J.A., Zakharov A.M, Krasnobaeva I.L., Murzaev E.A. The use of new polyfunctional biologics and compost to achieve a competitive yield of organic potatoes in the conditions of the North-West region of Russia. *Plants*. 2022;11(7), 962 (In Eng.) <https://doi.org/10.3390/plants11070962>
- 4 Novikova I.I., Titova J.A., Krasnobaeva I.L., Minin V.B., Zaharov A.M., Perekopsky A.N. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases. *Agronomy Research*. 2021; 19(3): 1617-1626. (In Eng.) URL: <https://dspace.emu.ee/items/088c2bc6-88dd-4cf4-ac83-e2e1ccd97ba0>
- 5 Oerke E.C. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*. 2006; 144(1):31-43. (In Eng.) <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- 6 Taylor P., Reeder R. Antibiotic use on crops in low and middle-income countries based on recommendations made by agricultural advisors. *CABI Agriculture and Bioscience*. 2020;1,1. (In Eng.) <https://doi.org/10.1186/s43170-020-00001-y>

- 7 Sundin G.W., Castiblanco L.F., Yuan X., Zeng Q., Yang C.H. Bacterial disease management: Challenges, experience, innovation and future prospects. *Molecular Plant Pathology*. 2016;17(9):1506-1518. (In Eng.) <https://doi.org/10.1111/mpp.12436>
- 8 Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M.Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*. 2021;9(3),42. (In Eng.) <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- 9 Vloek V., Pohanka M. Adsorption of copper in soil and its dependence on physical and chemical properties. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2018;66(1):219-224. (In Eng.) <https://doi.org/10.11118/actaun201866010219>
- 10 Wang L., Xia X., Zhang W., Wang J., Zhu L., Wang J., Wei Z., Ahmad Z. Separate and joint eco-toxicological effects of sulfadimidine and copper on soil microbial biomasses and ammoxidation microorganisms abundances. *Chemosphere*. 2019; 228: 556-564. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.165>
- 11 Poplawsky A.R., Kawalek M.D., Schaad N. A xanthomonadin-encoding gene cluster for the identification of pathovars of *Xanthomonas campestris*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 1993; 6 (5): 545-552. (In Eng.) <https://doi.org/10.1094/MPMI-6-545>
- 12 Midha S., Patil P.B. Genomic insights into the evolutionary origin of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* and its ecological relatives. *Applied and Environmental Microbiology*. 2014; 80, 20. (In Eng.) <https://doi.org/10.1128/AEM.01654-14>
- 13 Ferreira M.A.S.V., Bonneau S., Briand M., Cesbron S., Portier P., Darrasse A., Gama M.A.S., Barbosa M.A.G., Mariano R.L.R., Souza E.B., et al. *Xanthomonas citri* pv. *viticola* affecting grapevine in Brazil: Emergence of a successful monomorphic pathogen. *Frontiers in Plant Science*. 2019; 10, 489. (In Eng.) <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00489>
- 14 Khisametdinov M.R., Gamayurova V.S., Sagdeeva R.R., Krynskaya A.Yu., Astrakhantseva M.N., Sukhanov P.P. Study of the composition of the nutrient medium for the growth of *Xanthomonas Campestris* culture and the synthesis of xanthan exopolysaccharide. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2009;2:104-110. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12041251>
- 15 Berg T., Tesoriero L., Hailstones D. L. A multiplex real-time PCR assay for detection of *Xanthomonas campestris* from brassicas. *Letters in Applied Microbiology*. 2006;42:624-630. (In Eng.) <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.01887.x>
- 16 Petrichenko V.N., Loginov S.V., Turkina O.S. Silicon-containing preparations on atrnolol basis: practice and prospects of application in plant Russia. *Butlerovskie soobshcheniya = Butlerov Communications*. 2015;43 (9): 49-65. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25007080>

<b>Об авторах:</b>	<b>About the authors:</b>
<b>Старцев Сергей Викторович</b> , канд. с.- х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» sergey_170787@mail.ru	<b>Sergey V. Startsev</b> . Cand. Sc. (Agriculture), research fellow, FSAC “Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences” sergey_170787@mail.ru
<b>Заявленный вклад авторов</b>	<b>Author’s contribution</b>
Автор выполнил все функции проекта.	Single author article - the author fulfilled all the functions in the project

<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interests</b>
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов	The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The author has read and agreed to the published version of the manuscript.
<b>Статья поступила в редакцию:</b>	<b>Received:</b>
<b>Одобрена после рецензирования:</b>	<b>Approved after reviewing:</b>
<b>Принята к публикации:</b>	<b>Accepted for publication:</b>

Научная статья  
УДК 633.15:631.5

DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-72-85

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА СИЛОС НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РФ

Ольга Васильевна Чухина<sup>1</sup>, Анна Ивановна Демидова<sup>2</sup>, Николай Гурьевич Малков<sup>3</sup>  
Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина,  
Вологда, с. Молочное, Россия

Александр Николаевич Перекопский<sup>4</sup>✉  
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства  
(ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Диана Геннадьевна Уварова<sup>5</sup>, Вера Александровна Чистякова<sup>6</sup>  
Племенной завод - колхоз «Аврора», Вологодская область, Россия

<sup>1</sup>dekanagro@molochnoe.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0318-4549>

<sup>2</sup>vologdademidova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1249-2511>

<sup>3</sup>academy@molochnoe.ru

<sup>4</sup>aperekopskii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0998-2306>

<sup>5</sup>agro-avrora@yandex.ru

<sup>6</sup>agro-avrora@yandex.ru

**Аннотация.** Создание прочной кормой базы основано на рациональном использовании пахотных земель и луговых угодий. В системе мероприятий по укреплению кормовой базы и стабилизации кормопроизводства существенная роль отводится подбору надежных, высокоурожайных культур, способных стать источником дешевых и полноценных кормов. Одним из источников таких кормов может стать зеленая масса кукурузы. Цель исследования – выявить влияние погодных условий на урожайность зеленой массы кукурузы в чистых и смешанных посевах. Схема опыта включала следующие

варианты: кукуруза в чистом виде; кукуруза в смеси с кормовыми бобами; кукуруза в смеси с соей. Посев кукурузы проводился широкорядным способом с междурядьями 70x10 см в первой декаде мая 2020-2022 гг. сеялкой СУПН-8. Уход заключался в междурядных обработках и опрыскивании гербицидами. Учет урожая зеленой массы проводили в фазу молочно-восковой спелости кукурузы. Урожайность зеленой массы зависела от возделываемой культуры, складывающихся в течение вегетационного периода погодных условий и сочетания компонентов в смешанных посевах. Например, в 2020 году, благоприятном по теплу и влаге, наивысшая урожайность 39,7 т/га сформирована в посевах кукурузы в смеси с кормовыми бобами, наименьшая урожайность 32,4 т/га – у кукурузы в чистых посевах. В среднем за 3 года исследований наиболее высокое содержание сухого вещества было в смеси кукурузы с бобами и соей, которые обеспечили прибавку к контролю в 1,9 т/га. Содержание переваримого протеина в одной кормовой единице чистых посевов кукурузы составило 72,7 г, в смеси с бобами – 114,3 г, с соей – 116,0 г. Кукуруза, как в одновидовых посевах, так в смеси с другими сельскохозяйственными культурами обеспечивает в условиях Вологодской области высокопродуктивные агроценозы и является перспективной культурой для повышения интенсивности кормопроизводства региона.

**Ключевые слова:** кукуруза на силос, смешанные посевы, урожайность сухого вещества, технология возделывания

**Для цитирования:** Чухина О.В., Демидова А.И., Малков Н.Г., Перекопский А.Н., Уварова Д.Г., Чистякова В.А. Особенности технологии возделывания кукурузы на силос на Европейском Севере РФ // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 72-86 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-72-85>

Research article

Universal Decimal Code 633

## SPECIAL ASPECTS OF SILAGE CORN CULTIVATION TECHNOLOGY IN THE EUROPEAN NORTH OF THE RUSSIAN FEDERATION

Olga V. Chukhina<sup>1</sup>, Anna I. Demidova<sup>2</sup>, Nikolai G. Malkov<sup>3</sup>

Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia

Alexander N. Perekopsky<sup>4</sup>✉

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

Diana G. Uvarova<sup>5</sup>, Vera A. Chistyakova<sup>6</sup>

Breeding farm - collective farm “Aurora”, Vologda Region, Russia

<sup>1</sup>dekanagro@molochnoe.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0318-4549>

<sup>2</sup>vologdademidova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1249-2511>

<sup>3</sup>academy@molochnoe.ru

<sup>4</sup>aperekopskii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0998-2306>

<sup>5</sup>agro-avrora@yandex.ru

**Abstract.** The rational use of arable land and meadows is the basis for creating a solid fodder base. In the system of measures to strengthen the fodder base and stabilize fodder production, the selection of reliable, high-yielding crops that can become a source of cheap and nutritious fodder plays an important role. The green mass of corn may be such a source. The aim of the study was to determine the effect of weather conditions on the yield of green corn mass in single-crop and mixed-crop plantations. The experiment pattern included the following variants: corn as a single crop, corn mixed with field beans, and corn mixed with soy. The corn was sown in the first decade of May in 2020-2022 using the SUPN-8 seeder in a wide row system with a row spacing of 70 x 10 cm. The crop care included inter-row cultivation and herbicide spraying. Green mass yield was measured at the phase of milk-wax ripeness of corn. Green mass yield was a function of cultivated crop, weather conditions during the growing season, and the combination of components in mixed crop plantations. For example, in 2020, that was favorable in terms of heat and moisture, the highest yield of 49.7 t/ha was harvested in plantations of corn mixed with field beans, the lowest yield of 32.4 t/ha – in plantations with single corn. On average over the 3 years of the study, the highest dry matter content was found in the corn/field bean/soy mixes. They gave an increase of 1.9 tons/ha over the control. The content of digestible protein in one feed unit was 72.7 g from single-crop plantations, 114.3 g in the corn/field bean mix and 116.0 g in the corn/soybean mix. Corn, both in single-crop plantations and mixed with other agricultural crops provides highly productive agrocenoses in the Vologda Region. It is a promising crop for increasing the intensity of forage production in the region.

**Keywords:** silage corn, mixed-crop plantations, dry matter yield, cultivation technology

**For citation:** Chukhina O.V., Demidova A.I., Malkov N.G., Perekopsky A.N., Uvarova D.G., Chistyakova V.A. Special aspects of silage corn cultivation technology in the European North of the Russian Federation. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 72-86 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-72-85>

**Введение.** Создание прочной кормой базы основано на рациональном использовании пахотных земель и луговых угодий. В системе мероприятий по укреплению кормовой базы и стабилизации кормопроизводства существенная роль отводится подбору надежных, высокоурожайных культур, способных стать источником дешевых и полноценных кормов [1, 2].

В 2015-2022 гг. в Российской Федерации из 282 млн. т. сырья, используемого для производства сочных кормов, 182 млн. т, или 64,5% приходилось на кукурузу. В последние годы из-за снижения уровня интенсификации кормопроизводства, площади посева силосных культур, и кукурузы в частности, уменьшились. С 2015 по 2022 год площадь посева кукурузы на корм в России составляла около 1,4 млн. га, валовый сбор составлял 22,7-27,2 млн тонн при урожайности зеленой массы 18,5-20,0 т/га<sup>7</sup>.

В северных районах страны основным источником сырья для заготовки силоса остаются многолетние и однолетние травы [3, 4]. За последние десять лет в условиях Вологодской области агропредприятия достаточно успешно выращивают кукурузу на силос.

---

<sup>7</sup>Сельское хозяйство в России. 2023. Стат.сб./Росстат – С29. М. 2023. 103 с. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel\\_xoz-vo\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel_xoz-vo_2023.pdf)

Расширение посевов кукурузы в регионе стало возможным с появлением новых раннеспелых гибридов кукурузы, пригодных для данных погодных-климатических условий.

Так, кукуруза уже выращивается в Грязовецком, Вологодском, Междуреченском и Шекснинском округах, с 2021 года и в Великоустюгском округе, а с 2022 года — в Тотемском округе. Посевная площадь под культурой в сельхозпредприятиях составляет от 100 до 1200 га. Средняя урожайность зеленой массы кукурузы по области составила 274 ц/га<sup>8</sup>.

Общая площадь возделывания кукурузы в сельскохозяйственных предприятиях региона в 2023 году составили 5,4 тыс. га, что на 1 тыс. га больше в сравнении с 2022 годом.

С целью дальнейшего роста молочной продуктивности животных в регионе необходимо повышать урожайность кормовых культур, увеличивать переваримость кормов, повышать содержание в них обменной энергии. В связи с этим, в качестве одной из перспективных кормовых культур в условиях Вологодской области можно рассматривать кукурузу [3, 5, 6].

Главным условием получения высококачественного силоса из кукурузы является уборка ее в фазу восковой и молочно-восковой спелости зерна. Имеющееся разнообразие гибридов кукурузы по скороспелости позволяет получать початки молочно-восковой и восковой спелости зерна во многих регионах страны с различными тепловыми ресурсами.

К решению стоящих перед отраслью проблем, можно заключить, что как в ближайшие годы, так и в перспективе развитие и совершенствование кормовой базы будет идти по пути подбора устойчивых к биотическим и абиотическим стрессовым факторам культур и сортов. Такой подход продиктован значительным разнообразием природных условий, выраженной зональностью, неустойчивостью метеорологических факторов по годам, высокой вероятностью засушливых лет [7, 8].

В современных условиях агрономически, экологически и экономически наиболее оправданный путь повышения эффективности кормопроизводства, стабилизации урожаев в экстремальных ситуациях, улучшении качества и сбалансированности кормов является подбор кормовых культур, как в чистом виде, так и в смешанных посевах [9, 10].

В связи с этим перед нами была поставлена цель: выявить влияние погодных условий на урожайность зеленой массы различных гибридов кукурузы и подобрать зернобобовые компоненты к кукурузе, которые бы формировали высокую урожайность зеленой массы, отвечающую по питательности зоотехническим требованиям.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: определить продуктивность чистых и смешанных посевов кукурузы по урожайности зеленой массы; определить качество зеленой массы различных вариантов посевов кукурузы.

Кормовая ценность кукурузы, выращиваемой на силос, зависит как от гибридов, так и агротехники ее выращивания. На больших площадях ее можно выращивать только при наличии системы машин, позволяющих осуществлять комплексную механизацию. В агротехнике важную роль играют параметры сева, уровень минерального питания и пестицидные обработки [11, 12]. Например, густота посева для кукурузы на силос обычно выше, чем для кукурузы на зерно, чтобы увеличить общий объем биомассы. Также при

---

<sup>8</sup> Медведева А.Н. Вологодская область наращивает производство рапса и кукурузы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/rossiiskie-agronovosti/vologodskaja-oblast-naraschivaet-proizvodstvo-rapsa-i-kukuruzy.html>. (дата обращения: 14.11.2024)

выращивании силосных гибридов важно уделять внимание уровню азота для поддержания оптимального роста всего растения.

Цель выращивания кукурузы на силос состоит в достижении высокой урожайности при хорошей кормовой ценности. Питательная ценность определяется следующими показателями: долей зерна (початков) в растении, содержанием сухого вещества в растении, сырого протеина, сырого жира, сахара, концентрацией обменной энергии, хорошей переваримостью и т.д. Вместе с тем короткий вегетационный период порядка 85-90 дней и заморозки обязывают сельскохозяйственные предприятия убирать данную культуру на силос в фазу молочной спелости при достижении растением влажности 75-80 %, в результате этого заготовка силоса сопровождается значительными потерями питательных веществ. Помимо этого, питательные вещества такого силоса зачастую не соответствуют биологическим потребностям животных, особенно по протеину, это, в свою очередь, значительно снижает их продуктивность. Поэтому возникает необходимость создания такой технологии возделывания кукурузы, при которой, не снижая сбора вегетативной массы, можно увеличить в силосе содержание сухого вещества, а также повысить его качество и питательность<sup>9</sup>.

Темпы роста и развития кукурузы находятся в прямой зависимости от температурного режима и влагообеспеченности [9, 11].

**Материалы и методы.** Исследования проводились в производственном опыте в трёхкратной повторности в Племенном заводе-колхозе «Аврора» Вологодской области Грязовецкого муниципального округа в 2020-2022 годах.

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Кукуруза в чистом виде;
2. Кукуруза в смеси с кормовыми бобами;
3. Кукуруза в смеси с соей кормовой.

Посевы кукурузы в чистом виде приняты за стандарт (контрольный вариант). Исследования и наблюдения в опыте проводились по методике Государственного сортоиспытания<sup>10</sup>. Учет урожая силосуемой массы проводили в фазу молочно-восковой спелости початков кукурузы сплошным методом с последующим взвешиванием зеленой массы на весах. Химический анализ растительных образцов зеленой массы и силоса проводили в СЗНИИМЛПХ имени А.С. Емельянова в соответствии с существующими ГОСТами. Статистическая обработка результатов исследований проведена методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [13].

Опыт закладывался в полевом севообороте. Предшественником служил ячмень яровой. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая с рН 5,4, содержанием подвижного фосфора 242 мг/кг, обменного калия 251 мг/кг почвы.

Подготовка почвы осенью заключалась в следующем: после уборки ячменя вносилось 70 т/га органических удобрений, зяблевая вспашка проводилась на всю глубину пахотного горизонта 28-30 см агрегатом: трактор Кировец К-742М + полунавесной оборотный плуг Lemken EuroDiamant 8 с установленными предплужниками. Благодаря приему эффективно уничтожаются прорастающие сорняки. Также прием позволяет хорошо распределить

<sup>9</sup> Оноприенко Н.А., Мандрыкина Н.А., Оноприенко В.В. Приготовление сенажа, кукурузного силоса и консервирование плющеного зерна кукурузы. Рекомендации производству. Краснодар: СКНИИЖ. 2012. 30 с.

<sup>10</sup> Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.: Госагропром СССР. 1989. 194 с. URL: [https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodica\\_2.pdf](https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodica_2.pdf)

основное внесение удобрений в обрабатываемом слое почвы.

Весной выполняется культивация в два следа. Первый след накладывается по диагонали поля на глубину 10-12 см агрегатом К-743М+КБМ-15-4П- Ш1К-ВС. Культиватор не забивается и стабильно держит глубину обработки на полях с растительными остатками и сорной растительностью благодаря четырехрядной установке усиленных S-образных пружинных стоек. Два ряда штригельных борон и прутковый каток культиватора служат для выравнивания поверхности поля после рыхлящих рабочих органов, разрушения почвенных комков и подповерхностного прикатывания на глубину посева, что позволяет сохранить влагу. Второй след культивации выполняется на глубину заделки семян 5 см поперек зяблевой вспашки с заделкой внесенных вразброс минеральных удобрений. Доза внесения минеральных удобрений (в физическом весе) – 2 ц/га диаммофоски ( $N_{20}P_{52}K_{52}$ ), сульфата аммония гранулированного с нормой 1,0 ц/га и карбамида 1,5 ц/га прицепной машиной для внесения минеральных удобрений Amazone ZG-B Super вместимостью 8200 литров с шириной захвата 10-36 метров.

Посев кукурузы проводился широкорядным способом с междурядьями 70x13 см (расстояние в рядке зависит от гибрида) с нормой высева кукурузы гибрид F1 «Воронежская 160СВ» – в чистом виде 25 кг/га; кукуруза в смеси с кормовыми бобами: кукуруза – 20 кг/га, бобы сорта «Узуновские» – 30 кг/га; кукуруза в смеси с соей: кукуруза – 30 кг/га, соя сорта «Припять» - 60 кг/га. Посев проводили во второй декаде мая пропашной сеялкой Maschio Gaspardo MTR8 с одновременным внесением минерального удобрения - диаммофоска 1,0 ц/га. За контроль принят однокомпонентный посев кукурузы. Повторность трехкратная.

Опрыскивание посевов кукурузы (рис. 1) осуществлялось тракторным агрегатом Кейс-155 + прицепной опрыскиватель Amazone UX Super 5200 шириной захвата 21 метр. Отличительной особенностью выполнения операции является использование широкозахватного агрегата для условий Европейского Севера.



Рис. 1. Технологический процесс опрыскивания посевов кукурузы

Fig. 1. Technological process of spraying corn plantations

Уход заключался в гербицидной обработке универсальным послевсходовым препаратом МайсТер Пауэр, МД (действующее вещество: Форамсульфурон + Йодосульфурон-метил-натрий + тиенкарбазон-метил + антидот ципросульфамид 31,5 + 1 + 10 + 15 г/л) с дозой внесения 1,3 л/га – в одновидовых посевах кукурузы в фазу 3-7 листьев кукурузы и в смешанных посевах – препаратом Корсар, ВРК (действующее вещество: бентазол 480г/л). В течение вегетации проводилась некорневая подкормка КАС 28-й.

В годы исследований сложились благоприятные погодные условия для роста и развития кукурузы в чистых и смешанных посевах на силос. Погодные условия

представлены через гидротермический коэффициент (ГТК, по Г.Т. Селянинову). В 2020 году в мае, июле наблюдалось количество осадков чуть выше среднего многолетнего значения на фоне среднесуточных температур, близких к этому значению. В остальные периоды вегетации 2020 года погодные условия сложились близкие к средним многолетним данным (СМД) (рис. 2).

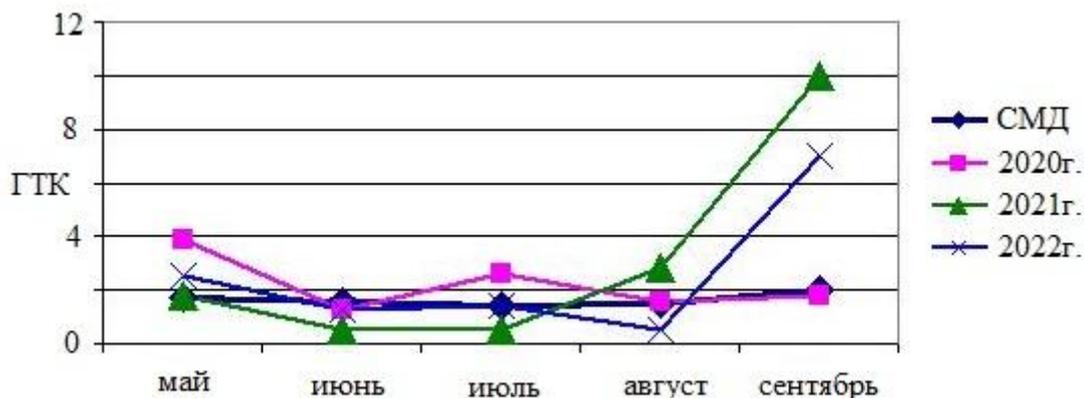


Рис. 2. Гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову в сравнении со средними многолетними данными

Fig. 2. Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) in comparison with the average long-term data

В 2021 году наблюдалось недостаточное количество осадков на фоне высоких среднесуточных температур, причём, на протяжении всего весенне-летнего периода вегетации культуры, поэтому ГТК был значительно ниже среднего многолетнего значения. В 2022 году наоборот, ГТК соответствовал на протяжении длительного периода многолетнему значению, лишь в сентябре наблюдался значительно выше средних многолетних данных, т.к. выпало большее количество осадков по сравнению со средним многолетним значением на фоне ниже среднего значения среднесуточных температур. Важно, что благоприятные условия сложились в критические периоды роста и развития кукурузы, и была получена достаточно высокая урожайность культуры.

**Результаты.** Учет урожая зеленой массы проводили в фазу молочно-восковой спелости кукурузы (рис. 3). Урожайность зеленой массы зависела от возделываемой культуры, складывающихся в течение вегетационного периода погодных условий и сочетания компонентов в смешанных посевах (табл. 1).



Рис. 3. Спелость кукурузы перед уборкой зелёной массы

Fig. 3. Corn ripeness before the green mass harvest

Таблица 1. Урожайность зеленой массы, т/га  
Table 1. Productivity of green mass, t/ha

Вариант	2020г.	2021г.	2022г.	Среднее
Кукуруза в чистом виде	20,7	31,4	35,0	29,0
Кукуруза в смеси с кормовыми бобами	39,7	41,0	45,8	42,2
Кукуруза в смеси с кормовой соей	38,0	43,0	44,4	41,8
НСР <sub>05</sub>	1,8	3,3	3,3	

В 2020 году, благоприятном по погодным условиям, наивысшая урожайность 39,7 т/га сформирована в посевах кукурузы в смеси с кормовыми бобами, наименьшая урожайность 20,7 т/га – у кукурузы в чистых посевах. При замене кормовых бобов на сою урожайность снизилась несущественно, на 1,7 т/га.

В связи с тем, что заготавливаемая зеленная масса имеет разную влажность, сбор сухого вещества в чистых и смешанных посевах кукурузы также разнообразен. Урожайность сухой массы кукурузы в чистых и смешанных посевах представлена в табл. 2.

Таблица 2. Урожайность сухой массы кукурузы, т/га  
Table 2. Dry matter yield of corn, t/ha

Вариант	2020 год		2021год		2022год		Средняя	
	т/га	+ - к контролю	т/га	+ - к контролю	т/га	+ - к контролю	т/га	+ - к контролю
Кукуруза в чистом виде	3,8	-	5,4	-	6,0	-	5,1	-
Кукуруза в смеси с бобами	6,6	+2,8	6,8	+1,4	7,5	+1,5	7,0	+1,9
Кукуруза в смеси с соей	6,3	+2,5	7,2	+1,8	7,4	+1,4	7,0	+1,9
НСР <sub>05</sub>	0,3		0,5		0,5			

В 2020 году возделывание кукурузы в смешанных посевах с бобами и с соей обеспечили существенную прибавку урожая сухого вещества, 2,8 и 2,5 т/га, соответственно. Возделывание кукурузы в смеси с бобами дало высокую существенную прибавку урожая по сравнению с возделыванием кукурузы в смеси с соей, равной 0,3 т/га.

В 2021 году в связи с благоприятными природными условиями урожайность сухой массы кукурузы в чистых посевах увеличилась на 1,9 т/га в сравнении с 2020 годом.

Смешанные посевы в 2021 году так же, как и в 2020 году, превосходили посевы в чистом виде в 1,3 раз, однако разница между вариантами на 0,4 т/га была в пользу варианта с соей кормовой. В 2022 году возделывание кукурузы в смешанных посевах с бобами и с соей обеспечили в связи с хорошими погодными условиями существенную прибавку урожая сухого вещества – 1,5 и 1,4 т/га, соответственно, в сравнении с контролем.

В среднем за 3 года исследований наиболее высокое содержание сухого вещества (СВ) было в смеси кукурузы с бобами и соей, которые обеспечили прибавку к контролю в 1,9 т/га.

Химический состав зеленой массы, в первую очередь, зависит от видов растений, входящих в кормосмесь. Качество зеленой массы представлено в табл. 3.

Таблица 3. Качество зеленой массы кукурузы (среднее за 2020-2022 гг.)

Table 3. Quality of corn green mass (average for 2020-2022)

Вариант	% от абсолютно сухого вещества					Содержание переваримого протеина в 1к.ед., г	Обменная энергия, МДж/кг
	сырой протеин	сырой жир	сырая зола	сырая клетчатка	БЭВ		
Кукуруза в чистом виде	11,8	3,6	7,8	27,1	49,8	72,7	9,5
Кукуруза в смеси с бобами	15,4	4,3	10,1	18,7	51,9	114,3	10,8
Кукуруза в смеси с соей	15,3	4,6	10,3	18,0	51,0	116,0	10,7

Полученная зеленая масса, как из монокультуры кукурузы, так и из её смеси с бобами и с соей имеет высокое качество. Это отражают такие показатели, как содержание переваримого протеина, обменной энергии, сухого вещества (более 300 г/кг), сырого протеина (не менее 80 г/кг СВ), сахара, жира, клетчатки. Содержание обменной энергии в чистых посевах кукурузы составило 9,5 МДж/кг, в смеси с бобами – 10,8 М Дж/кг, с соей – 10,7 МДж/кг.

**Обсуждение.** Основными факторами получения сырья для качественного кукурузного силоса согласно [14, 15] являются: оптимальное внесение удобрений, содержание максимального количества сухого вещества в исходной зеленой массе, при котором ферментация и созревание силоса будет ещё активной (фаза молочно-восковой и начало фазы восковой спелости зерна); использование правильно подобранных гибридов кукурузы, которые обеспечивают наличие питательных веществ исходной массы и повышают в итоге питательность силоса [16].

В 2021 году урожай кукурузы в чистых посевах составил 31,4 т/га (табл. 1), а урожайность смешанных посевов кукурузы также имеет небольшую разницу в 2,0 т/га. В 2022 году была получена наивысшая урожайность кукурузы и изучаемых травосмесей в 35-

45,8 т/га. Причем, во все годы исследований, в 2020, 2021 и 2022 годах, урожайность кукурузы в травосмесях различалась несущественно. Травосмеси обеспечили существенную прибавку в урожайности зелёной массы по сравнению с посевами кукурузы в чистом виде, как и отмечено в [17].

В среднем за 3 года исследований (табл.3) в смешанных посевах по содержанию жира колебания по вариантам весьма незначительны: от 3,6 до 4,6% от сухого вещества. Более высокое содержание жира – 4,6% в посевах кукурузы в смеси с соей. Низкое содержание жира – 3,6% – в чистых посевах кукурузы. Наибольшее содержание клетчатки в монокультуре – 27,1%, наименьшее – 18,0% в смеси кукурузы с соей. По содержанию безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), главными составляющими, которых являются крахмал, сахар и пентозаны, в смешанных посевах, как и по большинству других показателей химического состава, существенных различий не обнаружено. Аналогичные сведения приводятся и в [18, 19].

По содержанию переваримого протеина в 1 к.ед. стабильно лидировали смеси кукурузы с бобами и с соей (табл.3) – 114,3 и 116,0г, соответственно, различия между которыми были незначительными (1,5%). Самое низкое содержание переваримого протеина было у кукурузы в чистом виде – только 72,7 г/к.ед.

**Заключение.** Урожайность зелёной массы кормовых культур в чистых и смешанных посевах была выше средней по области и составила от 32,2 до 45,5 т/га в контрольном варианте и в варианте с кукурузой в смеси с бобами. Наилучшие показатели качества получены в зелёной массе кукурузы с бобами. Племенной завод-колхоз «Аврора» по итогам 2022 года занял первое место в Вологодской области в номинации «Лучший силос из кукурузы». Таким образом, кукуруза как в одновидовых посевах, так в смеси с другими сельскохозяйственными культурами обеспечивает в условиях Вологодской области высокопродуктивные агроценозы и является перспективной культурой для повышения интенсивности кормопроизводства региона.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Архипов М.В., Иванов А.И., Сеницына С.М. и др. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе. СПб: СЗЦПО-ИАЭП. 2015. 184 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25710655>
2. Тимофеев М.В., Малков Н.Г., Перекопский А.Н., Демидова А.И., Чухина О.В. Анализ технико-технологических решений производства зерносенажа в условиях Северо-Западного региона // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 1(110). С. 120-133. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-120-133>
3. Гусаров И.В., Фоменко П.А., Богатырева Е.В. Химический состав и питательность кормов Вологодской области за 2020 год. Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН. 2021. 37 с.
4. Чухина О.В., Демидова А.И., Розова М.А., Довлатбеян К.Г., Науменко А.А. Урожайность зелёной массы и сбор «сырого» белка различными сортами клевера лугового в Вологодской области // Сельское и лесное хозяйство: инновационные направления развития. Сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. (Вологда, Молочное, 8 декабря 2020 г.). Вологда: ВГМХА. 2021. С. 64-68. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44739810>
5. Богатырева Е. В., Фоменко П.А., Щекутьева Н.А. Характеристика кукурузного силоса, заготовленного на территории Вологодской области // Молочнохозяйственный вестник. 2023. №2 (50). С. 60-75. [https://doi.org/10.52231/2225-4269\\_2023\\_2\\_60](https://doi.org/10.52231/2225-4269_2023_2_60)

6. Дронов А.В., Ланцев В.В. Оценка результатов экологического сортоиспытания гибридов кукурузы различных групп спелости в условиях Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. 2017. №4(62). С. 3-7. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29842114>
7. Сидорова Е. К. Сравнительная оценка гибридов кукурузы на силос разных групп спелости отечественной и зарубежной селекций в условиях Орловской области // Научный журнал молодых ученых. 2022. №3(28). С. 52-59. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49544058>
8. 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>
9. Перевязка Д.С., Перевязка Н.И., Супрунов А.И. и др. Продуктивность и показатели качества гибридов кукурузы на силос в почвенно-климатических условиях Центрально-Чернозёмного региона // Научный журнал КубГАУ. 2022. №184(10). С. 191-214. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-184-017>
10. Окбоев Ф.Б., Аллашов Б.Д., Бонии М.А. Селекция зарубежных образцов кормовых культур // Science and innovation. 2024. Спец. Вып. 47. С. 637-641. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13859754>
11. Пыхтина Л.А., Улитко В.Е. Качество силоса из кукурузы разной технологии ее выращивания и силосования // Вестник Ульяновской ГСХА. 2012. №4 (20). С. 104-109. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20682088>
12. Мингалев С.К. Влияние густоты стояния, срока посева и приемов ухода на продуктивность гибридов кукурузы в условиях Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. 2018. №5 (172). С. 38-43. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170364>
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.
14. Ferraretto L.F., Fonseca A.C., Sniffen C.J. Effect of corn silage hybrids differing in starch and neutral detergent fiber digestibility on lactation performance and total-tract nutrient digestibility by dairy cows // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98 (1). P. 395-405. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8232>
15. Подобед Л.И. Как правильно приготовить качественный силос // Эффективное животноводство. 2024. №4(194). С. 21-24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67960151>
16. Liu Y., Wang G., Wu H., Meng Q., Khan M.Z., Zhou Z. Effect of hybrid type on fermentation and nutritional parameters of whole plant corn silage // Animals. 2021. Vol. 11(6),1587. <https://doi.org/10.3390/ani11061587>
17. Зиновенко А.Л., Гуринович Ж.А., Шорец Р.Д., Шибко Д.В. Сравнительная продуктивность смешанных посевов кукурузы и качество силоса // Мелиорация. 2009. №2. С. 176-181. URL: [https://melio.belal.by/jour/article/view/416?locale=ru\\_RU](https://melio.belal.by/jour/article/view/416?locale=ru_RU)
18. Милимонка А., Хилгерс Б., Шмидт К., Сун Ю. Влияние различных добавок и даты сбора урожая на характеристики брожения кукурузного силоса // Эффективное животноводство. 2024. №5(195). С. 62-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=72179587>
19. Багдалова А.З., Асташов А.Н., Пронудин К.А. Урожайность смешанных посевов злаковых с высокобелковыми культурами // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 3(129). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.10>

## REFERENCES

- 1 Arkhipov M.V., Ivanov A.I., Sinitsina S.M. et al. Methodological and information and technological bases of forage production development in the North-West Region. Saint Petersburg: North-West Centre for Interdisciplinary Research of Food Supply Problems-IEEP. 2015. 184 p. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25710655>
- 2 Timofeev M.V., Malkov N.G., Perekopsky A.N., Demidova A.I., Chukhina O. V. Analysis of technical and technological solutions for grain haylage production in the North-West Region. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2022;1(110):120-133. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-120-133>
- 3 Gusarov I.V., Fomenko P.A., Bogatyreva E.V. Chemical composition and nutrition of fodder of the Vologda Oblast for 2020. Vologda: Vologda Research Centre of RAS. 2021. 37 p.
- 4 Chukhina O.V., Demidova A.I., Rozova M.A., Dovlatbekyan K.G., Naumenko A.A. Yield of green mass and collection of “crude” protein by different varieties of meadow clover in the Vologda Oblast/ In: *Agriculture and Forestry: Innovative Directions of Development. Proc. All-Russian Sci. Prac. Conf. (Vologda, Molochnoye, 8 December 2020)*. Vologda: VGMkHA. 2021: 64-68 (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44739810>
- 5 Bogatyreva E.V., Fomenko P.A., Shchekutyeva N.A. Characteristics of corn silage produced on the territory of the Vologda Region. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik = Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2023;2 (50): 60-75. (In Russ.) [https://doi.org/10.52231/2225-4269\\_2023\\_2\\_60](https://doi.org/10.52231/2225-4269_2023_2_60)
- 6 Dronov A.V., Lancev V.V. Evaluation of the results of ecological cultivar testing of maize hybrids of various ripening groups in the Bryansk Region. *Vestnik Bryanskoi GSKhA = VESTNIK of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2017;4(62): 3-7. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29842114>
- 7 Sidorova E. K. Comparative evaluation of corn hybrids for silage of different ripeness groups of domestic and foreign selections in the conditions of the Orel Region. *Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh = Scientific Journal of Young Scientists*. 2022;3(28):52-59. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49544058>
- 8 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>
- 9 Perevyazka D.S.1, Perevyazka N.I.1, Suprunov A.I. et al. Productivity and quality indicators of corn hybrids for silage in soil and climatic conditions of the Central - Chernozem Region in Russia. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2022;184:191-214. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-184-017>
- 10 Okboev F.B., Allashov B.D., Bonii M.A. Selection of foreign samples of fodder crops. *Science and Innovation* 2024. Special Issue 47: 637-641. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.13859754>
- 11 Pykhtina L.A., Ulytiko V.E. Quality of silage from corn of different technology of its cultivation and ensiling. *Vestnik Ulyanovskoi GSKhA = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2012;4 (20): 104-109. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20682088>
12. Mingalev S.K. Influence of standing density, sowing period and care practices on the productivity of corn hybrids in the Middle Urals. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018;5 (172):38-43. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170364>

13. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow:Agropromizdat. 1985. 351 p. (In Russ.)
- 14 Ferraretto L.F., Fonseca A.C., Sniffen C.J. Effect of corn silage hybrids differing in starch and neutral detergent fiber digestibility on lactation performance and total-tract nutrient digestibility by dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98 (1): 395-405. (In Eng.) <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8232>
- 15 Podobed L.I. How to properly prepare quality silage. *Effektivnoe zhivotnovodstvo = Efficient Animal Husbandry*. 2024;4(194):21-24. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67960151>
- 16 Liu Y., Wang G., Wu H., Meng Q., Khan M.Z., Zhou Z. Effect of hybrid type on fermentation and nutritional parameters of whole plant corn silage. *Animals*. 2021; 11(6),1587. (In Eng.) <https://doi.org/10.3390/ani11061587>
- 17 Zinovenko A.L., Gurinovich Zh.A., Shorets R.D., Shibko D.V. Comparative productivity of corn plantings mixed with leguminous crops and quality of silages. *Land Reclamation*. 2009;(2):176-181. (In Russ.) URL: [https://melio.belal.by/jour/article/view/416?locale=ru\\_RU](https://melio.belal.by/jour/article/view/416?locale=ru_RU)
- 18 Milimonka A., Hilgers B., Schmidt K., Sun Y. Effect of different additives and harvest date on fermentation characteristics of corn silage. *Effektivnoe zhivotnovodstvo = Efficient Animal Husbandry*. 2024;5(195):62-63. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=72179587>
- 19 Bagdalova A. Z., Astashov A. N., Pronudin K. A. The yield of mixed crops of cereal and high-protein crops. *International Research Journal*. 2023;3(129). (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.10>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<p><b>Ольга Васильевна Чухина</b> канд. с.-х. наук, доцент, декан факультета агрономии и лесного хозяйства, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, г. Вологда, Россия <a href="mailto:dekanagro@molochnoe.ru">dekanagro@molochnoe.ru</a>; <a href="https://orcid.org/0000-0003-0318-4549">https://orcid.org/0000-0003-0318-4549</a></p>	<p><b>Olga V. Chukhina</b> Cand. Sc. (Agriculture), Assistant Professor, Dean of the Faculty of Agronomy and Forestry, Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia <a href="mailto:dekanagro@molochnoe.ru">dekanagro@molochnoe.ru</a>; <a href="https://orcid.org/0000-0003-0318-4549">https://orcid.org/0000-0003-0318-4549</a></p>
<p><b>Анна Ивановна Демидова</b> канд. с.-х. наук, доцент кафедры растениеводства, земледелия и агрохимии, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, г. Вологда, Россия <a href="mailto:vologdademidova@mail.ru">vologdademidova@mail.ru</a>; <a href="https://orcid.org/0000-0002-1249-2511">https://orcid.org/0000-0002-1249-2511</a></p>	<p><b>Anna I. Demidova</b> Cand. Sc. (Agriculture), Assistant Professor of the Department of Plant Growing, Arable Farming and Agrochemistry, Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia <a href="mailto:vologdademidova@mail.ru">vologdademidova@mail.ru</a>; <a href="https://orcid.org/0000-0002-1249-2511">https://orcid.org/0000-0002-1249-2511</a></p>
<p><b>Николай Гурьевич Малков</b> канд. техн. наук, доцент, ректор, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, г. Вологда, Россия <a href="mailto:academy@molochnoe.ru">academy@molochnoe.ru</a></p>	<p><b>Nikolay G. Malkov</b> Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, rector, Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia <a href="mailto:academy@molochnoe.ru">academy@molochnoe.ru</a></p>
<p><b>Александр Николаевич Перекопский</b></p>	<p><b>Alexander N. Perekopsky</b></p>

канд. техн. наук, доцент, отдел агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия. aperekopskii@mail.ru; <a href="https://orcid.org/0000-0003-0998-2306">https://orcid.org/0000-0003-0998-2306</a>	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, Saint Petersburg, Russia aperekopskii@mail.ru; <a href="https://orcid.org/0000-0003-0998-2306">https://orcid.org/0000-0003-0998-2306</a>
<b>Диана Геннадьевна Уварова</b> агроном, ПЗК «Аврора», Россия. agro-avrora@yandex.ru	<b>Diana G. Uvarova</b> agronomist, Breeding plant - collective farm "Aurora", Russia. agro-avrora@yandex.ru
<b>Вера Александровна Чистякова</b> главный агроном, ПЗК «Аврора», Россия. agro-avrora@yandex.ru	<b>Vera A. Chistyakova</b> chief agronomist, Breeding plant - collective farm "Aurora", Russia. agro-avrora@yandex.ru
<b>Заявленный вклад авторов</b>	<b>Authors' contribution</b>
О.В. Чухина – руководство исследованием, концептуализация. А.И. Демидова – создание черновика рукописи. Н.Г. Малков – формальный анализ, редактирование. А.Н. Перекопский – создание окончательной версии (доработка). Д.Г. Уварова – администрирование данных, программное обеспечение. В.А. Чистякова – постановка опытов.	O.V. Chukhina – research management, conceptualization. A.I. Demidova – creation of a draft manuscript.  N.G. Malkov – formal analysis, editing.  A.N. Perekopsky – creation of the final version (revision). D.G. Uvarova – data administration, software.  V.A. Chistyakova – staging experiments.
<b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	<b>Conflict of interests</b> The authors declare no conflict of interests
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 21.11.2024	<b>Received:</b> 21.11.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 03.12.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 03.12.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В  
ОРГАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Евгений Александрович Мурзаев<sup>1✉</sup>, Илья Николаевич Шаблыкин<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665

<sup>2</sup>shablykin@list.ru, ORCID: 0009-0004-4823-7485

**Аннотация.** В ближайшие 10-15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации в области сельского хозяйства будут научные направления, которые обеспечивают переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству. Одним из направлений развития сельского хозяйства, отвечающего требованиям представленных приоритетов, является органическое производство. Для достижения его конкурентоспособности требуются комплексные агротехнологии, как средства управления агроценозом конкретной культуры в агроландшафте. Рациональным методом достижения поставленных задач является разработка и внедрение интеллектуализированных систем мониторинга и управления, которые позволяют контролировать ход технологических процессов, прогнозировать их развитие и оптимизировать параметры с целью достижения максимальной экологической безопасности и экономической эффективности. Цель исследований – обосновать научные принципы создания интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами, адаптированных для органического производства продукции растениеводства. Рассмотрены основополагающие научные принципы создания эффективных и современных интеллектуализированных систем мониторинга и управления. Проведена интерпретация основных принципов согласно требований к органическому производству растениеводческой продукции. Представлены основные показатели мониторинга и средства их измерения в виде морфологической матрицы. Установлено, что для эффективной работы интеллектуализированной системы мониторинга и управления необходимо описание программной оболочки для визуализации и обработки данных, а также интеграция различных компонентов системы. Разработаны блок-схемы алгоритмов управления, которые являются базовыми элементами программной оболочки, регламентирующие последовательность действий при управлении технологическими процессами до возделывания культурных растений и во время их вегетации в органическом производстве продукции растениеводства.

**Ключевые слова:** интеллектуализированные система мониторинга, органическое производство, управление, технологический процесс.

**Для цитирования:** Мурзаев Е.А., Шаблыкин И.Н. Научные принципы разработки интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами

Research article

Universal Decimal Code УДК 631.95

## SCIENTIFIC PRINCIPLES FOR CREATING INTELLECTUALIZED SYSTEMS TO MONITOR AND CONTROL TECHNOLOGICAL PROCESSES IN ORGANIC PRODUCTION

Evgeniy A. Murzaev<sup>1✉</sup>, Pliya N. Shablykin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665

<sup>2</sup>shablykin@list.ru, ORCID: 0009-0004-4823-7485

**Abstract.** In the next 10-15 years, the priorities of scientific and technological development of agriculture in the Russian Federation will be scientific directions that ensure the transition to a highly productive and environmentally friendly agriculture and aquaculture. Organic production is one of the directions of agricultural development that is in line with the requirements of the list of priorities. To achieve the competitiveness of organic production requires integrated agro-technologies as a means of managing the agrocenosis of a particular crop in the agro-landscape, adapted to local soil and climatic conditions and including the full range of necessary means of production, linked in a single digital system with appropriate models, algorithms and databases. A rational method of achieving the set tasks is the creation and implementation of intelligent monitoring and management systems that control the course of technological processes, predict their development, and optimize their parameters in order to achieve the best possible environmental safety and economic efficiency. The study aim was to develop and substantiate scientific principles of creation of intellectualized systems of monitoring and control of technological processes, adapted for organic crop production.

The study considered the basic scientific principles of creation of state-of-the-art and effective intellectualized monitoring and control systems. The study interpreted these principles in terms of organic crop production requirements. The paper presents the basic monitoring indicators and their measurement instruments in the form of a morphological matrix. The study established that the effective operation of an intellectualized monitoring and management system needed a description of the software shell for data visualization and processing, as well as the integration of various system components. The study developed the block diagrams of control algorithms, which are the basic elements of the software shell and regulate the sequence of control actions of technological processes before crop cultivation and during crop vegetation period in organic crop production.

**Key words:** intelligent monitoring system, organic production, management, technological process

**For citation:** Murzaev E.A., Shablykin I.N. Scientific principles for creating intellectualized systems to monitor and control technological processes in organic production // AgroEcoEngineering. 2024; 4(121): 86-101 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-86-100>

**Введение.** Органическое сельское хозяйство Российской Федерации – это совокупность видов экономической деятельности по производству и переработке органической сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, в котором применяются способы, методы и технологии, направленные на обеспечение благоприятного состояния окружающей среды. Основными требованиями, которые изложены в нормативно-справочной документации<sup>11</sup>, ведения органического производства продукции растениеводства являются:

- обособление площадей, отведенных под производство органической продукции растениеводства от площадей, на которых возделываются культурные растения по прочим технологиям, использующих химические средства производства;
- исключение применения химических средств защиты и стимулирования роста и развития растений, кроме тех, которые разрешены к использованию при органическом производстве согласно законодательству Российской Федерации
- исключение применения минеральных удобрений, кроме тех, которые разрешены к использованию при органическом производстве согласно законодательству Российской Федерации;
- исключение перемешивания готовой органической продукции с продукцией, полученной по прочим технологиям, использующих химизацию;
- исключение использования при хранении и транспортировке органической продукции упаковки, которая может привести к её загрязнению и потере качеству.

Производство органической продукции является актуальным направлением, позволяющим решать ряд проблем агропромышленного комплекса, рисунок 1 [1, 2].



Рис.1. Проблемы АПК, решаемые при использовании органических форм хозяйствования

<sup>11</sup> Федеральный закон от 3 августа 2018 г. № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/72005268/>; ГОСТ Р 56104-2014 «Продукты пищевые органические. Термины и определения» [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113488>; ГОСТ Р 56508-2015 «Продукция органического производства, Правила производства, хранения, транспортирования» [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121688>; ГОСТ Р 57022-2016 «Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства» [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138287>; ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации». [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141713> (дата обращения 19.08.2024)

Fig. 1. Solving the problems of the agro-industrial complex by using organic farming methods

В условиях роста спроса на органическую продукцию [3] и ужесточения требований к безопасности и экологическому контролю сельскохозяйственного производства [4] возникает необходимость в разработке новых, более эффективных методов мониторинга [5] и управления технологическими процессами [6, 7, 8], включающих в себя современные цифровые решения [9, 10]. Одним из таких методов является разработка и внедрение интеллектуализированных систем мониторинга и управления [11, 12], которые позволяют контролировать ход технологических процессов, прогнозировать их развитие и оптимизировать параметры с целью достижения максимальной экологической безопасности и экономической эффективности.

Интеллектуализированные системы мониторинга и управления технологическими процессами позволяют достичь рационального управления в сельском хозяйстве и органическом производстве. Эти системы используют данные в реальном времени и алгоритмы искусственного интеллекта для оптимизации работы оборудования, контроля состояния почвы, растений и других объектов сельскохозяйственного производства. С помощью таких систем можно добиться более точного распределения ресурсов, минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и снизить затраты на производство.

Для разработки эффективных интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами необходимо создать научно-обоснованный «фундамент», обеспечивающий рациональную структуру процесса проектирования таких систем, который рационально представить в форме научных принципов.

Цель исследований – обосновать научные принципы создания интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами, адаптированных для органического производства продукции растениеводства.

#### **Материалы и методы**

Научные принципы – это основные, фундаментальные положения, правила или закономерности, на которых базируется научное знание и которые лежат в основе научных исследований и методов. Они определяют подходы к исследованию, анализу и интерпретации явлений и служат основой для построения научных теорий и моделей.

Основные принципы, на которых строятся интеллектуализированные системы мониторинга и управления технологическими процессами представлены на рис. 2. Эти принципы формулируются с учетом универсальности и применимости к широкому спектру отраслей при этом обеспечивая структурированный подход к разработке и внедрению таких систем, позволяя учитывать все аспекты и параметры, важные для эффективного управления и оптимизации производственных процессов [13]:

<b>Принцип системности</b>	• Рассмотрение производства как «единого организма»
<b>Принцип интеграции</b>	• Объединение разных технологий
<b>Принцип адаптивности</b>	• Гибкость системы под изменяющиеся условия
<b>Принцип интеллектуализации</b>	• Использование искусственного интеллекта
<b>Принцип стандартизации</b>	• Единые требования и нормы
<b>Принцип безопасности</b>	• Защита данных
<b>Принцип энергоэффективности</b>	• Рационализация энергозатрат
<b>Принцип эргономичности</b>	• Удобство использования
<b>Принцип экономической эффективности</b>	• Оптимизация затрат и достижение выгоды

Рис. 2. Общие принципы создания интеллектуализированных систем  
 Fig. 2. General principles for setting up monitoring systems

Все рассмотренные принципы являются основополагающими для создания эффективных и современных интеллектуализированных систем мониторинга и управления. Однако для эффективного применения интеллектуализированных систем мониторинга в органическом производстве необходимо интерпретировать ряд представленных принципов к требованиям его ведения [14] в конкретных почвенно-климатических условиях [15, 16, 17].

**Результаты.** Научные принципы создания интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами в органическом производстве ориентированы на индивидуализацию задач органического сельского хозяйства и включают в себя:

1. Принцип системности: органическое производство рассматривается как сложная природная экосистема, включающая взаимодействие почвы, растений, животных, микроорганизмов и окружающей среды, важно учитывать все взаимосвязи и влияния между этими элементами для создания сбалансированной и устойчивой системы управления.

2. Принцип интеграции: подразумевает открытость разрабатываемой системы для расширения функционала за счет подключения новых приборов и устройств. Фактически, система должна быть способна к беспрепятственной интеграции новых компонентов. Это достигается за счет модульной структуры программного обеспечения, позволяющего гибко адаптировать систему к изменяющимся требованиям производства и интегрировать разнотипные цифровые и автоматизированные устройства без существенных доработок.

3. Принцип адаптивности к природным условиям: таким как изменение климата, сезонные колебания и различия в почвенных условиях. Это достигается через использование алгоритмов машинного обучения и адаптивного управления, а также через использования устройств с расширенной номенклатурой контролируемых показателей с широким диапазоном измерений и дискретностей фиксации данных.

4. Принцип интеллектуализации в условиях ограничений: подразумевает делегирование части управленческих функций искусственному интеллекту. На основе непрерывного потока данных, поступающих от множества датчиков и устройств, система самостоятельно анализирует текущее состояние агроэкосистемы в зависимости от

применяемых технологических процессов и операций, выявляет отклонения от заданных параметров и принимает оптимальные решения для их корректировки. Критически важным аспектом является способность системы к машинному обучению, позволяющий ей непрерывно улучшать качество принимаемых решений на основе накопленной базы знаний.

Остальные принципы: стандартизации, безопасности, энергоэффективности, эргономичности и экономической эффективности интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами не требуют их индивидуализации в органическом производстве и носят общий характер с общими принципами создания интеллектуализированных систем.

Разработка интеллектуализированной системы мониторинга и управления технологическими процессами в органическом производстве требует индивидуального подхода к каждому этапу ее создания. Для разработки такой системы, включая обоснование показателей мониторинга, необходимо описание программной оболочки, алгоритмов применения цифровых инструментов и обработки данных, а также интеграция различных компонентов системы. Основной целью является создание комплексного и эффективного решения, соответствующего всем научным принципам и требованиям органического производства.

На первом этапе разработки таких систем необходимо провести обоснование показателей мониторинга. Для эффективного управления органическим производством необходимо учитывать множество параметров, влияющих на состояние почвы, растений и окружающей среды. Эти показатели позволяют не только проводить мониторинг складывающейся ситуации, но и прогнозировать развитие событий, принимая обоснованные решения для оптимизации производственных процессов [18]. Рассмотрим ключевые показатели, которые необходимо использовать в системе мониторинга и основные средства их определения с выбором рациональных путей построения морфологической матрицы (Рис. 3.).

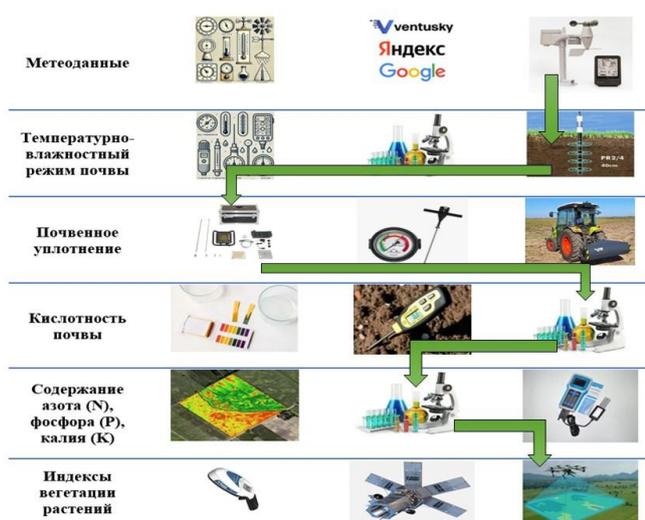


Рис. 3. Морфологическая матрица ключевых показателей и основных средств их определения

Fig. 3. Morphological matrix of key indicators and the main instruments of their determining

Основным критерием выбора исполнительных устройств мониторинга является способность приборов получать данные в цифровом формате, их аккумулировать и

передавать на ЭВМ со специализированным программным оборудованием. При этом необходимо учитывать погрешность измерений и стремиться к её минимизации, а также обеспечивать снижение трудозатрат при получении данных. Например, при определении индексов вегетации растений наименьший по трудозатратам способ, это получение снимков полей со специализированных спутников. У такого способа высокая степень зависимость точности получаемых данных от климатических условий, в особенности облачности. Наилучший способ по точности определения индексов вегетации растений является использование ручных приборов типа GreenSeeker, но при этом данный способ имеет максимальные трудозатраты. Рациональный способ определения индексов вегетации, является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с мультиспектральным оборудованием на борту. Представленный способ имеет не высокие трудозатраты, с высокими показателями производительности (в зависимости от высоты полета, скорости полета и угла раствора камеры примерно 1-10 га/мин). Однако точность полученных данных будет зависеть от погодных условий, точности настройки параметров полета, а также навыков управления внешнего пилота.

На следующем этапе разработки, должна быть реализована программная оболочка мониторинговой системы, которая является центральным элементом системы мониторинга и управления, обеспечивая сбор, обработку и анализ данных [19].

Базовыми элементами программной оболочки, являются алгоритмы управления технологическими процессами, которые должны учитывать этап применения мониторинговых систем, блок-схемы которых представлены на (Рис. 4.).

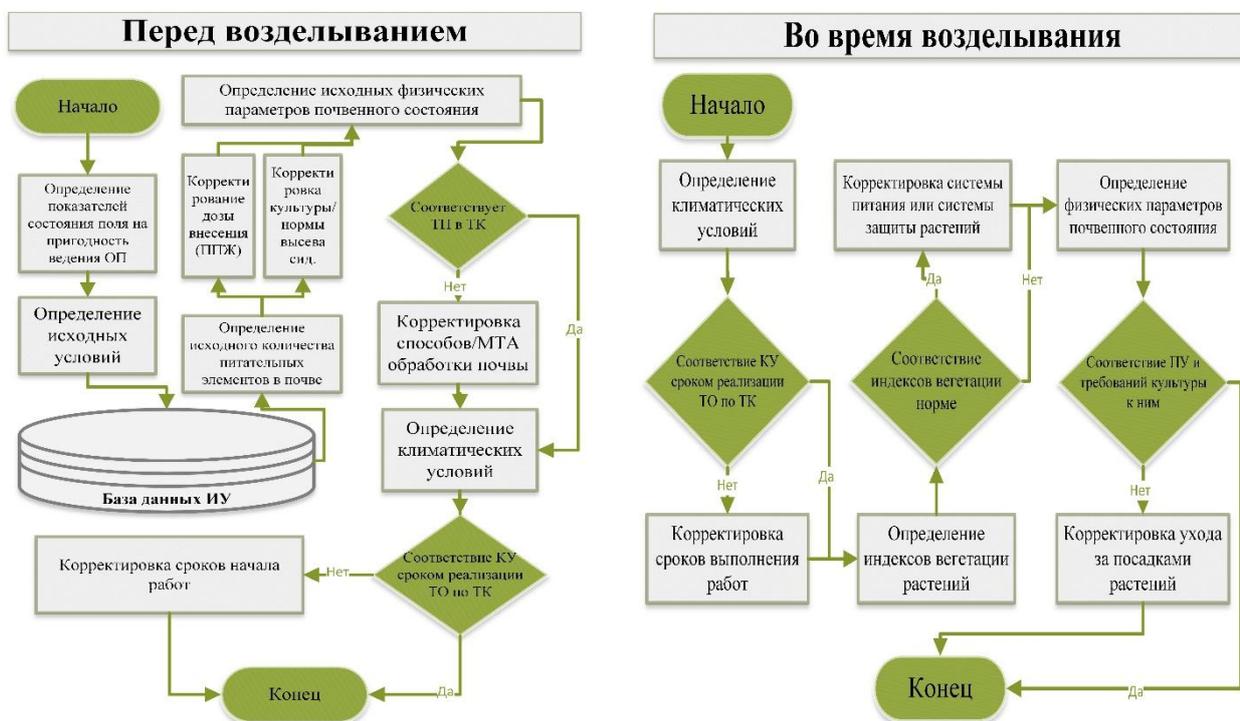


Рис. 4. Блок-схемы алгоритмов управления технологическими процессами при производстве органической продукции растениеводства

Fig. 4. Block diagrams of algorithms for controlling the technological processes in organic crop production

На этапе применения мониторинговых систем перед началом посадочных/посевных работ, в первую очередь необходимо определить показатели состояния поля на пригодность к ведению органического производства. Затем, определить исходные условия, для этого необходимо сформировать обращение к базе данных исходных условий. Далее необходимо определить исходное количество питательных (NPK) элементов в почве и при необходимости скорректировать дозу внесения, если используются побочная продукция животноводства (ППЖ), или корректировать используемые культуры/нормы высева, если применяются сидераты. После этого необходимо определить исходные физические параметры почвенного состояния, если они не соответствуют заложенным технологическим процессам и операциям по обработке почвы, то происходит корректировка состава машинно-тракторного агрегата (МТА) или его настроек, а если соответствует, то необходимо определить климатические условия для корректировки начала сроков проведения полевых работ (при необходимости).

На этапе применения мониторинговых систем во время вегетации растений необходим постоянное определение климатических условий для проверки соответствия времени проведения работ по технологической карте (ТК) и при необходимости постоянно их корректировать. Далее необходимо постоянно определять индексы вегетации растений для определения соответствия показателей их роста и развития. При условии нарушения естественных процессов по причинам ухудшения фитосанитарных условий или нехватки питательных элементов необходимо проводить корректировку применяемой системы защиты и питания растений. Также необходимо определять физические параметры почвенного состояния в динамике вегетации растений (при необходимости, например, у пропашных культур). При не соответствии нормам, при которых протекает нормальный рост растений необходимо скорректировать уход за посадками.

### **Обсуждение**

Разработка и тестирование интеллектуализированных систем мониторинга и управления не завершены до тех пор, пока система не пройдет испытание в реальных условиях. Полевая реализация является важнейшим этапом, позволяющим оценить эффективность системы, выявить возможные проблемы и определить пути их решения.

Процесс внедрения системы в полевых условиях включает подготовительные работы, настройку оборудования и программного обеспечения, а также обучение персонала.

Например, разработанная аграрная интеллектуальная система [20] представляет собой инновационное решение, основанное на принципах агентного моделирования и обработки больших данных. Система интегрирует информацию из различных источников, таких как метеостанции, спутниковые снимки и датчики почвы, для создания детальной модели сельскохозяйственного производства. Благодаря этому, система способна не только мониторить текущее состояние полей, но и прогнозировать будущие урожаи и разрабатывать оптимальные стратегии управления.

Интересным примером применения нейронных сетей в сельском хозяйстве является исследование [21]. Авторы разработали систему, которая анализирует спутниковые снимки и позволяет выявлять проблемы на полях с высокой точностью. Благодаря этому, фермеры могут принимать более взвешенные решения и повысить эффективность своего производства.

Авторами научно-исследовательской работы впервые удалось дистанционно диагностировать заражение растений фитофторозом на третьи сутки процесса заражения растений благодаря разработанным алгоритмам нейронной сети Wave-LetNN.

В институте ИАЭП-филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ на протяжении нескольких лет ведется разработка цифровой мониторинговой системы почвенно-климатических параметров. Основными компонентами представленной системы мониторинга являются метеостанция Davis Vantage pro2; автономная почвенная станция Sentek compact Drill&Drop TriSCAN (90 см); Penetrologger *Eijkelkamp*; беспилотное воздушное судно Phantom 4 Multispectral; агрохимическая лаборатория и аппаратно-программный комплекс (Рис. 5.) [22].

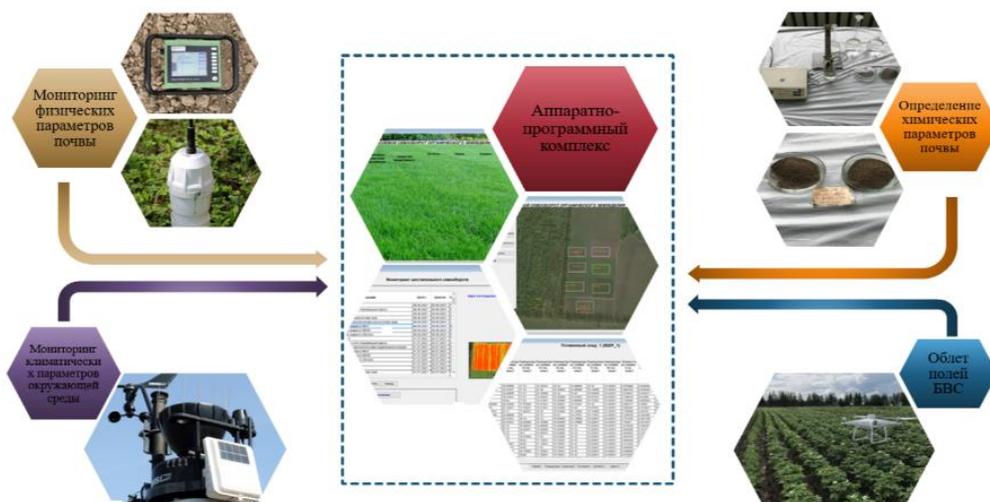


Рис. 5. Основные элементы цифровой системы мониторинга

Fig. 5. Main elements of the digital monitoring system

Применение разработанной системы мониторинга в разрезе проведения многолетних научных исследований по изучению влияния способов обработки междурядий на урожайность картофеля в системе органического земледелия позволило определить, как различные способы обработки междурядий посадок картофеля влияют на динамику изменения параметров почвенного состояния и в следствии на урожайность возделываемой культуры [23, 24, 25].

Исследование [26] показывает, что при формировании цифрового сельского хозяйства 4.0 совместно с технологиями точного земледелия необходима интеграция новых элементов, таких как: роботизированные технические средства; блокчейн; машинное зрение и др.

При создании интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами в органическом производстве, необходимо провести консолидацию имеющихся знаний в области цифрового сельского хозяйства и интерпретировать их в единую систему, используя разработанные научные принципы.

### Заклучение

Разработаны научные принципы создания интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами. Проведена адаптация научных принципов системности, интеграции, адаптивности и интеллектуализации под требования ведения органических форм хозяйствования. Представлены основные показатели мониторинга, такие как метеолюбные, температурно-влажностный режим почвы, почвенное

уплотнение, кислотность почвы, содержание NPK, индексы вегетации растений, и основные средства измерений: ручные, цифровые и автоматизированные.

На следующем этапе разработки интеллектуализированных систем мониторинга и управления технологическими процессами, должна быть реализована программная оболочка мониторинговой системы, которая является центральным элементом системы мониторинга и управления, обеспечивая сбор, обработку и анализ данных.

В результате исследований разработаны блок-схемы алгоритмов управления технологическими процессами перед возделыванием культурных растений, а также во время их роста и развития, которые учитывают применение цифровых или автоматизированных устройств для измерения основных показателей агроэкосистемы и растений.

Интеллектуализированные системы мониторинга и управления являются перспективным инструментом для повышения эффективности и устойчивости органического сельского хозяйства. Применение научных принципов создания таких систем, их адаптация к специфике органического производства и внедрение в полевых условиях демонстрируют значительные преимущества и потенциал для дальнейшего развития.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2024. № 1 (319). С. 2-7. <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/mera-319-1?ysclid=m41ch49omp569541187>
2. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А., Перекопский А.Н., Соловьев Я.С., Устроев А.А. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации // Материалы международного проекта «Экологически дружелюбное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб.: ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. 2021. 140 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47436940>
3. Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б., Ранта-Корхонен Т., Захаров А.М. Подходы к освоению органического земледелия // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 4 (105). С. 101-113. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>
4. Васильев Э. В., Папушин Э. А., Максимов Д. А., Матейчик С. Н. Алгоритм функционирования информационной аналитической программной платформы оценки экологической безопасности агроэкосистем // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 3(120). С. 145-157. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-145-157>
5. Полушкина Т.М. Органическое сельское хозяйство: тенденции и перспективы развития // Фундаментальные исследования. 2019. № 9. С. 59-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40562040>
6. Коротких Ю. С., Тюгай К. Л. Цифровые технологии в АПК как способ повышения эффективности деятельности сельхозорганизаций // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 6. С. 33-37. <https://doi.org/10.32651/226-33>
7. Zolkin A. L., Burda A. G., Avdeev Yu. M., Fakhertdinova D. I. The main areas of application of information and digital technologies in the agro-industrial complex // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, 032092. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032092>

8. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 6-10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
9. Водяников В. Т., Субаева А. К. Техническое перевооружение сельского хозяйства в условиях цифровизации // Агроинженерия. 2021. № 1(101). С. 58-62. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-58-62>
10. Якушев В. П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «умное сельское хозяйство» России // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 11-15. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/11-15>
11. Попов В.Д., Минин В.Б., Максимов Д.А., Папушин Э.А. Обоснование интеллектуальной системы управления органическим производством в растениеводстве // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 28-41. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10086>
12. Волков С. С., Булгаков П. А., Мурлыкин Р. Ю. Применение системы дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации // Молодой ученый. 2016. № 6-3 (110). С. 13-16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25665727>
13. Скворцов Е.А., Набоков В.И., Некрасов К.В., Скворцова Е.Г., Кротов М.И. Применение технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Аграрный вестник Урала. 2019. № 8 (187). С. 91-98. [https://doi.org/10.32417/article\\_5d908ed78f7fc7.89378141](https://doi.org/10.32417/article_5d908ed78f7fc7.89378141)
14. Воронин Б. А., Чупина П., Воронина Я. В. Специфика органического сельского хозяйства // Аграрное образование и наука. 2019. № 2. С. 23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41104866>
15. Логинов Г.А., Фомин И.М., Орешин Е.Е., Захаров А.М. Экологические требования к технико-технологическим решениям при производстве картофеля // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2010. № 82. С. 51-57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22846279>
16. Фомин И.М., Логинов Г.А., Захаров А.М. Технико-технологическая модернизация картофелеводства в товаропроизводящих хозяйствах Северо-Запада РФ // Сборник научных докладов ВИМ. 2011. Т. 1. С. 95-103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17775718>
17. Фомин И.М., Васильев А.Н., Захаров А.М. Адаптация технико-технологических решений в картофелеводстве к условиям сельхозпроизводителя // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 5. С. 24-25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16985444>
18. Медведев И.Ф., Губарев Д.И., Деревягин С.С., Левицкая Н.Г., Сайфуллина Л.Б., Ефимова В.И., Вайгант А.А., Графов В.П., Любимова М.Н., Андреева Л.В., Демакина И.И., Бузуева А.С., Верин А.Ю., Молчанов И.О., Несветаев М.Ю. Методология мониторинга почвенного плодородия. Зональные теоретически обоснованные агропотребования для точного земледелия и ландшафтной агрохимии. Саратов: НИИСХ Юго-Востока. 2017. 92 с. URL: <https://www.arisersar.ru/Litera/gis-2017.pdf?ysclid=m41d01bdoc342077120>
19. Климов Е. С., Иванько Я. М. О моделях и алгоритмах машинного обучения в управлении аграрным производством // Научно-исследовательская деятельность аспирантов в решении приоритетных задач развития агропромышленного комплекса: Матер. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию аспирантуры Иркутского ГАУ (п. Молодежный, 06

декабря 2023 г.). п. Молодежный: Иркутский ГАУ. 2023. С. 240-244. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60041306&ysclid=m41d17dc4j899698169>

20. Каличкин В. К., Корякин Р. А., Куценогой П. К. Архитектура и принципы работы аграрной интеллектуальной системы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. № 49(4). С. 65-75. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-4-8>

21. Токарев К. Е., Руденко А. Ю., Кузьмин В. А., Чернявский А. Н. Теория и цифровые технологии интеллектуальной поддержки принятия решений для увеличения биопродуктивности агроэкосистем на основе нейросетевых моделей // Известия НВ АУК: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 421-440. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-42>

22. Устроев А. А., Калинин А. Б., Мурзаев Е. А. Анализ цифровых измерительных систем для определения параметров почвенного состояния // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 19-28. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10085>

23. Захаров А. М., Мурзаев Е. А. Зависимость физических параметров почвенного состояния от способа междурядной обработки посадок органического картофеля // Известия НВ АУК. 2022. №1(65). С. 408-418. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-40>

24. Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Влияние способа обработки междурядий на урожайность картофеля в системе органического земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. №18(1). С. 74-80. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-1-74-80>

25. Zakharov A. M., Minin V. B., Murzaev E. A. [et al.] Effect of deep loosening of interrows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2022. Vol. 60. No. 4. P. 372-379. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379>

26. Коротченя В. М., Личман Г. И., Смирнов И. Г. Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13, № 1. С. 14-20. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-1-14-20>

## REFERENCES

1. Fedorenko V.F., Bryukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual basis for the development of organic agricultural production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area* 2024;1(319):2-7 (In Russ.) URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/mera-319-1?ysclid=m41ch49omp569541187>

2. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A., Minin V.B., Murzaev E.A., Perekopsky A.N., Soloviev Ya.C., Ustroev A.A. Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation. Materials of International Project “Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture – EFSOA”. Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM. 2021. 140 p. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47436940>

3. Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B., Ranta-Korhonen T., Zakharov A.M. Approaches to harnessing organic agriculture. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2020;4(105):101-113. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>

4. Vasilev E. V., Papushin E. A., Maksimov D. A., Mateichik S. N. Working algorithm of the information and analytical software platform for assessing the ecological safety of agro-

ecosystems. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2024;3(120):145-157 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-145-157>

5. Polushkina T.M. Organic agriculture: trends and prospects. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2019;9:59-63 (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40562040>

6. Korotkikh Yu. S., Tiugai K. L. Digital technologies in the agro-industrial complex as a way to increase the efficiency of agricultural organizations. *Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii = Economics of Agriculture of Russia*. 2022;6:33-37 (In Russ.) <https://doi.org/10.32651/226-33>

7. Zolkin A. L., Burda A. G., Avdeev Yu. M., Fakhertdinova D. I. The main areas of application of information and digital technologies in the agro-industrial complex. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677, 032092 (In Eng.) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032092>

8. Lobachevskiy Ya. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotised technical means for agriculture. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):6-10 (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>

9. Vodyannikov V. T., Subaeva A. K. Technical re-equipment of agriculture in the context of digitalization. *Agroinzheneriya = Agricultural Engineering*. 2021;1(101):58-62 (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-58-62>

10. Yakushev V. P. Digital technologies of precision farming in implementation of smart farming priority of Russia. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019;2:11-15 (In Russ.) <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/11-15>

11. Popov V.D., Minin V.B., Maksimov D.A., Papushin E.A. Substantiation of intellectual management system of organic crop production. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production*. 2018;97:28-41 (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10086>

12. Volkov S. S., Bulgakov P. A., Murlykin R. Yu. S., Bulgakov P. A., Murlykin R. Yu. Application of the system of remote monitoring of agricultural land in the Russian Federation // *Molodoy Ucheniy = Young Scientist*. 2016;6-3(110):13-16 (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25665727>

13. Skvorcov E.A., Nabokov V.I., Nekrasov K.V., Skvorcova E.G., Krotov M.I. Application of technologies of artificial intelligence in agriculture. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;8(187):91-98 (In Russ.) [https://doi.org/10.32417/article\\_5d908ed78f7fc7.89378141](https://doi.org/10.32417/article_5d908ed78f7fc7.89378141)

14. Voronin B. A., Chupina P., Voronina Ya. V. Specificity of organic agriculture. *Agrarnoe obrazovanie i nauka = Agrarian Education and Science*. 2019;2:23 (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41104866>

15. Loginov G.A., Fomin I.M., Oreshin E.E., Zakharov A.M. Environmental requirements to engineering solutions in potato cultivation. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production*. 2010; 82: 51-57. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22846279>

16. Fomin I.M., Loginov G.A., Zakharov A.M. Technical and technological modernisation of potato production in commodity-producing farms of the North-West of the Russian Federation.

Sbornik nauchnykh dokladov VIM = Collection of Scientific Reports of VIM. 2011;1:95-103. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17775718>

17. Fomin I.M., Vasilev A.N., Zakharov A.M. Adaptation of technical and technological solutions in potato growing to the conditions of an agricultural producer. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2011;5:24-25. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16985444>

18. Medvedev I.F., Gubarev D.I., Derevyagin S.S., Levitskaya N.G., Sayfullina L.B., Efimova V.I., Vaigant A.A., Grafov V.P., Lyubimova M.N., Andreeva L.V., Demakina I.I., Buzueva A.S., Verin A.Y., Molchanov I.O., Nesvetaev M.Y. Methodology of soil fertility monitoring. Zonal theoretically grounded agro-requirements for precision farming and landscape agrochemistry. Saratov: Research Institute of Agriculture of South-East Region. 2017. 92 p. (In Russ.) <https://www.arisersar.ru/Litera/gis-2017.pdf?ysclid=m41d01bdoc342077120>

19. Klimov E. S., Ivanko Ya. M. About models and algorithms of machine learning in the management of agrarian production. In: Research activities of graduate students in solving priority problems of agroindustrial complex development: Proc. Sci. Prac. Conf. dedicated to 70<sup>th</sup> ann. postgraduate studies of Irkutsk State Agrarian University (Molodezhny Settl., 6 December 2023). Molodezhny Settl.: Irkutsk SAU. 2023:240-244 (In Russ.) <https://elibrary.ru/item.asp?id=60041306&ysclid=m41d17dc4j899698169>

20. Kalichkin V. K., Koryakin R. A., Kutsenogiy P. K. Architecture and principles of work of agrarian intellectual system. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*. 2019;49(4):65-75 (In Russ.) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-4-8>

21. Tokarev K. E., Rudenko A. Yu., Kuzmin V.A., Chernyavsky A. N. Theory and digital technologies of intellectual support for decision-making to increase the bio-productivity of agroecosystems based of neural network models. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2021;4(64):421-440 (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-42>

22. Ustroev A. A., Kalinin A. B., Murzaev E. A. Analysis of digital measurement systems to determine the soil state parameters. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production*. 2018;97:19-28 (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10085>

23. Zakharov A. M., Murzaev E. A. Dependence of the physical parameters of the soil condition on the method of inter-row cultivation of plantings of organic potatoes. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2022;1(65):408-418 (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-40>

24. Zakharov A.M., Murzaev E.A. Impact of inter-row cultivation on potato tuber yields in organic farming. *agricultural machinery and technologies*. 2024;18(1):74-80. (In Russ.) (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-1-74-80>

25. Zakharov A. M., Minin V. B., Murzaev E. A. [et al.] Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022;60(4):372-379 (In Eng.) <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379>

26. Korotchenya V. M., Lichman G. I., Smirnov I. G. Digitalisation of technological processes of crop production in Russia. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2019;13(1):14-20 (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-1-14-20>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<b>Мурзаев Евгений Александрович</b> , научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское ш., д. 3) e-mail: murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665	<b>Evgeniy A. Murzaev</b> , 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 e-mail: murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665
<b>Шаблыкин Илья Николаевич</b> , младший научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское ш., д. 3) e-mail: shablykin@list.ru, ORCID: 0009-0004-4823-7485	<b>Piya N. Shablykin</b> , junior 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 e-mail: shablykin@list.ru, ORCID: 0009-0004-4823-7485
<b>Заявленный вклад авторов</b> Е.А. Мурзаев – руководство исследованием, редактирование. И.Н. Шаблыкин – проведение аналитического обзора, создание черновика рукописи.	<b>Authors' contribution</b> E.A. Murzaev – research guidance, editing the manuscript. I.N. Shablykin - analytical review, creation of a draft of the manuscript.
<b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	<b>Conflict of interests</b> 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.
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 25.11.2024	<b>Received:</b> 25.11.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 04.12.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 04.12.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

## РАЗДЕЛ 2. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Научная статья  
УДК 636.2

DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-101-112

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ НАВОЗА И ПОМЕТА

Александр Юрьевич Брюханов<sup>1</sup>, Эдуард Вадимович Васильев<sup>2</sup>,  
Эдуард Александрович Папушин<sup>3✉</sup>

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

<sup>1</sup>sznii@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

<sup>2</sup>sznii6@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

<sup>3</sup>papushinea@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7035-4654>

**Аннотация.** Утилизация и переработка побочных продуктов животноводства играют ключевую роль в снижении негативного влияния на окружающую среду. В данном исследовании была проанализирована энергетическая эффективность технологии сушки побочных продуктов животноводства на примере навоза и помета. Цель исследования – энергетическая оценка технологии сушки побочных продуктов животноводства. Для этого были проведены замеры потребления энергии при сушке на автоматизированной сушилке замкнутого типа свежего навоза крупного рогатого скота с исходной влажностью 92% при бесподстильном и беспривязном содержании животных; твердой фракции навоза крупного рогатого скота после сепарации шнековым сепаратором с исходной влажностью 75% и свежего помета с исходной влажностью 71%. Исследования позволили определить затраты электроэнергии и времени на сушку навоза и помета с различной влажностью. Удельные энергозатраты на обезвоживание материала составили: для свежего навоза КРС – 1,3 кВт·ч /кг; для твердой фракции навоза КРС – 1,29 кВт·ч/кг; для свежего куриного помета – 1,19 кВт·ч/кг. Наиболее целесообразным видится применение оборудования для сушки отходов при решении задач обработки побочных продуктов животноводства влажностью не более 72% с последующей их доработкой (грануляцией, пеллетированием, брикетированием и др.).

**Ключевые слова:** энергетический анализ, сушилка, побочные продукты, сушка.

**Для цитирования:** Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Энергетический анализ технологии сушки навоза и помета // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 101-112 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-101-112>

Research article

Universal Decimal Code 636.2

### ENERGY ANALYSIS OF DRYING TECHNOLOGY OF ANIMAL AND POULTRY MANURE

Aleksandr Yu. Briukhanov<sup>1</sup>, Eduard V. Vasilev<sup>2</sup>, Eduard A. Papushin<sup>3✉</sup>

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

<sup>1</sup>sznii@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

<sup>2</sup>sznii6@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

<sup>3</sup>□papushinea@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7035-4654>

**Abstract.** The use and recycling of animal by-products play a key role in reducing the negative impact on the environment. This study analyzed the energy efficiency of drying technology of animal by-products on the example of animal and poultry manure. The aim of the study was the energy evaluation of the drying technology of animal by-products. For this purpose, the study measured the energy consumption during the drying of fresh cattle manure with 92% initial moisture content at bedding-free and loose housing of animals; solid fraction of cattle manure after separation by a screw separator with 75% initial moisture content, and fresh poultry manure with 71% initial moisture content on an automated dryer of closed type. The study allowed determining the energy and time consumption for drying animal and poultry manure with different moisture content. Specific energy consumption for material dewatering was 1.3 kWh/kg for fresh cattle manure; 1.29 kWh/kg for solid fraction of cattle manure; and 1.19 kWh/kg for fresh poultry manure. The most expedient was the application of equipment for waste drying when solving the problems of processing animal by-products with the moisture content not more than 72% with their further processing (granulation, pelletizing, briquetting, etc.).

**Key words:** energy analysis, dryer, by-products, drying.

**For citation:** Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Papushin E.A. Energy analysis of drying technology of animal and poultry manure. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 101-112 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-101-112>

**Введение.** Использование побочных продуктов животноводства в последнее время привлекает большое внимание во всём мире из-за серьёзного влияния на загрязнение окружающей среды и экономические затраты [1].

При современных условиях содержания и выращивания домашней птицы от одной птицефабрики средней мощности (400 тыс. кур-несушек или 6 млн. цыплят-бройлеров) в год поступает до 40 тыс. тонн птичьего помета [2]. Такая же ситуация и на комплексах КРС. К утилизации такого количества органической массы сельхозпредприятия не подготовлены, из-за чего навоз/помет накапливается вблизи них, теряет свои ценные качества и представляет серьёзную экологическую опасность для окружающей среды. Ещё одна проблема связана со снижением объёмов внесения в почву должным образом отферментированного навоза и помета. По данным Союза животноводов России, более 45% сельхозпроизводителей не заделывают навоз в почву [2]. Главные причины – долгая подготовка к использованию, необходимость в специальной технике, а также не столь быстрый эффект как при использовании минеральных удобрений. Также применение без обработки может стать опасным для окружающей среды и людей, поскольку такое применение может привести к распространению болезней и загрязнению почвы и грунтовых вод. Использование навоза/помета с высоким содержанием влаги оказывает наибольшее негативное воздействие на окружающую среду из-за увеличения выбросов парниковых газов, неприятного запаха и фильтрата.

Одним из эффективных решений может стать сушка и снижение содержания воды в навозе/помете, что поможет решению экологических проблем, а также сократит расходы на логистику, хранение и применение для сельхозпредприятий. Технологии сушки играют важную роль в снижении содержания влаги в побочных продуктах животноводства, что

необходимо для экологической устойчивости и безопасности. Термическая сушка быстро удаляет влагу из побочных продуктов животноводства, предотвращая гидролиз и биологическое разложение [3]. Сушка – это термодинамический процесс, включающий тепло- и массоперенос и высокую потребность в энергии для снижения влажности [4-8]. В настоящее время в России применяются две технологии сушки навоза/помета, связанные с использованием тепловой энергии [3, 9].

Первая из них основывается на применении высокотемпературных (300-500°C) барабанных сушилок различной конструкции; технологическая особенность второй связана с использованием относительно низких температур (80-95°C) в условиях пониженного давления (вакуума) [3].

При этом основным недостатком высокотемпературной сушки навоза/помета с позиции качества получаемого удобрения является негативное воздействие на сырье с точки зрения сохранности в нем полезных микро- и макроэлементов. В какой-то мере это объясняется тем, что данное оборудование изначально проектировалось для реализации других технологий (сушка опилок для производства топливных пеллет, сушка различных сыпучих инертных минеральных веществ и т.д.). К недостаткам второй технологии можно отнести длительность процесса и его высокую удельную энергоемкость, а также большое количество достаточно сложного и дорогостоящего оборудования, требующего высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Процессы сушки являются критическими этапами в различных производственных циклах, начиная от пищевой промышленности и заканчивая производством строительных материалов. Они влияют не только на конечное качество продукта, но и на экономическую эффективность предприятия, а также на его экологическое воздействие [6,7,10-12].

**Цель исследования** – энергетическая оценка технологии сушки навоза и помета.

**Материалы и методы.** *Материалы и условия.*

Исследования проводились в августе 2021 года на автоматизированной сушилке замкнутого типа на четырех видах сырья: на свежем навозе крупного рогатого скота при бесподстилочном и безпривязном содержании с исходной влажностью 92%; на твердой фракции навоза крупного рогатого скота после сепарации шнековым сепаратором с исходной влажностью 75%; на свежем помете с исходной влажностью 71% и на подстилочном помете с исходной влажностью 16%. Сырье было получено на типовом комплексе крупного рогатого скота и птицефабрике, расположенных в Ленинградской области. В ходе исследования измерения производили в трехкратной повторности. Измеряли массу и влажность материала до и после сушки, массу конденсата, время сушки, расход электроэнергии, температуру на входе. Исходный материал взвешивали в ведре и загружали в сушилку через загрузочное окно. После автоматической остановки сушилки производили выгрузку и взвешивание материала. Конденсат также взвешивали. Производили фиксацию потребленной электроэнергии. Перед каждой загрузкой органического материала в сушилку меняли воздушный фильтр. При сушке навоза и помета с влажностью более 70% происходило налипание и пригорание материала на стенках греющего контура и после остановке сушилки стенки очищали и производили повторную загрузку материала.

*Сушилка.*

Автоматизированная сушилка состоит из корпуса, в котором расположено окно ручной загрузки сырья, окно автоматической выгрузки высушенного материала и блок управления. Внутри сушилки расположена термокамера, системы нагрева и

конденсирования. В термокамере находится шнек, который, вращаясь, перемешивает и пересыпает смесь, равномерно распределяя ее по камере. Смесь, пересыпаясь с лопасти на лопасть, высушивается под действием горячего воздуха.

Главной особенностью установки является практически полное отсутствие выбросов загрязняющих веществ и климатически активных газов в атмосферу в процессе сушки материала (применяется насос для сбора газов) без применения дополнительной системы их очистки в отличие от туннельных или барабанных сушильных установок. На выходе получается сухая фракция (за счет обработки температурой до 175°C) и конденсированная фильтрованная техническая вода.

Сушилка работает от электричества; электропотребление изменяется автоматически в зависимости от влажности материала, а нагрев обеспечивается маслом, нагреваемым до температуры 175 °С. Время сушки (для пищевых отходов) варьируется от 4 до 9 часов, а потребление энергии составляет от 0,28 до 0,9 кВт·ч. Подробная информация о конфигурации сушилки представлена в таблице 1.

Потребление энергии измеряли с использованием счетчика электроэнергии трехфазного Меркурий 230.

Таблица 1. Основные технические данные сушилки (из паспорта изделия)  
Table 1. Basic technical data of the dryer (from the product data sheet)

№	Параметр		Значение
	Сушилка		380 В
1.	Загрузка	кг/цикл	25
2.	Потребляющая мощность	кВт·ч	4,96 кВт / 7,54 Амп.
3.	Система охлаждения	м <sup>3</sup>	max. 0,8 м <sup>3</sup> / min
4.	Двигатель	кВт	0,2 кВт / 50 Гц
5.	Нагреватель масла	кВт	1,2
6.	Вентилятор системы конденсирования	кВт	0,192
7.	Температура рабочей среды	°С	+0 – 40
8.	Уровень звукового давления	дБ	70(+/-2)
9.	Общие габариты Д/Ш/В	мм	1200/880/1190
10.	Вес	кг	450
11.	Скорость вращения мотора и вала	об/мин	50 Гц (1380/9,3) 60 Гц (1700/11)
12.	Камера, внутренний объем	Литров	45
13.	Основной электродвигатель	кВт	0,37

Достоверность различий в вариантах опыта при обработке данных эксперимента оценивали методами математической статистики ( $p < 0,05$ ) с использованием пакетов программ MS Excel 2013 и Statistica 6.0.

**Результаты и обсуждение.** В таблице 2 представлены результаты замеров изменения массы сырья и энергетические затраты в процессе сушки свежего и твердой фракции навоза КРС, свежего и подстилочного помета.

Таблица 2. Результаты замеров изменения массы сырья и энергетические затраты на сушку материала

Table 2. Measurement results of raw material weight change and energy consumption for drying the material

п / п	Наименование сырья	Масса загрузки, кг	Масса после сушки, кг	Масса конденсата, кг	Время сушки, ч/мин	Расход электроэнергии, кВт·ч	Удельный расход электроэнергии на кг исходной массы, кВт·ч /кг	Температура на входе, °С	Влажность, %
1	2	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Свежий навоз КРС до сушки								92
2.	Свежий навоз КРС партия №1	24,07	2,39	20,49	11:36	26,84	1,12	25	38
3.	Свежий навоз КРС партия №2	22,13	3,07	17,78	11:40	25,61	1,16	35	53
4.	Свежий навоз КРС партия №3	17,29	2,6	13	11:17	21,79	1,26	21	55
5.	Средние значения для свежего навоза КРС	21,16	2,68	17,09	11:31	24,75	1,18	27	48,7
6.	Твердая фракция КРС до сушки								75
7.	Твердая фракция КРС партия №1	12,16	3,34	9,3	4:27	12,41	1,02	21	6
8.	Твердая фракция КРС партия №2	12,06	3,09	9,23	3:44	11,26	0,93	82	3
9.	Твердая фракция КРС партия №3	12,12	2,86	8,61	4:02	12	0,99	40	4
10.	Твердая фракция КРС партия №4	12,13	2,92	9,47	3:42	11,34	0,93	80	4
11.	Средние значения для твердой фракции КРС	12,12	3,05	9,15	3:58	11,8	0,97	55,8	4,3
12.	Помет свежий партия до сушки								71
13.	Помет свежий партия №1	22,84	7,82	11,6	5:18	14,36	0,63	70	36
14.	Помет свежий партия №2	20,22	8,46	11,22	6:38	15,48	0,77	34	34
15.	Помет свежий партия №3	19,88	7,9	11,68	7:09	16,33	0,82	18	32
16.	Средние значения для свежего помета	20,98	8,06	11,5	6:22	15,39	0,74	40,7	34

Анализ полученных результатов измерений показал (таблица 2), что влажность свежего навоза при сушке изменилась с 92% до 48,67%, масса сырья – с 16,78 кг до 2,68 кг, влажность твердой фракции – с 75% до 4,25%, масса – с 12,12 кг до 3 кг. Влажность свежего помета при сушке изменилась с 71% до 34%, масса сырья – с 20,98 кг до 8,06 кг, влажность подстилочного помета – с 16% до 5%, масса – с 9,67 кг до 8,01 кг.

На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы потребления энергии и удельных энергозатрат при сушке свежего навоза КРС.

Потребление энергии при сушке свежего навоза КРС изменялось от 0,8235 до 3,319 кВт·ч (рис. 1).



Рис. 1. Потребление энергии при сушке свежего навоза КРС

Fig. 1. Energy consumption when fresh cattle manure drying

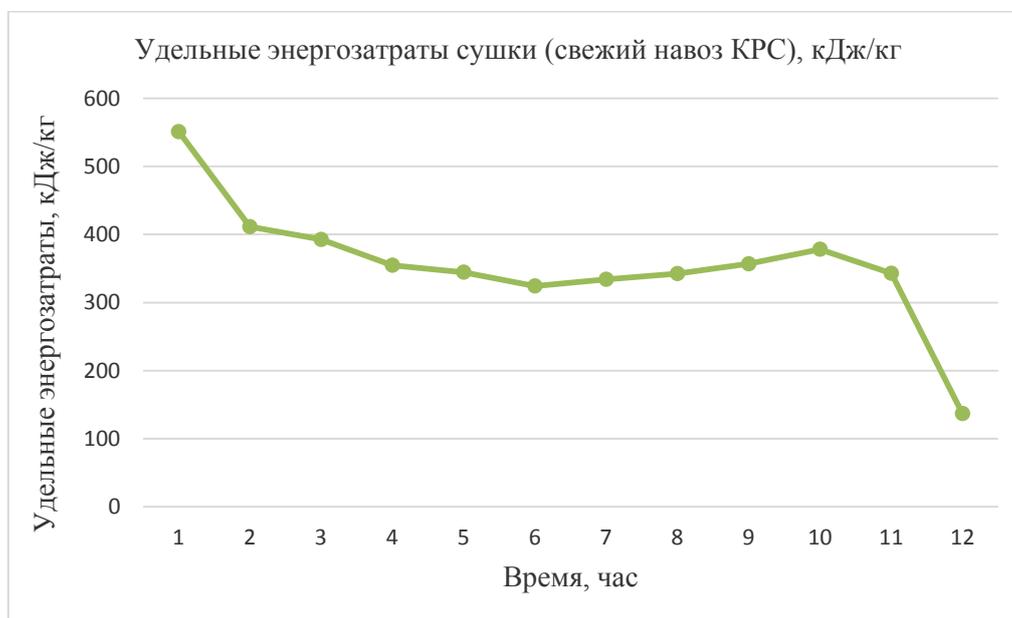


Рис. 2. Удельные энергозатраты сушки свежего навоза КРС на кг удаленной влаги

Fig. 2. Specific energy consumption of drying fresh cattle manure per kg of moisture removed

Удельные энергозатраты сушки свежего навоза КРС на кг удаленной влаги изменялись от 551 кДж/кг до 137 кДж/кг.

На рисунках 3 и 4 представлены диаграммы потребления энергии и удельных энергозатрат при сушке твердой фракции навоза КРС.

Потребление энергии при сушке твердой фракции навоза КРС изменялось от 1,64 до 3,425 кВт·ч (рис. 3).



Рис. 3. Потребление энергии при сушке твердой фракции навоза КРС  
Fig. 3. Energy consumption during drying of the solid fraction of cattle manure

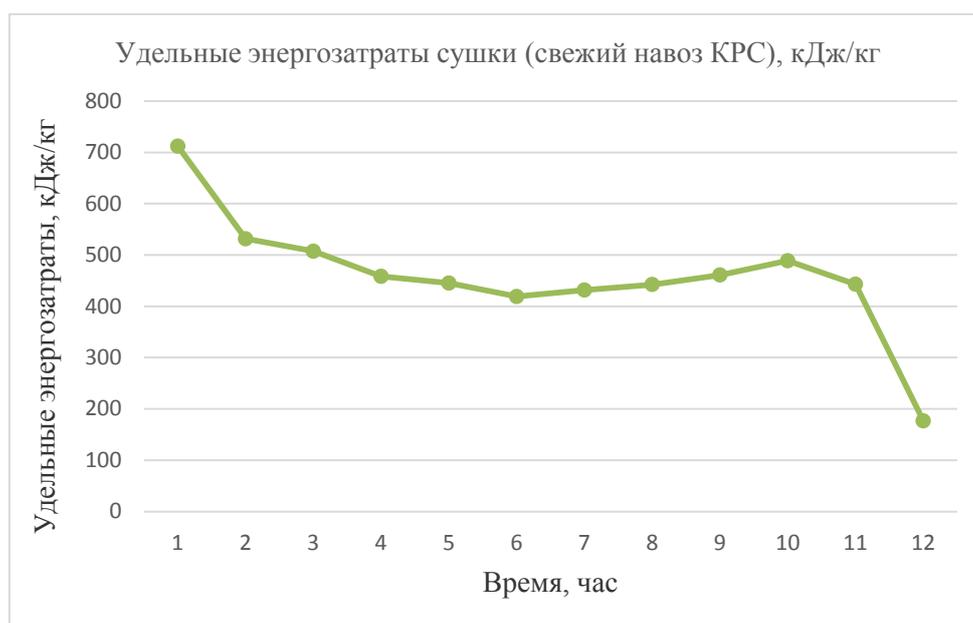


Рис. 4. Удельные энергозатраты сушки твердой фракции навоза КРС на кг удаленной влаги

Fig. 4. Specific energy consumption for drying of the solid fraction of cattle manure per kg of moisture removed

Удельные энергозатраты сушки твердой фракции навоза КРС на кг удаленной влаги изменялись от 487 кДж/кг до 1017 кДж/кг.

На рисунках 5 и 6 представлены диаграммы потребления энергии и удельных энергозатрат при сушке свежего помета.

Потребление энергии при сушке подстилочного помета изменялось от 0,067 до 2,96 кВт·ч (рис. 5).



Рис. 5. Потребление энергии при сушке свежего помета  
Fig. 5. Energy consumption during fresh poultry manure drying



Рис. 6. Удельные энергозатраты сушки свежего помета на кг удаленной влаги  
Fig. 6. Specific energy consumption for drying fresh poultry manure per kg of moisture removed

Удельные энергозатраты сушки свежего помета на кг удаленной влаги изменялись от 825 кДж/кг до 19 кДж/кг.

Исследования показали, что существенное влияние на длительность сушки оказывает начальная влажность сырья и, соответственно, выше потребление электроэнергии при сушке более влажных побочных продуктов. Продолжительность сушки побочных продуктов составила от 3 часов для твердой фракции навоза КРС и до 12 часов для свежего навоза КРС.

Для всех исследованных образцов удельные энергозатраты сушки вначале составляли максимальные значения и снижались к концу процесса.

В зависимости от влажности, пористости, липкости, сыпучести и других физико-химических показателей исходного материала в среднем удельные затраты на усушку 1 кг влаги установка потребляла от 1,19 до 1,3 кВт·ч/ кг электрической энергии. На сушку свежего навоза КРС с 92% до 49% установка потребляла в среднем 1,3 кВт·ч/кг электрической энергии. На сушку свежего куриного помета с 71% до 36% установка потребляла в среднем 1,19 кВт·ч/кг электрической энергии.

При сушке навоза и помета с влажностью более 70% происходит налипание и пригорание материала на стенках греющего контура. Имеющийся в конструкции сушилки шнек не очищает стенки, что в свою очередь приводит к остановке процесса сушки (свежий навоз в исследовании достиг влажности 49%, свежий помет – 36%). Досушивание сырья до более низкой влажности возможно при повторной загрузке. Чтобы этого не происходило, необходимо более эффективное устройство для очистки внутренних стенок сушилки. На сушку твердой фракции навоза КРС с 75% до 4% удельные энергозатраты составили 1,29 кВт·ч/кг. Снижение затрат электроэнергии возможно путем организации поточного режима работы установки без полного охлаждения нагревательного контура.

**Заключение.** Данное исследование демонстрирует возможность использования автоматизированной сушилки замкнутого типа для сушки побочных продуктов животноводства (на примере навоза КРС и помета). Особенностью установки является наличие конденсации выбросов, практически полное отсутствие выбросов загрязняющих веществ и климатически активных веществ в атмосферу в процессе сушки материала без применения дополнительной системы их очистки в отличие от туннельных или барабанных сушильных установок.

Были проведены измерения затрат энергии при сушке побочных продуктов животноводства. Значительное потребление энергии в основном осуществлялось на начальном этапе сушки. Удельные энергозатраты на обезвоживание материала составили: для свежего навоза КРС – 1,3 кВт·ч/кг; для твердой фракции навоза КРС – 1,29 кВт·ч/кг; для свежего куриного помета – 1,19 кВт·ч/кг.

Наиболее целесообразным видится рассмотрение применения автоматизированной сушилки при решении задач сушки побочных продуктов животноводства влажностью не более 72% с задачей последующей их доработки (грануляции, пеллетирования, брикетирования и т.д.).

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Брюханов А. Ю., Попов В. Д., Васильев Э. В., Папушин Э. А. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4(113). С. 4-18. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18>

2 [Без]опасные отходы. Поле.рф. 2024.[Электронный ресурс].

URL: <https://поле.рф/journal/publication/bezopasnye-otkhody?ysclid=m3n08i9h1a298389670> (дата обращения 29.10.2024).

- 3 Вербицкий С. Утилизируем птичий помет с выгодой // Животноводство России. 2019. № 7. С. 19-26. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39554508>
- 4 Гарзанов А. Л., Дорофеева О. А. Производство энергоресурсов и минеральных удобрений из органических отходов птицеводства // АгроЭкоИнженерия. 2018. № 2 (95). С. 216-227. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10050>
- 5 Суховеркова В.Е. Способы утилизации птичьего помета, представленные в современных патентах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 9 (143). С. 45-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27127500>
6. Khodadadi M., Masoumi A., Sadeghi M. Drying, a practical technology for reduction of poultry litter (environmental) pollution: methods and their effects on important parameters // Poultry Science. 2024. Vol. 103 (12), 104277. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104277>
7. Pasolini V.H., Costa A.B.S., Perazzini M.T.B., Cipriano D.F., Freitas J.C.C., Perazzini H., Sousa R.C. Valorization of pure poultry manure for biomass applications: Drying and energy potential characteristics // Renewable Energy. 2024. Vol. 220 (2), 119609. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119609>
8. Запевалов М. В., Качурин В.В. Механическое обезвоживание птичьего помета при его глубокой переработке // Птицеводство. 2020. № 5-6. С. 75-78. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-5-6-75-78>
9. Курочкин А. А., Потапов М.А. Совершенствование способов переработки куриного помета на основе анализа их обобщенной классификации // Инновационная техника и технология. 2024. № 11(1). С. 46-51. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65665536>
10. Потапов М. А., Курочкин А. А. К вопросу совершенствования технологии переработки птичьего помета // Инновационная техника и технология. 2018. № 1. С. 25-29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35728818>
11. Лысенко В.П., Горохов А.В. Утилизация птичьего помета на птицефабриках – пути решения. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=151> (дата обращения 29.10.2024)
12. Запевалов М.В., Гриценко А.В., Качурин В.В. К обоснованию процесса переработки птичьего помета // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3(36). С. 112-118. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41192542>

#### REFERENCES

- 1 Briukhanov A.Yu., Popov V.D., Vasilev E. V., Papushin E.A. Management concept of ecological safety of agro-ecosystems. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2022;4(113):4-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18>
- 2 [Non]hazardous waste. Pole.rf. 2024. [on-line]. URL: <https://поле.рф/journal/publication/bezopasnye-otkhody?ysclid=m3n08i9h1a298389670> (accessed 29.10.2024). (In Russ.)
- 3 Verbitsky S. Recycling poultry droppings with profit. Zhivotnovodstvo Rossii = Animal Husbandry of Russia. 2019;7:19-26. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39554508>
- 4 Garzanov A. L., Dorofeeva O. A. Production of energy and mineral fertilizers from organic poultry waste. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2018;95:216-227. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10050>
5. Sukhoverkova V. Ye. The techniques of poultry manure recycling as presented in modern patents Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2016;9 (143):45-55. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27127500>
6. Khodadadi M., Masoumi A., Sadeghi M. Drying, a practical technology for reduction of poultry litter (environmental) pollution: methods and their effects on important parameters. Poultry Science. 2024;103 (12), 104277. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104277>
7. Pasolini V.H., Costa A.B.S., Perazzini M.T.B., Cipriano D.F., Freitas J.C.C., Perazzini H., Sousa R.C. Valorization of pure poultry manure for biomass applications: Drying and energy potential

- characteristics. *Renewable Energy*. 2024; 220 (2), 119609. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119609>
8. Zapevalov M. V., Kachurin V. V. Mechanical dehydration of poultry manure during the deep processing. *Ptitsevodstvo = Poultry farming*. 2020;5-6:75-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-5-6-75-78>
9. Kurochkin A. A., Potapov M. A. Improving methods for processing chicken manure based on the analysis of their general classification. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya = Innovative Machinery and Technology*. 2024;11(1):46-51. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65665536>
10. Potapov M. A., Kurochkin A. A. The question of perfection of technology for processing poultry litter. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya = Innovative Machinery and Technology*. – 2018;5(1):25-29. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35728818>
11. Lysenko V. P., Gorokhov A. V. Utilization of poultry manure at poultry farms - solutions. [online]. (In Russ.) URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=151> (accessed 29.10.2024)
12. Zapevalov M. V., Kachurin V. V., Gritsenko A. V. On the justification of the processing of bird droppings. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK = Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2019;3(36):112-118. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41192542>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<p><b>Брюханов Александр Юрьевич</b> доктор технических наук, профессор, членкорреспондент РАН, директор Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3 sznii@yandex.ru ORCID: 0000-0003-4963-3821</p>	<p><b>Aleksandr Yu. Briukhanov</b>, DSc (Engineering), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the 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 sznii@yandex.ru ORCID: 0000-0003-4963-3821</p>
<p><b>Васильев Эдуард Вадимович</b> 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 sznii6@yandex.ru.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793</p>	<p><b>Eduard V. Vasilev</b>, 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 sznii6@yandex.ru.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793</p>
<p><b>Папушин Эдуард Александрович</b> канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических</p>	<p><b>Eduard A. Papushin</b>, Cand. Sc. (Engineering), leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of</p>

проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3 papushinea@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7035-4654	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 papushinea@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7035-4654
<b>Заявленный вклад авторов</b> Все авторы внесли равный вклад в работу, в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность.	<b>Authors' contribution</b> All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
<b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	<b>Conflict of interests</b> The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 27.11.2024	<b>Received:</b> 27.11.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 06.12.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 06.12.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

Научная статья  
УДК 631.151.2

DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-112-130

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОТКОРМА СВИНЕЙ

Илья Евгеньевич Плаксин✉, Алексей Валериевич Трифанов

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

✉ilyaplaxin@gmail.com

**Аннотация.** Нарращивание производственных объемов свиноводческих предприятий обосновывает необходимость двукратного увеличения производительности труда, а также снижения материальных затрат на производство продукции на 20% и более. Достижение данных показателей возможно за счет применения систем управления, обеспечивающих

автоматическую регулировку производственных процессов в реальном времени. Существующие на сегодняшний день системы управления функционируют на основе контроля за заранее заданными неизменными на длительном временном промежутке значениями, что приводит к нерациональному использованию производственных ресурсов, увеличению стрессовых ситуаций и не позволяет максимально использовать генетический потенциал высокопродуктивных животных. Для решения обозначенных проблем необходима разработка систем управления, предусматривающих динамическое определение показателей технологических процессов на основе изменения физиологического состояния животных в определённый момент производственного цикла. На начальном этапе предлагается осуществлять ежедневный контроль за изменением живой массы животных на протяжении всего производственного цикла, в зависимости от чего определять необходимое количество корма, воды, выход навоза, воздухообмен, температуру и освещенность. Целью исследования являлось моделирование зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода навоза, необходимого воздухообмена, температуры, освещенности от увеличения живой массы свиньи на протяжении цикла откорма. Моделирование осуществлялось методами линейной и нелинейной интерполяции на основе нормативных, статистических и экспериментальных данных. Полученные зависимости позволят разработать систему управления производственными процессами, предусматривающую автоматическую корректировку технико-технологических показателей в реальном времени, что обеспечит сокращение производственных издержек, минимизирует риск возникновения стрессовых ситуаций, а также позволит максимально полно реализовать генетический потенциал животных.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, животноводство, свиноводство, система управления.

**Для цитирования:** Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Теоретические предпосылки к разработке системы управления процессом откорма свиней // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4 (121). С. 112-131 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-112-130>

Research article

Universal Decimal Code 631.151.2

## THEORETICAL BACKGROUND TO THE DEVELOPMENT OF A PIG FATTENING MANAGEMENT SYSTEM

Илья Е. Плаксин✉, Alexey V. Trifanov

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russia

✉ilyaplaxin@gmail.com

**Abstract.** The increase in production on pig farms justifies the need to double labour productivity and reduce material production inputs by 20% or more. Achieving these indicators is possible through the use of control systems that allow automatic, real-time adjustment of production processes. Existing control systems monitor preset parameter values that remain unchanged for long periods of time. This leads to irrational use of production resources, an increase in stress situations and prevents the genetic potential of highly productive animals from being fully exploited. To solve

the above problems, it is necessary to develop control systems that allow the dynamic definition of process indicators based on changes in the physiological state of the animals at a given point in the production cycle. In the initial stages, it is suggested that daily monitoring of changes in the animals' live weight throughout the production cycle be used to consistently determine the required amount of feed, water, manure output, air exchange, temperature, and lighting. The aim of this study was to model the relationships between changes in feed and water consumption, manure yield, air exchange requirements, temperature and lighting and live weight gain of pigs during the fattening cycle. For modeling, the study applied linear and non-linear interpolation methods based on regulatory, statistical, and experimental data. The obtained dependencies will allow creating a production process management system that provides for automatic, real-time adjustment of technical and technological indicators. This will reduce production costs, cut the risk of stress situations, and make full advantage of the genetic potential of animals.

**Key words:** agriculture, animal husbandry, pig farming, management system.

**For citation:** Plaksin I.E., Trifanov A.V. Theoretical background to the development of a pig fattening management system. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4 (121): 112-131. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-112-130>

**Введение.** На сегодняшний день развитие отрасли сельского хозяйства напрямую связано с внедрением цифровых технологий (интернет вещей, робототехника, искусственный интеллект, анализ больших данных, электронная коммерция и др.), что обусловлено необходимостью двукратного увеличения производительности труда в расчете на одного работника с одновременным снижением доли материальных затрат в себестоимости продукции на 20% и более [1].

В подотрасли свиноводства наблюдается тенденция на наращивание предприятиями производственной мощности, что обосновывает необходимость внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами обеспечивающих строгое выполнение требований к контролю значений факторов, от которых зависит продуктивность животных [2].

Существующие на сегодняшний день системы осуществляют управление исходя из нормативных заранее заданных неизменных на длительном временном промежутке значений, таких как потребление корма, воды, выход навоза, необходимого воздухообмена, температуры воздуха и т.д, без учета физиологического и психоэмоционального состояния животных, что не позволяет достичь необходимого уровня эффективности производства ввиду нерационального использования производственных ресурсов, большого количества стрессовых ситуаций, а также неполной реализации генетического потенциала высокопродуктивных животных [3,4].

Для решения данной проблемы необходима разработка современных инновационных систем управления, отслеживающих изменения состояния самого животного (температура, масса, процент жировой ткани, физиологическая активность, оксигенация, аппетит, жажда и т.д.), что позволит сократить производственные издержки за счет удовлетворения потребностей животных в кормах, воде, оптимальном микроклимате в реальном времени, что в свою очередь обеспечит снижение количества стрессовых ситуаций возникающих в следствии конкурентной борьбы за корма и воду, а также резкого изменения температуры, воздухообмена и освещённости в производственном помещении.

На начальном этапе предлагается осуществлять ежедневный контроль изменения массы животных на протяжении всего производственного цикла. В зависимости от изменения массы осуществлять управление технологическими процессами кормления, поения, навозоудаления и организации микроклимата, то есть определять количество корма, воды, выход навоза, воздухообмен, температуру и освещенность в виде сложной функции от изменения массы в каждый момент времени производственного цикла:

$$m, v, g, V, T, L = f(M(t))$$

где:  $m, v, g, V, T, L$  – потребление корма, воды, выход навоза, воздухообмен, температура, освещенность;  $M(t)$  - изменение массы в процессе производственного цикла.

**Целью данной работы** являлось моделирование зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода навоза, необходимого воздухообмена, температуры, освещенности от увеличения живой массы свиньи на протяжении цикла откорма.

**Материалы и методы исследований.** Для определения зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода навоза, необходимого воздухообмена, температуры, освещенности от увеличения живой массы свиньи на протяжении цикла откорма было проведено численное моделирование методами линейной и нелинейной интерполяции на основе нормативных, статистических и экспериментальных данных.

**Результаты.** При построении математических моделей считаем, что цикл откорма свиней составляет 100 дней с постановкой на откорм поросят в возрасте 90 дней.

Определение потребления корма, производится с учетом изменения живой массы свиньи, определяемой на основе нормативных данных среднесуточного потребления корма (таблица 1) и его коэффициента конверсии равного 2,8 [5,6]<sup>12</sup>.

Таблица 1. Показатели среднесуточного потребления корма свиньями в различные промежутки цикла откорма

Table 1. Average daily feed intake of pigs at different intervals of the fattening cycle

День откорма	90-100	101-105	106-117	118-129	130-141	142-153	154-165	166-177	178-189
Среднесуточное потребление корма, (кг/гол)	1,25	1,55	1,65	1,75	2	2,15	2,25	2,35	2,55

Согласно приведенным значениям среднесуточного потребления корма определим среднесуточный привес одной свиньи на каждом временном промежутке откормочного цикла:

$$\Delta M = \frac{m_{\text{к.норм}}}{K} \quad (1)$$

где:  $\Delta M$  - среднесуточный привес свиньи на откорме, (кг/сут.);  $m_{\text{к.норм}}$  - среднесуточное потребление корма свиньей на откорме, (кг/сут.);  $K$  - коэффициент конверсии корма.

Полученные значения среднесуточных привесов приведены в таблице 2.

<sup>12</sup> Сколько ест свинья [Электронный ресурс] URL: <https://www.bolshoyvopros.ru/questions/1344966-skolko-est-svinja.html> (дата обращения 8.11.2024)

Таблица 2. Среднесуточные привесы свиней на откорме

Table 2. Average daily weight gain of fattening pigs

День откорма	90-100	101-105	106-117	118-129	130-141	142-153	154-165	166-177	178-189
Среднесуточные привесы, (кг/сут)	0,45	0,55	0,59	0,63	0,71	0,77	0,8	0,84	0,91

Запишем целевую функцию изменения живой массы свиньи за цикл откорма исходя из пропорциональности массы количеству дней каждого промежутка цикла, в качестве коэффициента пропорциональности в данном случае выступает показатель среднесуточного привеса на каждом временном промежутке цикла.

$$M(t) = \begin{cases} M(90) + \Delta M_{91-100} \cdot (t - 90), & \text{если } 91 \leq t \leq 100 \\ M(100) + \Delta M_{101-105} \cdot (t - 100), & \text{если } 101 \leq t \leq 105 \\ M(105) + \Delta M_{106-117} \cdot (t - 105), & \text{если } 106 \leq t \leq 117 \\ M(117) + \Delta M_{118-129} \cdot (t - 117), & \text{если } 118 \leq t \leq 129 \\ M(129) + \Delta M_{130-141} \cdot (t - 129), & \text{если } 130 \leq t \leq 141 \\ M(141) + \Delta M_{142-153} \cdot (t - 141), & \text{если } 142 \leq t \leq 153 \\ M(153) + \Delta M_{154-165} \cdot (t - 153), & \text{если } 154 \leq t \leq 165 \\ M(165) + \Delta M_{166-177} \cdot (t - 165), & \text{если } 166 \leq t \leq 177 \\ M(177) + \Delta M_{178-189} \cdot (t - 177), & \text{если } 178 \leq t \leq 189 \end{cases} \quad (2)$$

где:  $M$  - живая масса свиньи на откорме, (кг),  $t$  - день откорма, (сут.).

На рисунке 1 приведен график изменения живой массы свиньи при учете среднего значения данного показателя при постановке на откорм составляющего 37 килограмм [7,8].

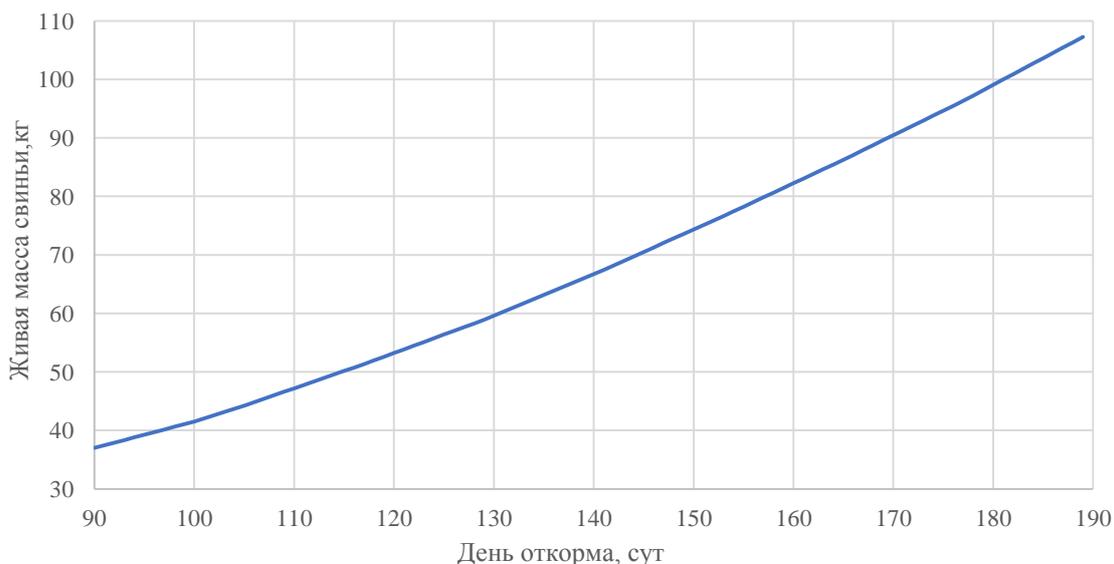


Рис.1. Изменение живой массы свиньи за цикл откорма

Fig.1. Change in pig live weight over the fattening cycle

Для определения потребления корма свиньей запишем целевую функцию считая, что потребление корма на каждом из временных промежутков цикла откорма прямо пропорционально количеству дней в данном промежутке, а коэффициент пропорциональности  $\Delta m_{np}$  – среднесуточный прирост потребления корма в каждом временном промежутке является постоянным:

$$m(t) = \begin{cases} m(90) + \Delta m_{np(91-100)} \cdot (t - 90), \text{ если } 90 \leq t \leq 100 \\ m(100) + \Delta m_{np(101-105)} \cdot (t - 100), \text{ если } 101 \leq t \leq 105 \\ m(105) + \Delta m_{np(106-117)} \cdot (t - 105), \text{ если } 106 \leq t \leq 117 \\ m(117) + \Delta m_{np(118-129)} \cdot (t - 117), \text{ если } 118 \leq t \leq 129 \\ m(129) + \Delta m_{np(130-141)} \cdot (t - 129), \text{ если } 130 \leq t \leq 141 \\ m(141) + \Delta m_{np(142-153)} \cdot (t - 141), \text{ если } 142 \leq t \leq 153 \\ m(153) + \Delta m_{np(154-165)} \cdot (t - 153), \text{ если } 154 \leq t \leq 165 \\ m(165) + \Delta m_{np(166-177)} \cdot (t - 165), \text{ если } 166 \leq t \leq 177 \\ m(177) + \Delta m_{np(178-189)} \cdot (t - 177), \text{ если } 178 \leq t \leq 189 \end{cases} \quad (3)$$

где:  $m$ - масса корма, (кг);  $t$ - день откорма, (сут.)

Запишем выражение для определения среднесуточного прироста потребления корма на каждом временном промежутке цикла откорма:

$$\Delta m_{np} = \frac{\Delta m_{к.норм}}{\Delta T} \quad (4)$$

где:  $\Delta m_{к.норм}$ - разница нормативных показателей потребления корма последующих временных промежутках, (кг/сут.);  $\Delta T$ - количество дней в промежутке откормочного цикла, (сут.)

Полученные значения среднесуточного прироста потребления корма приведены в таблице 3.

Таблица 3. Среднесуточный прирост потребления корма

Table 3: Average daily feed intake growth rate

День откорма	90-100	101-105	106-117	118-129	130-141	142-153	154-165	166-177	178-189
Среднесуточный прирост потребления корма, (кг/сут.)	0,027	0,02	0,008	0,02	0,013	0,008	0,008	0,017	0,02

На рисунке 2 представлен график изменения суточного потребления корма свиньей за цикл откорма.

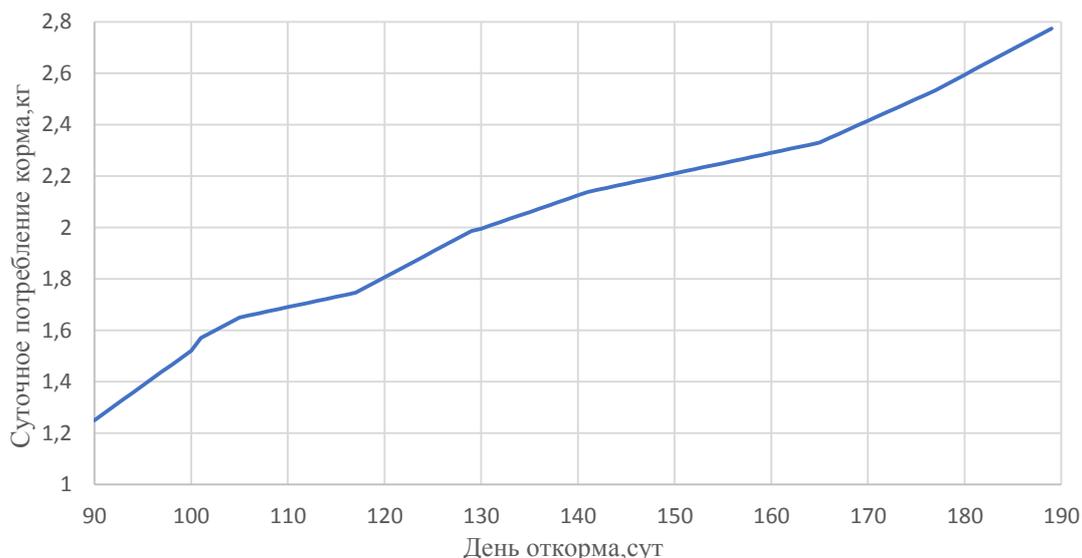


Рис.2. Изменение суточного потребления корма свиньей за цикл откорма  
 Fig.2. Change in daily feed intake of a pig over the fattening cycle

Для определения зависимости изменения потребления корма от роста живой массы свиньи запишем целевую функцию действительного аргумента, в которой коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного потребления корма свиньей к среднесуточным привесам на каждом временном промежутке цикла откорма:

$$m(M) = \begin{cases} m_k(M(90)) + \Delta m_{np(91-100)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{91-100}} (M - M(90)), \text{ если } M(90) \leq M \leq M(100) \\ m_k(M(100)) + \Delta m_{np(101-105)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{101-105}} (M - M(100)), \text{ если } M(101) \leq M \leq M(105) \\ m_k(M(105)) + \Delta m_{np(106-117)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{106-117}} (M - M(105)), \text{ если } M(106) \leq M \leq M(117) \\ m_k(M(117)) + \Delta m_{np(118-129)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{118-129}} (M - M(117)), \text{ если } M(118) \leq M \leq M(129) \\ m_k(M(129)) + \Delta m_{np(130-141)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{130-141}} (M - M(129)), \text{ если } M(130) \leq M \leq M(141) \\ m_k(M(141)) + \Delta m_{np(142-153)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{142-153}} (M - M(141)), \text{ если } M(142) \leq M \leq M(153) \\ m_k(M(153)) + \Delta m_{np(154-165)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{154-165}} (M - M(153)), \text{ если } M(154) \leq M \leq M(165) \\ m_k(M(165)) + \Delta m_{np(166-177)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{166-177}} (M - M(165)), \text{ если } M(166) \leq M \leq M(177) \\ m_k(M(177)) + \Delta m_{np(178-189)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{178-189}} (M - M(177)), \text{ если } M(178) \leq M \leq M(189) \end{cases} \quad (5)$$

На рисунке 3 представлен график изменения потребления корма от увеличения живой массы свиньи.

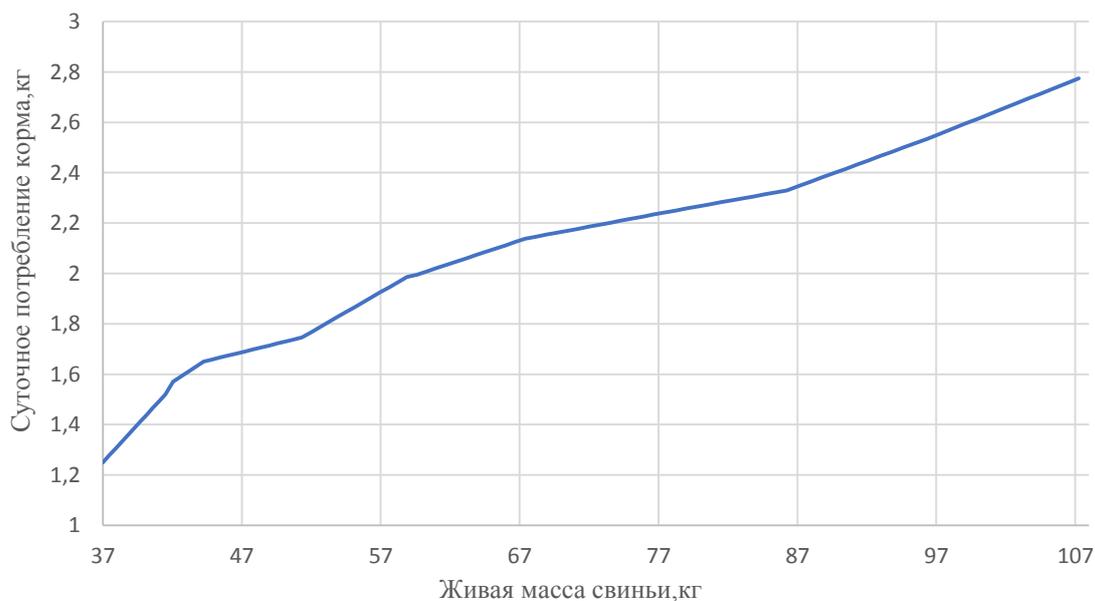


Рис.3. Изменение суточного потребления корма в зависимости от роста живой массы свиньи

Fig. 3. Variation of daily feed intake depending on pig live weight growth

Согласно статистическим данным на 1 килограмм сухого корма свиньи потребляют 2,5 литра воды, пользуясь данными среднесуточного потребления корма (таблица 1), запишем значения по среднесуточному потреблению воды в таблицу 4 [9]<sup>13</sup>.

Таблица 4. Среднесуточное потребление воды свиньями в различные промежутки цикла откорма

Table 4. Average daily water consumption of pigs at different intervals of the fattening cycle

День откорма	90-100	101-105	106-117	118-129	130-141	142-153	154-165	166-177	178-189
Среднесуточное потребление воды, (л/гол)	3,125	3,875	4,125	4,375	5	5,375	5,625	5,875	6,375

Запишем целевую функцию зависимости потребления воды свиньей, считая, что потребление воды на каждом временном промежутке цикла откорма прямо пропорционально количеству дней данного промежутка, где коэффициент пропорциональности  $\Delta v_{пр}$  среднесуточное изменение потребления воды, являющееся постоянным на каждом временном промежутке.

<sup>13</sup> Общая программа кормления молодняка [Электронный ресурс] <https://rostokkorm.ru/wp-content/uploads/2022/09/схема-свиньи.pdf> (дата обращения 8.11.2024)

$$v(t) = \begin{cases} v(90) + \Delta v_{np(91-100)} \cdot (t - 90), \text{ если } 90 \leq t \leq 100 \\ v(100) + \Delta v_{np(101-105)} \cdot (t - 100), \text{ если } 101 \leq t \leq 105 \\ v(105) + \Delta v_{np(106-117)} \cdot (t - 105), \text{ если } 106 \leq t \leq 117 \\ v(117) + \Delta v_{np(118-129)} \cdot (t - 117), \text{ если } 118 \leq t \leq 129 \\ v(129) + \Delta v_{np(130-141)} \cdot (t - 129), \text{ если } 130 \leq t \leq 141 \\ v(141) + \Delta v_{np(142-153)} \cdot (t - 141), \text{ если } 142 \leq t \leq 153 \\ v(153) + \Delta v_{np(154-165)} \cdot (t - 153), \text{ если } 154 \leq t \leq 165 \\ v(165) + \Delta v_{np(166-177)} \cdot (t - 165), \text{ если } 166 \leq t \leq 177 \\ v(177) + \Delta v_{np(178-189)} \cdot (t - 177), \text{ если } 178 \leq t \leq 189 \end{cases} \quad (6)$$

где:  $v$  - объем воды, (л);  $t$  - день откорма, (сут.)

Определение среднесуточного прироста потребления воды выполняется аналогично определению среднесуточного прироста потребления корма по выражению (4), при учете значений потребления воды в начале откорма - 3,125 литра (таблица 4) и конце откорма - 7,124 литра, полученного исходя из нормативного значения потребления корма свиньей при ее откорме более 190 дней, составляющего 2,85 килограмма и принятого значения количества воды, потребляемого свиньей на килограмм сухого корма - 2,5 литра [5].

Полученные данные приведены в таблице 5.

Таблица 5. Среднесуточный прирост потребления воды

Table 5. Average daily increase in water consumption

День откорма	90-100	101-105	106-117	118-129	130-141	142-153	154-165	166-177	178-189
Среднесуточный прирост потребления воды, (л/сут.)	0,068	0,05	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,04	0,06

На рисунке 4 представлен график изменения среднесуточного потребления воды свиньей за цикл откорма.

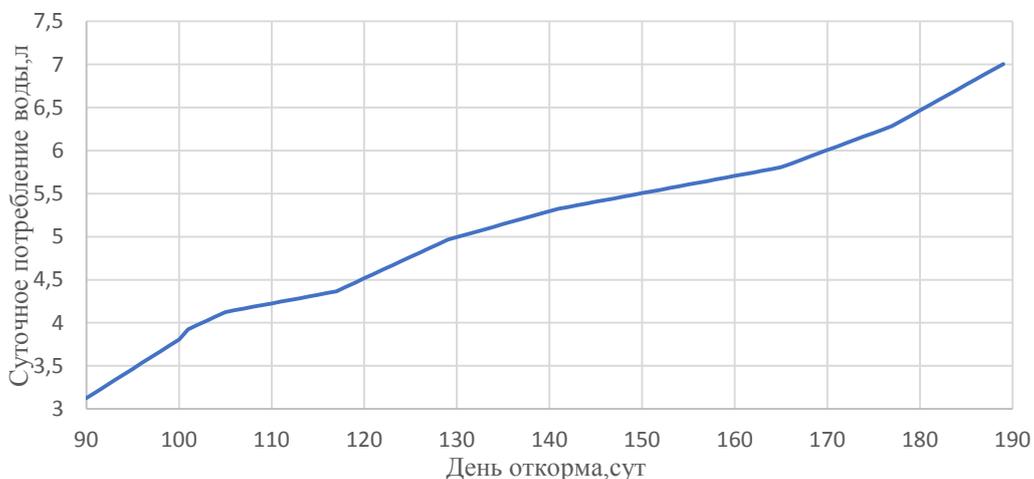


Рис.4. Изменение суточного потребления воды свиньей за цикл откорма

Fig. 4. Change in daily water consumption of pigs over the fattening cycle

Для определения зависимости изменения потребления воды от роста живой массы свиной запишем целевую функцию действительного аргумента в которой коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного потребления воды свиной к среднесуточным привесам на каждом временном промежутке цикла откорма:

$$v(M) = \begin{cases} v_k(M(90)) + \Delta v_{np(91-100)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{91-100}} (M - M(90)), \text{ если } M(90) \leq M \leq M(100) \\ v_k(M(100)) + \Delta v_{np(101-105)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{101-105}} (M - M(100)), \text{ если } M(101) \leq M \leq M(105) \\ v_k(M(105)) + \Delta v_{np(106-117)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{106-117}} (M - M(105)), \text{ если } M(106) \leq M \leq M(117) \\ v_k(M(117)) + \Delta v_{np(118-129)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{118-129}} (M - M(117)), \text{ если } M(118) \leq M \leq M(129) \\ v_k(M(129)) + \Delta v_{np(130-141)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{130-141}} (M - M(129)), \text{ если } M(130) \leq M \leq M(141) \\ v_k(M(141)) + \Delta v_{np(142-153)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{142-153}} (M - M(141)), \text{ если } M(142) \leq M \leq M(153) \\ v_k(M(153)) + \Delta v_{np(154-165)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{154-165}} (M - M(153)), \text{ если } M(154) \leq M \leq M(165) \\ v_k(M(165)) + \Delta v_{np(166-177)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{166-177}} (M - M(165)), \text{ если } M(166) \leq M \leq M(177) \\ v_k(M(177)) + \Delta v_{np(178-189)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{178-189}} (M - M(177)), \text{ если } M(178) \leq M \leq M(189) \end{cases} \quad (7)$$

На рисунке 5 представлен график изменения потребления воды от увеличения живой массы свиной.

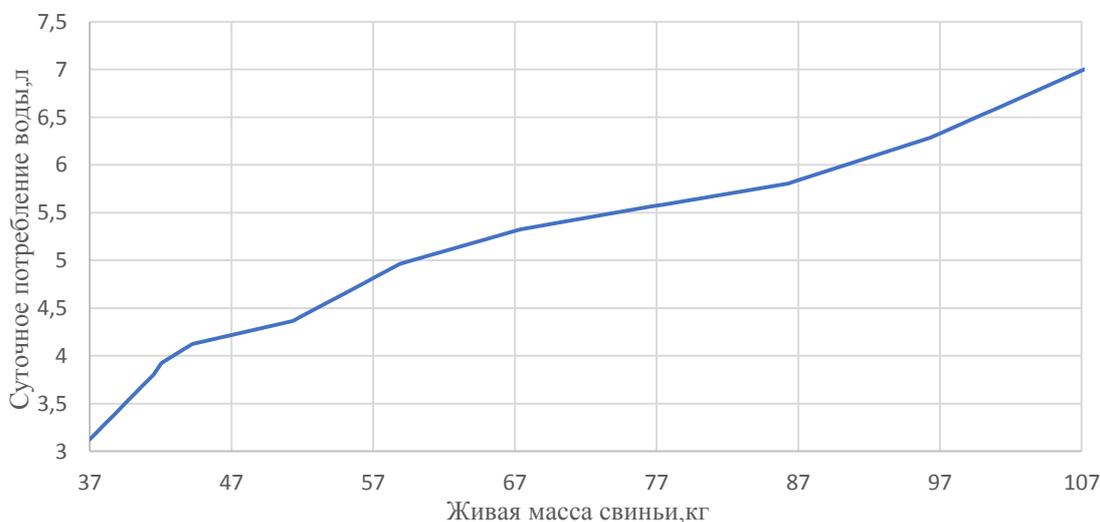


Рис.5. Изменение потребления воды от увеличения живой массы свиной

Fig. 5. Variation of water consumption from increasing pig live weight

Исходя из данных изменения массы откормочной свиной  $M(t)$  и нормативных показателей выхода навоза (Таблица 6) определим выход навоза за откормочный цикл в зависимости от роста живой массы свиной [10,11].

Таблица 6. Нормативные показатели выхода навоза от свиной на откорме в зависимости от ее массы

Table 6. Normative manure yield of a fattening pig depending on its weight

Масса свиньи, (кг)	35-40	40-80	80-110
Норма выхода навоза, (кг)	3,5-5,1	5,1-6,6	6,6-9,08

Выход навоза в каждом из трех указанных массовых промежутков прямо пропорционален массе свиньи или  $g(M)=kM+b$ . Причем коэффициент пропорциональности  $k$  для каждого промежутка является постоянным. Постоянные  $k$  и  $b$  определяются нормативными показателями выхода навоза рассматриваемого массового промежутка.

На массовом промежутке ( $M \in [35-40]$ ) постоянные  $k$  и  $b$  являются решением линейной системы:

$$\begin{cases} 35k + b = 3,5 \\ 40k + b = 5,1 \end{cases}$$

и имеют значения:  $k=0,32$ ;  $b=-7,7$ .

Аналогично определяются значения постоянных  $k$  и  $b$  на всех массовых промежутках.

Таким образом выход навоза при изменении живой массы свиньи  $g(M)$  является кусочно-линейной функцией действительного аргумента:

$$g(M) = \begin{cases} 0,32M - 7,7, & \text{если } 35 \leq M \leq 40 \\ 0,0125M + 4,6, & \text{если } 40 \leq M \leq 80 \\ 0,083M - 0,04, & \text{если } 80 \leq M \leq 110 \end{cases} \quad (8)$$

На рисунке 6 представлен график изменения выхода навоза от увеличения живой массы свиньи при использовании линейной интерполяции.

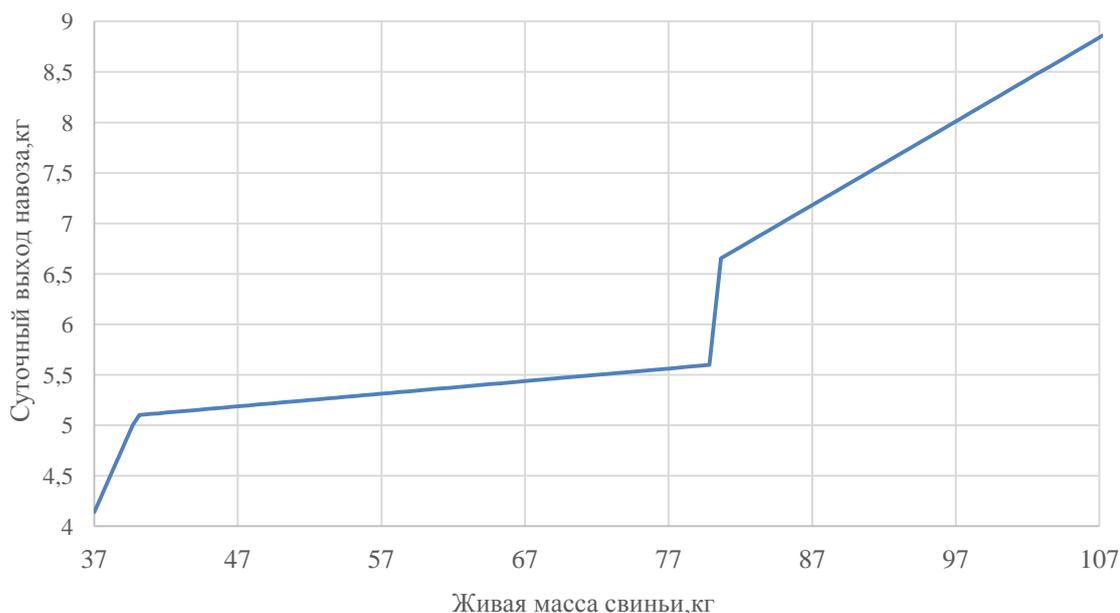


Рис.6. Изменение выхода навоза от увеличения живой массы свиньи

Fig. 6. Change in manure yield from increasing pig live weight

Для устранения образовавшихся в процессе моделирования скачков целесообразно построение интерполяционного многочлена методом Лагранжа [12,13].

Выберем из полученного множества значений выхода навоза 3 точки и запишем их значения и значения массы свиньи, соответствующие им в таблицу 7.

Таблица 7. Соответствующие значения живой массы свиньи и массы навоза за цикл откорма

Table 7. Corresponding values of pig live weight and manure weight per fattening cycle

	1	2	3
Масса свиньи (M), кг	37	65,28	107,25
Масса навоза g(M), кг	4,14	5,42	8,86

Запишем выражение интерполяции в общем виде:

$$g(M) = \sum_{i=1}^3 (g_i \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^3 \frac{M-M_j}{M_i-M_j}) \quad (9)$$

После вычисления многочленов запишем итоговый интерполяционный многочлен:

$$g(M) = 0,000522443M^2 - 0,00817383M + 3,72721 \quad (10)$$

На рисунке 7 представлен график заданной целевой функции (10)

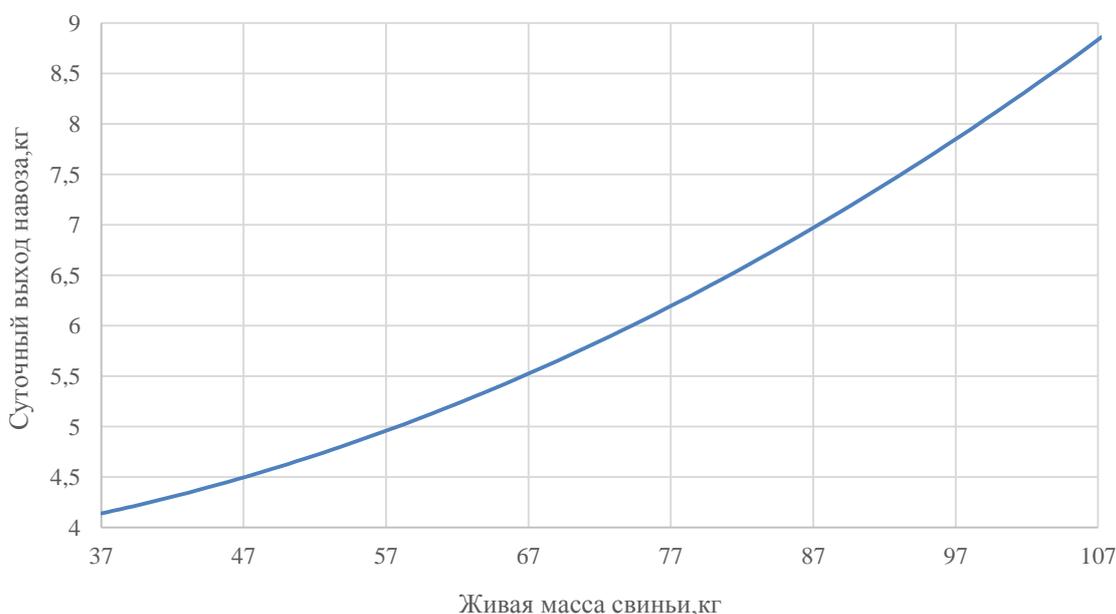


Рис.7. Изменение выхода навоза от увеличения живой массы свиньи

Fig. 7. Change in manure yield from increasing pig live weight

Учитывая изменения значений живой массы свиньи (рис.1), а также рекомендованный объем воздухообмена для каждого периода года, запишем выражение для определения необходимого воздухообмена в каждый день откормочного цикла:

$$V_o = M(t) \cdot v_n \quad (11)$$

где:  $V$  - необходимый воздухообмен, ( $m^3/ч$ );  $v_n$  - нормативный показатель воздухообмена в зависимости от периода года, ( $m^3/ч$ ).

Построим графики изменения воздухообмена в зависимости от изменения массы свиньи с учетом периода года и нормативных значений воздухообмена (РД-АПК 1.10.02.04-12), составляющих в холодный период года  $30 m^3/ч$ , в переходный –  $45 m^3/ч$ , в теплый период года –  $60 m^3/ч$  на 1 ц живой массы (рис. 8)

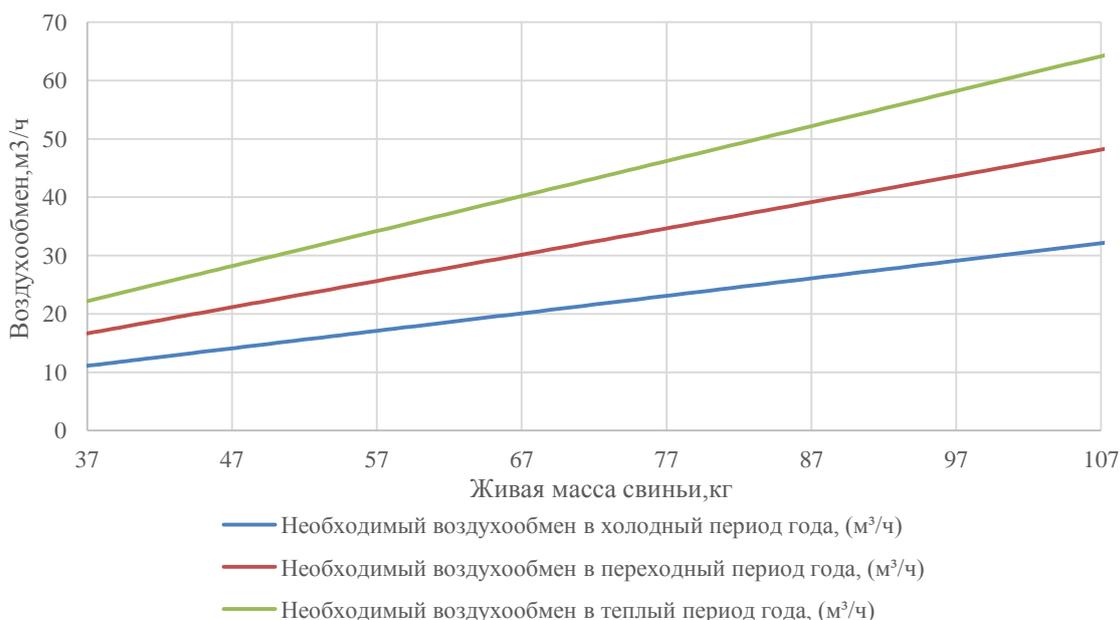


Рис. 8. Изменение воздухообмена в зависимости от роста живой массы свиньи с учетом периода года

Fig. 8. Variation of air exchange as a function of pig live weight growth with respect to the period of the year

Согласно рекомендациям, к проектированию свиноводческих предприятий (РД-АПК 1.10.02.04-12) для первого периода откорма свиней, длящегося с 90 по 160 день, оптимальная температура составляет 18°C, для второго периода откорма с 160 по 190 день данный показатель равен 16°C.

В данном случае, при выполнении линейной интерполяции зависимости температуры от увеличения живой массы свиньи, в точке  $M(160)=82,25$  кг будет резкое падение значения температуры, что не адекватно описывает процесс.

Для решения обозначенной проблемы, аналогично определению зависимости выхода навоза от увеличения живой массы свиньи, целесообразно применение метода Лагранжа.

В таблицу 8 запишем значения температуры, являющиеся оптимальными для начала и конца цикла откорма, а также значение температуры в точке  $M(160)$  которое является их средним арифметическим, и соответствующие значения массы свиньи.

Таблица 8. Соответствующие значения живой массы свиньи и температуры за цикл откорма

Table 8. Corresponding values of pig live weight and temperature per fattening cycle

	1	2	3
Масса свиньи (M), кг	37	82,25	107,25
Температура T(M), °C	18	17	16

Выражение интерполяции аналогично выражению (8), где узлами интерполирования являются указанные температурные значения.

В результате получено выражение итогового интерполяционного многочлена:

$$T(M) = -0,000254812M^2 + 0,0082869M + 18,0422 \quad (12)$$

На рисунке 9 представлен график заданной целевой функции (12)

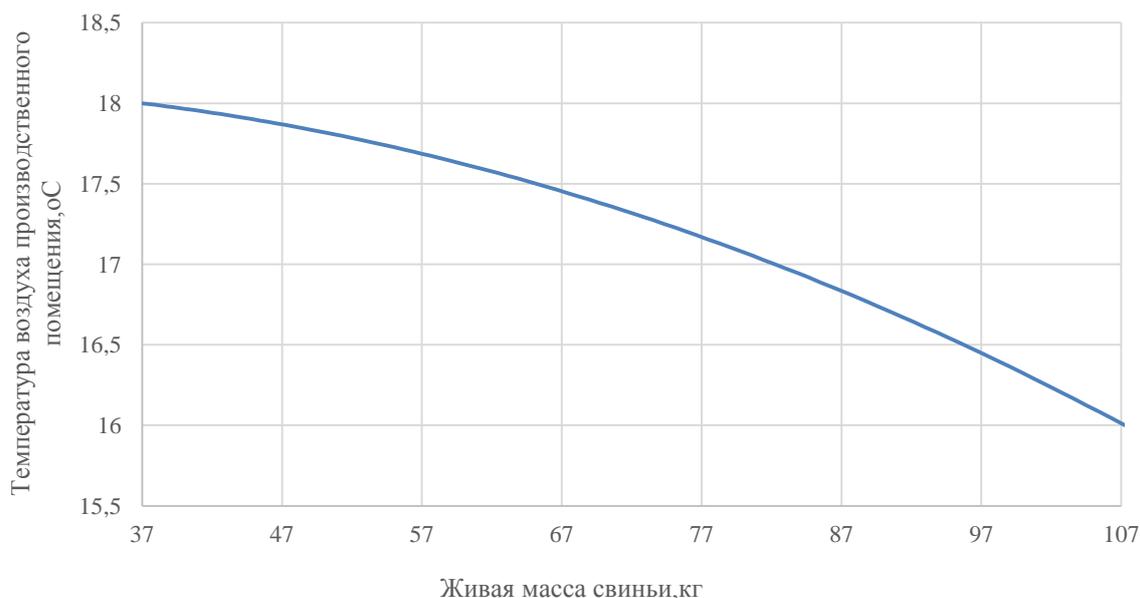


Рис.9. Изменение температуры в зависимости от роста живой массы свињи за цикл откорма

Fig. 9. Temperature change as a function of pig live weight growth over the fattening cycle

Согласно анализа литературных источников, освещенность для поросят после отъема до четырехмесячного возраста (120 дней) должна составлять 50 лк, для свиней первого периода откорма (до 160 дней) – 30 лк, и для свиней второго периода откорма (от 160 до 190 дней) 20 лк<sup>14</sup>. Также опубликованы данные том, что снижение освещенности до 10 лк способствует сокращению двигательной активности свиней на откорме на 33% и увеличению времени отдыха на 6,4%, что положительно сказывается на среднесуточных привесах ввиду более эффективного использования энергии корма, а также способствует снижению стрессовых ситуаций<sup>15</sup>.

Запишем значения изменения массы свињи на откорме  $M(t)$  и соответствующие им значения освещенности в определенный момент времени цикла откорма в таблицу 9.

Таблица 9. Соответствующие значения живой массы свињи и освещенности за цикл откорма

Table 9. Corresponding pig live weight and illumination values per fattening cycle

Масса свињи $M(t)$ , кг	$M(90)$ - $M(120)$	$M(120)$ - $M(160)$	$M(160)$ - $M(189)$
Освещенность $L$ , лк	50-30	30-20	20-10

В данном случае целесообразно выполнение линейной интерполяции, подразумевающей прямую пропорциональность освещенности массе свињи на каждом из массовых промежутков с постоянным коэффициентом пропорциональности.

<sup>14</sup> Нормы естественного и искусственного освещения животноводческих помещений [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/5709873/page:20/> (дата обращения 8.11.2024)

<sup>15</sup> Какой свет нужен в свинарнике? [Электронный ресурс] [https://agrobeltarus.by/articles/nauka/kakoy\\_svet\\_nuzhen\\_v\\_svinarnike\\_/?ysclid=m34bf9c1jd686846702](https://agrobeltarus.by/articles/nauka/kakoy_svet_nuzhen_v_svinarnike_/?ysclid=m34bf9c1jd686846702) (дата обращения 8.11.2024)

Для каждого из промежутков запишем систему уравнений вида  $L(M)=kM+b$  для определения значений постоянных  $k$  и  $b$ , полученные значения сведем в таблицу 10.

Таблица 10. Значения постоянных соответствующих определенному массовому промежутку

Table 10. Values of constants corresponding to a certain mass gap

Масса свиньи $M(t)$ , кг	$M(90)-M(120)$	$M(120)-M(160)$	$M(160)-M(189)$
$k$	-1,23	-0,35	-0,4
$b$	95,51	48,6	52,9

Согласно определенным значениям постоянных  $k$  и  $b$  запишем целевую функцию действительного аргумента изменения освещенности в зависимости от роста живой массы свиньи.

$$L(M) = \begin{cases} -1,23M + 95,51, & \text{если } 37 \leq M \leq 53,22 \\ -0,35M + 48,6, & \text{если } 53,22 \leq M \leq 82,25 \\ -0,4M + 52,9, & \text{если } 82,25 \leq M \leq 107,25 \end{cases} \quad (13)$$

На рисунке 10 представлен график заданной целевой функции (13)

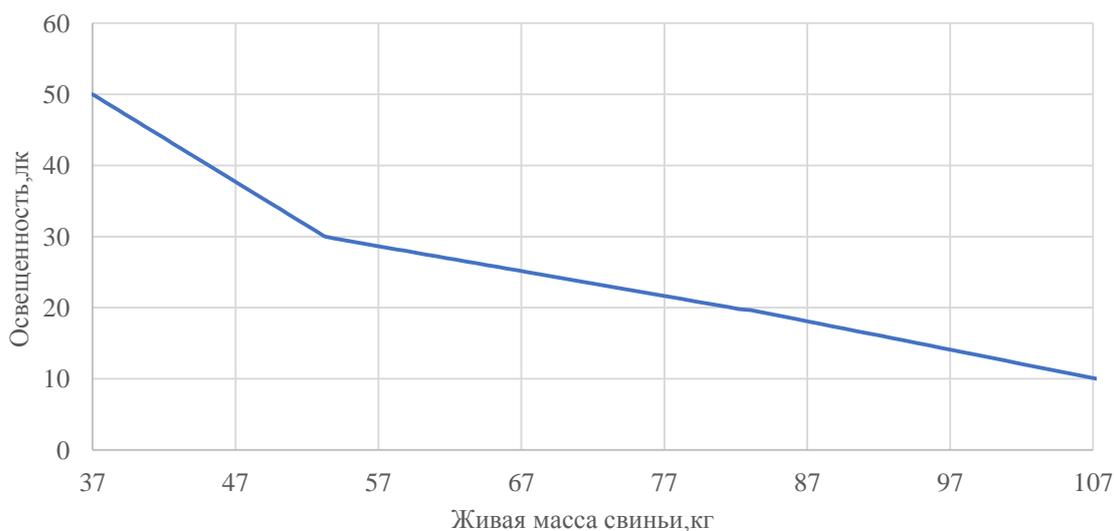


Рис.10. Изменение освещенности в зависимости от роста живой массы свиньи за цикл откорма

Fig. 10. Variation of illumination as a function of pig live weight growth over the fattening cycle

**Обсуждение.** На сегодняшний день потребление корма, воды, выход навоза, воздухообмен, температура производственного помещения и его освещенность на протяжении цикла откорма свиней определяется нормативным значениям, приведённым для длительных временных промежутков, на протяжении которых происходят значительные изменения физиологического состояния животных, что приводит к нерациональному использованию производственных ресурсов и способствует возникновению стрессовых ситуаций, например количество корма в начале определенного временного промежутка может быть избыточным для животных, что приводит к его не

полному поеданию, разбрасыванию и попаданию в навоз, тем самым увеличивая производственные издержки, тогда как в конце данного временного промежутка количество корма является недостаточным, ввиду увеличения живой массы животных, что приводит к снижению продуктивности и обострению конкурентной борьбы за корм.

Согласно мнению, обозначенному в ряде публикаций определение основных технико-технологических показателей, должно осуществляется регулярно и зависеть от изменения физиологического состояния животных в определённый момент производственного цикла [14,15].

Реализация данного подхода возможна за счет разработки систем управления принцип работы, которых основан на отслеживании физиологического состояния животных (например, изменения живой массы) и оперативном определении соответствующих значений технико-технологических показателей.

В данной работе приведены математические модели изменения потребления корма, воды, выхода навоза, воздухообмена, температуры производственного помещения и его освещенности в зависимости от роста живой массы свиньи. Полученные в результате моделирования зависимости в дальнейшем будут использованы для разработки программы функционирования системы управления процессом откорма свиней на предприятиях различного типоразмера.

**Выводы.** Разработанные модели зависимости потребления корма, воды, выхода навоза, изменения воздухообмена, температуры и освещенности от увеличения живой массы свиньи на протяжении цикла откорма позволят разработать систему управления производственными процессами свиноводческого предприятия обеспечивающую сокращение производственных издержек за счет удовлетворения потребностей животных в кормах, воде, оптимальном микроклимате в реальном времени, что в свою очередь обеспечит снижение количества стрессовых ситуаций возникающих в следствии конкурентной борьбы за корма и воду, а также резкого изменения температуры, воздухообмена и освещённости в производственном помещении.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цифровое сельское хозяйство. Ведомственный проект. М.: Росинформагротех. 2019. 48 с. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/elektronnye-kopii-izdaniy/normativnye-dokumenty-spravochniki-katalogi-i-dr/send/66-normativnye-dokumenty-spravochniki-katalogi/1346-vedomstvennyj-proekt-tsifrovoe-selskoe-khozyajstvo-2019?ysclid=m3h1doctnd218328663>
2. Селюк Ю.Н., Бондарчук О.В. Перспективные направления разработки систем управления микроклиматом животноводческих помещений // Актуальные вопросы в развитии АПК: новые тенденции и инновации. Дулатовские чтения-2023: матер. XV Межд. науч.-практ. конф. Костанай: Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, 2023. С. 251-254. URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/20529/1/perspektivnye-napravleniya-razrabotki-sistem-upravleniya-mikroklimatom-zhivotnovodcheskih-pomeshchenij.pdf>
3. Третьякова О.Л., Свиначев И.Ю, Святогоров Н.А. Оценка инновационных технологий в свиноводстве // Селекция и технология производства продукции животноводства: Матер. Межд. науч.-практ. конф. (пос. Персиановский, 10 февраля 2021 года). Пос. Персиановский: Донской ГАУ. 2021. С. 98-108. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45844213>
4. Лютых О. Технологичная среда: новые тенденции в свиноводстве // Эффективное животноводство. 2020. № 5(162). С. 11-16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832828>

5. Сорокин Н.Т., Виноградов В.Н., Ильин И.В., Смолинский А.А. и др. Методические рекомендации по проектированию технологий содержания, кормления и поения свиней различных половозрастных групп. М.: Росинформагротех. 2009. 86 с.
6. Пермяков А. Оптимизация производства свинины // Животноводство России. 2021. № 1. С.24-25. URL: <https://static.zzzr.ru/public/article/pdf/zzr-2021-01-007.pdf>
7. Мирошниченко О. Н., Дорохина Э. Э. Формирование продуктивных качеств молодняка свиней на откорме под влиянием тетрабиотика // Научные разработки и инновации в решении приоритетных задач современной зоотехнии. Матер. Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. (Курск, 16 марта 2022 г.). Курск: Курская ГСХА. 2022. С. 205-210. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qkqkge&ysclid=m3h1atqr8z287884275>
8. Плясунов Е. Д., Матросова Ю. В. Влияние генотипа на воспроизводительные качества свиноматок и показатели роста поросят // Вестник Курганской ГСХА. 2020. №. 1 (33). С. 45-47. URL: <https://kgsu.ru/upload/iblock/62f/qk34gv7cvni23zp1mhw2lt7znp5iw1r9.pdf>
9. Черный Н. В. Технология содержания влияет на прибыль // Животноводство России: Свиноводство. 2020. №. 10. С. 35-38. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.74.42.001>
10. Андреев В. А., Новиков М. Н., Лукин С. М. Использование навоза свиней на удобрение. М.: Росагропромиздат, 1990. 94 с.
11. Безуглов В. Г. Экологическая обстановка на животноводческих комплексах, фермах, птицефабриках и прилегающих к ним территориях // АгроЭкоИнфо. 2013. №. 1. С. 3. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21779618>
12. Нгуен В. В., Попов С. С. Применение метода наименьших квадратов и метода лагранжа при обработке результатов эксперимента // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие» (Санкт-Петербург, 27-31 августа 2020 г.). СПб.: Нацразвитие. 2020. С. 51-53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44020314>
13. Филиппова Е. Г. Применение интерполяции для поиска экстремума функции, заданной таблично // Применение информационных технологий и математического моделирования при решении исследовательских задач. Сб. науч. тр. Вып. 5 (253) / Под науч. ред. Г.А. Тимофеевой, О.В. Куликовой. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения. 2023. С. 105-113. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=sgutaj>
14. Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Базаев С.О., Комков И.В. Обзор исследований и технологий, применимых для цифровизации процесса оценки экстерьера животных в мясном и молочном животноводстве // Аграрная наука. 2024. №4. С. 114-122. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122>
15. Лысенко Ю. Реалии современного свиноводства // Эффективное животноводство. 2022. №. 3(178). С. 39-43. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48869390>

#### REFERENCES

1. Digital agriculture. Departmental project. Moscow: Rosinformagrotech. 2019. 48 с. (In Russ.) URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/elektronnye-kopii-izdanij/normativnye-dokumenty-spravochniki-katalogi-i-dr/send/66-normativnye-dokumenty-spravochniki-katalogi/1346-vedomstvennyj-proekt-tsifrovoe-selskoe-khozyajstvo-2019?ysclid=m3h1doctnd218328663>
2. Seluk Y.N., Bondarchuk O.V. Perspective directions of development of microclimate control systems of livestock buildings. In: Actual issues in the development of agroindustrial complex: new trends and innovations. Dulatov Readings-2023: Proc. XV Int. Sci. Prac. Conf. Kostanay: Kostanay Engineering and Economic University named after M. Dulatov. 2023:251-254. (In Russ.) URL:

<https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/20529/1/perspektivnye-napravleniya-razrabotki-sistem-upravleniya-mikroklimatom-zhivotnovodcheskih-pomeshchenij.pdf>

3. Tretyakova O.L., Svinarev I.Yu., Svyatogorov N.A. Evaluation of innovative technologies in pig breeding. In: Breeding and technology of livestock production: Proc. Int. Sci. Prac. Conf. (Persianovskiy Settl., February 10, 2021). Persianovsky Settl.: Donskoy SAU. 2021:98-108. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45844213>
4. Lyutykh O. Technological environment: new trends in pig breeding. *Effektivnoe zhivotnovodstvo = Efficient Animal Husbandry*. 2020;5(162):11-16. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832828>
5. Sorokin N.T., Vinogradov V.N., Ilyin I.V., Smolinsky A.A. et al. Methodical recommendations for designing technologies of housing, feeding and watering of pigs of different age and sex groups. Moscow: Rosinformagroteh. 2009. 86 p. (In Russ.)
6. Permyakov A.I. Optimization of pork production. *Zhivotnovodstvo Rossii = Animal Husbandry of Russia*. 2021;1:24-25. (In Russ.) URL: <https://static.zzzr.ru/public/article/pdf/zzr-2021-01-007.pdf>
7. Miroshnichenko O.N., Dorokhina E.E. Formation of productive qualities of young pigs on fattening under the influence of tetrabiotic. In: Scientific Developments and Innovations in Solving Priority Problems of Modern Zootechnics. Proc. All-Russian. (National) Sci. Prac. Conf, (Kursk, March 16, 2022). Kursk: Kursk State Agricultural Academy. 2022:205-210. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qkqkge&ysclid=m3h1atqr8z287884275>
8. Plyasunov E.D., Matrosova Yu.V. Genotype influence on reproductive qualities of sows and growth indicators of piglets. *Vestnik Kurganskoi GSKhA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2020;1:(33):45-47. (In Russ.) URL: <https://kgsu.ru/upload/iblock/62f/qk34gv7cvni23zp1mhw2lt7znp5iw1r9.pdf>
9. Chyorny N. V. Housing technology has effect on profit. *Zhivotnovodstvo Rossii = Animal Husbandry of Russia*. 2020;10:35-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.74.42.001>
10. Andreev V. A., Novikov M. N., Lukin S. M. Use of pig manure for fertilizer. Moscow: Rosagropromizdat. 1990. 94 p. (In Russ.)
11. Bezuglov V. G. Ecological situation at livestock complexes, farms, poultry farms and adjacent territories. *AgroEkoInfo = AGROECOINFO*. 2013;1:3. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21779618>
12. Nguyen V. V., Popov S. C. Application of the method of least squares and Lagrange method in the processing of experimental results. In: Collection of selected articles on the materials of scientific conferences of the State Research Institute “Naurazvitie” (Saint Petersburg, August 27-31, 2020). Saint Petersburg: Naurazvitie. 2020: 51-53. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44020314>
13. Filippova E. G. Application of interpolation to find the extremum of the function given in tables. In: Timofeeva G.A., Kulikova O.V. (eds.) Application of information technologies and mathematical modeling in solving research problems. Coll. Sci. Papers. Ekaterinburg: Ural State University of Railway Transport. 2023; 5 (253):105-113. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=sgutaj>
14. Yurochka S.S., Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O., Komkov I.V. Review of researches and technologies applicable to digitalization of the process of assessing the exterior of meat and dairy animals. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*. 2024;(4):114-122. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122>

15. Lysenko Y. Realities of modern pig breeding. *Effektivnoe zhivotnovodstvo = Efficient Animal Husbandry*. 2022;3(178):39-43. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48869390>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<b>Илья Евгеньевич Плаксин</b> , канд. техн. наук, научный сотрудник, отдел агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия; <a href="mailto:ilyaplaxin@gmail.com">ilyaplaxin@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-3695-0820">https://orcid.org/0000-0002-3695-0820</a>	<b>Ilya E. Plaksin</b> , 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, Filtrovskoye Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia <a href="mailto:ilyaplaxin@gmail.com">ilyaplaxin@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-3695-0820">https://orcid.org/0000-0002-3695-0820</a>
<b>Алексей Валериевич Трифанов</b> , канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, отдел агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия; <a href="mailto:trifanovav@mail.ru">trifanovav@mail.ru</a> , <a href="https://orcid.org/0000-0002-3503-6148">https://orcid.org/0000-0002-3503-6148</a>	<b>Alexey V. Trifanov</b> , 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, Filtrovskoye Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia, <a href="mailto:trifanovav@mail.ru">trifanovav@mail.ru</a> , <a href="https://orcid.org/0000-0002-3503-6148">https://orcid.org/0000-0002-3503-6148</a>
<b>Заявленный вклад авторов</b> И.Е. Плаксин – теоретические предпосылки, создание черновика рукописи, А.В. Трифанов – создание окончательной версии (доработка) рукописи, администрирование данных	<b>Authors' contribution</b> I.E. Plaksin – theoretical background, drafting the manuscript, A.V.Trifanov – revision and finalizing the manuscript, data administration
<b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	<b>Conflict of interests</b> 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.
<b>Статья поступила в редакцию:</b> 14.11.2024	<b>Received:</b> 14.11.2024
<b>Одобрена после рецензирования:</b> 04.12.2024	<b>Approved after reviewing:</b> 04.12.2024
<b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024	<b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024

## РАСЧЕТ УРОВНЯ ВЫБРОСОВ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОКА

Сергей Валерьевич Вторый<sup>1✉</sup>, Татьяна Юрьевна Миронова<sup>2</sup>, Татьяна Ивановна Гордеева<sup>3</sup>,  
Светлана Николаевна Матейчик<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>vt\_1981@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

<sup>2</sup> mironova-tat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>

<sup>3</sup>cow-sznii@yandex.ru. ORCID:<http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>

<sup>4</sup> cet\_nord@yahoo.com

**Аннотация.** Производство животноводческой продукции, в частности молока, связано с выделением в атмосферу целого ряда климатически активных газов, наносящих вред не только окружающей среде, но и самим животным. Определение уровня этих выбросов на молочных фермах КРС осложняется значительным количеством взаимодействующих между собой факторов, начиная от сезона года и региональных природно-климатических условий, и до таких как частота уборки навоза и применяемого подстилочного материала. Целью исследования является разработка модели и базы данных, позволяющих рассчитать уровень выбросов климатически активных газов при производстве молока на фермах КРС с учетом влияния элементов технологий содержания и обслуживания животных, а также природно-климатических условий. В качестве методологической основы проведения научной работы использованы монографические методы исследования, изучение научных публикаций, проведение информационно-логического анализа научно-технической информации. С использованием информационных технологий и результатов исследований разработана информационно-расчетная модель и сформирована база данных для расчета уровня выбросов климатически активных газов на фермах КРС с учетом природно-климатических условий и особенностей технологий производства молока в конкретной сельскохозяйственной организации.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, молочная ферма, коэффициенты выбросов, информационно-расчетная модель, база данных.

**Для цитирования:** Вторый С. В., Миронова Т. Ю., Гордеева Т. И., Матейчик С. Н. Расчет уровня выбросов климатически активных газов при производстве молока // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С.131-143. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-131-143>

Research article

Universal Decimal Code 631.22

## CALCULATION OF EMISSION LEVEL OF CLIMATE ACTIVE GASES IN MILK PRODUCTION

Sergei V. Vtoryi<sup>1✉</sup>, Tatyana Yu. Mironova<sup>2</sup>, Tatyana I. Gordeeva<sup>3</sup>, Svetlana N. Mateichik<sup>4</sup>

<sup>1</sup>vt\_1981@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

<sup>2</sup> mironova-tat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>

<sup>3</sup>cow-sznii@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>

<sup>4</sup>cet\_nord@yahoo.com

**Abstract.** The production of livestock products, with milk among others, emits several climate-active gases. They harm both the environment and the animals themselves. A significant number of interacting factors make it difficult to determine the level of these emissions on dairy cattle farms. These factors range from the season and regional climatic conditions to the frequency of manure removal and the bedding material used. The study aimed to create a model and database to calculate the level of emissions of climate-active gases in milk production on cattle farms. The study took into account the effect of elements of animal housing and care technologies and the natural and climatic conditions. The study basis was monographic research methods, review of scientific publications, information and logical analysis of scientific and technical information. With the use of information technologies and research results, the study created an information and computing model, and formed and registered a database. These outputs will be applied for estimating the emissions of climate-active gases on cattle farms with due account for natural and climatic conditions and specific features of milk production technologies in a particular farm.

**Key words:** cattle, dairy farm, emission factors, information and computing model, database.

**For citation:** Vtoryi S.V., Mironova T.Yu., Gordeeva T.I., Mateichik S. N. Calculation of emission level of climate-active gases in milk production. *AgroEcoEngineering*. 2024; 4(121): 131-1430 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-131-143>

**Введение.** Производство животноводческой продукции, и в частности молока, связано с выделением в атмосферу целого ряда климатически активных газов (КАГ), наносящих вред не только окружающей среде, но и самим животным. В воздухе помещений, где содержатся коровы, вследствие процессов их жизнедеятельности, а также из-за разложения навоза и остатков кормов, образуется большое количество таких газов как CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>. Рост концентрации КАГ в помещении на начальных стадиях вызывает беспокойство коров, а в дальнейшем проявляется раздражение кожных покровов и дыхательных путей, снижается продуктивность и сопротивление организма к различным инфекциям.

Уровни выбросов климатически активных газов на молочных фермах были рассмотрены в ряде работ с различными подходами к исследованию, позволяющими провести сравнение технологий и операций при учете технологических параметров и различных переменных, наиболее влияющие на эти выбросы. Отмечается, что углекислый газ (CO<sub>2</sub>) в коровнике выделяется при разложении органических веществ и дыхании животных. Выбросы углекислого газа через дыхание животных зависят от массы животных и потребляемого корма, а выбросы с пола зависят от температуры в коровнике и площади поверхности пола, покрытой навозом [1-2]. Выбросы закиси азота (N<sub>2</sub>O) в большей степени это выбросы из навоза. Они образуются, когда соединения азота в навозе разлагаются и минерализуются в условиях ограниченного содержания кислорода [3-5].

Основные выбросы метана ( $\text{CH}_4$ ) в молочном производстве связаны с энтеральной ферментацией. Метан вырабатывается как побочный продукт в рубце и толстой кишке животных. Количество произведенного энтерального  $\text{CH}_4$  зависит от количества потребленного корма, его структуры и питательности, а также от продуктивности и породы коров. Метан также образуется в экскрементах из непереваренного органического вещества и выбрасывается в животноводческие помещения [6-7]. К основным факторам, влияющими на выбросы аммиака ( $\text{NH}_3$ ) на фермах, относятся тип пола, система удаления навоза, рацион и микроклиматические условия внутри помещения [8-11].

На основании представленного анализа научно-технической литературы получены значения коэффициентов выбросов климатически активных газов при беспривязном содержании и обслуживании крупного рогатого скота, результаты которого представлены на рисунке 1.

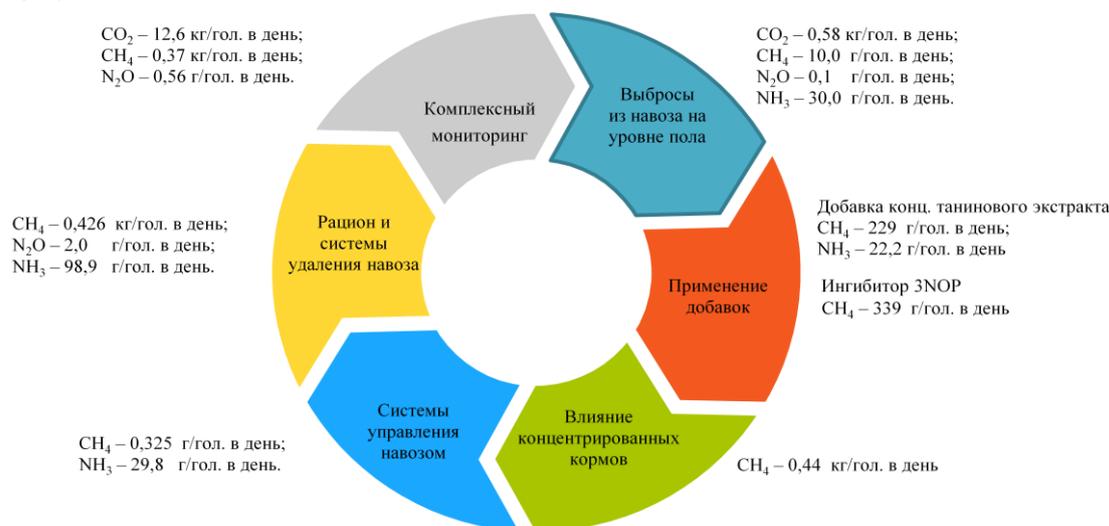


Рис. 1. Коэффициенты выбросов климатически активных газов при содержании и обслуживании крупного рогатого скота

Fig. 1. Emission factors of climate-active gases in cattle housing and care

Полученные данные дают общее представление о влиянии отдельных технологических операций при содержании КРС на формирование состава и объема выбросов КАГ в окружающую среду. Можно отметить, что наибольшее влияние на выбросы оказывают технология уборки навоза и выделение метана коровами при энтеральной ферментации в зависимости от состава и рациона кормления.

Схема связей животного и технологических операций с выбросами климатически активных газов при производстве молока показана на рисунке 2.

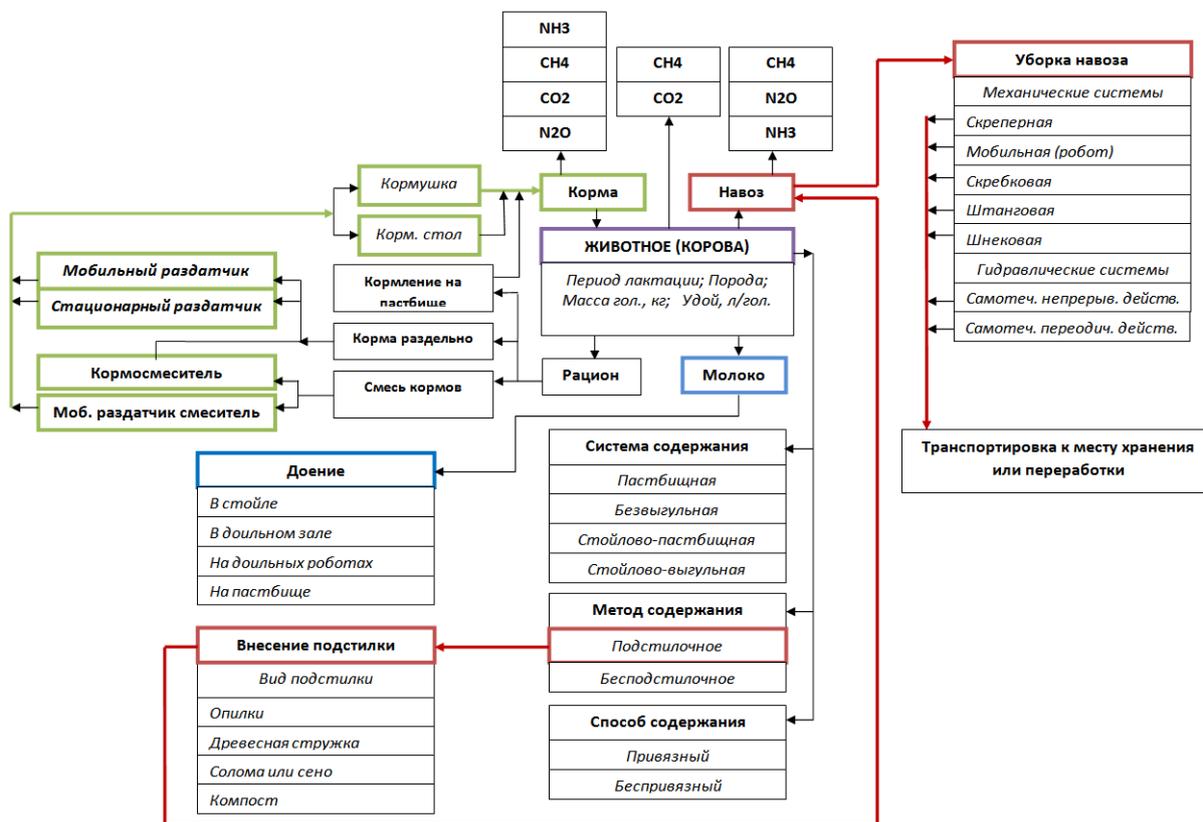


Рис. 2. Схема связей животного и технологических операций с выбросами климатически активных газов при производстве молока

Fig. 2. Schematic diagram of how an animal and technological operations are linked with emissions of climate-active gases in a milk production

Производство молока включает в себя элементы технологии содержания и обслуживания животных. Способ содержания является основным, он определяет основные параметры технологии производства молока. В России традиционным является привязный способ содержания (63% поголовья), но все более широкое применение получает беспривязный способ, чему способствует опыт регионов России и зарубежных стран с высокоэффективным молочным животноводством.

Непосредственно животные при этих технологиях выделяют одинаковое количество климатически активных газов, а интенсивность выделения в большей степени зависит от продуктивности, массы животных и рациона. Необходимо отметить, что с ростом продуктивности структура рациона меняется в сторону увеличения его энергетической эффективности, увеличения доли концентрированных кормов и снижения выбросов метана, что характерно для этих технологий.

Основное отличие этих технологий с точки зрения выбросов заключается в системе уборки и утилизации навоза, являющегося продуктом жизнедеятельности коров. В привязных технологиях применяется в основном система уборки скрепковыми транспортерами с ограниченным контактом с атмосферой животноводческого помещения. В беспривязных технологиях навоз убирается скреперными установками с большой площадью контакта навоза с атмосферой коровника, что увеличивает интенсивность выбросов.

Определение выбросов климатически активных газов на молочной ферме КРС осложняется значительным количеством взаимодействующих между собой факторов,

начиная от сезона года и региональных природно-климатических условий, и до таких как частота уборки навоза и применяемого подстилочного материала.

**Целью исследования** является разработка модели и базы данных, позволяющих рассчитать уровень выбросов климатически активных газов при производстве молока на фермах КРС, с учетом влияния элементов технологий содержания и обслуживания животных, а также природно-климатических условий.

**Материалы и методы.** В качестве методологической основы проведения научной работы использованы монографические методы исследования, изучение научных публикаций, проведение информационно-логического анализа научно-технической информации.

Теоретической базой проведения исследований послужили научно-исследовательские работы [12-15], посвященные расчету технолого-биологических показателей, соответствующих модели «животное-машина-окружающая среда».

Для расчета интенсивности эмиссии метана в процессе энтеральной ферментации важно знать переваримость кормов  $DE\%$ , которая зависит от ряда факторов. Переваримость кормов тесно связана с молочной продуктивностью, т.к. с ее ростом меняется структура рациона с преобладанием концентрированных кормов, обладающих более высокой переваримостью по сравнению с другими кормами. На основании данных РД-АПК 1.10.01.01-18<sup>16</sup>, методом регрессионного анализа, получена математическая модель зависимости переваримости кормов  $DE\%$  от суточной молочной продуктивности коров  $P$ :

$$DE\% = 0,008 \cdot P^2 + 1,121 \cdot P + 50,8 \quad (1)$$

Для расчета выбросов климатически активных газов из навоза получено уравнение регрессии суточного выхода навоза  $N$ <sup>17</sup> при различной массе  $m$  и продуктивности коров  $P$ :

$$N = 12,165 + 0,0201 \cdot m + 2,4775 \cdot P \quad , \text{ кг/гол. сут.} \quad (2)$$

Наиболее сложной проблемой является измерения выбросов климатически активных и вредных газов из коровников с естественной системой вентиляции при турбулентном движении воздуха. Для непосредственного измерения таких потоков нет современных технических средств. В практике принято определение воздухообмена методами косвенных измерений с использованием индикаторных газов. В нашем случае наиболее приемлемо применение в качестве индикаторного газа  $\text{CO}_2$  [15].

Интенсивность воздухообмена характеризуется кратностью воздухообмена  $k_v$ :

$$k_v = \frac{q_0}{(q_k - q_n)}, \text{ ч}^{-1} \quad (3)$$

где  $q_0$  - концентрация  $\text{CO}_2$  в коровнике при отсутствии воздухообмена,  $\text{мг/м}^3$ ,

$q_k$  - средняя концентрация  $\text{CO}_2$  в коровнике,  $\text{мг/м}^3$ ,

$q_n$  - средней концентрации  $\text{CO}_2$  в наружном воздухе,  $\text{мг/м}^3$ .

---

<sup>16</sup> РД-АПК 1.10.01.01-18. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. М.: Росинформагротех. 2018. 166 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/560851915>

**Результаты.** С использованием информационных технологий и результатов исследований разработана информационно-расчетная модель и база данных выбросов климатически активных газов при производстве молока КРС, которые позволяют выполнить анализ-прогноз выбросов климатически активных газов с учетом природно-климатических условий, в которых находится конкретное хозяйство. Схема связей информационно-расчетной модели и базы данных показана на рисунке 3.

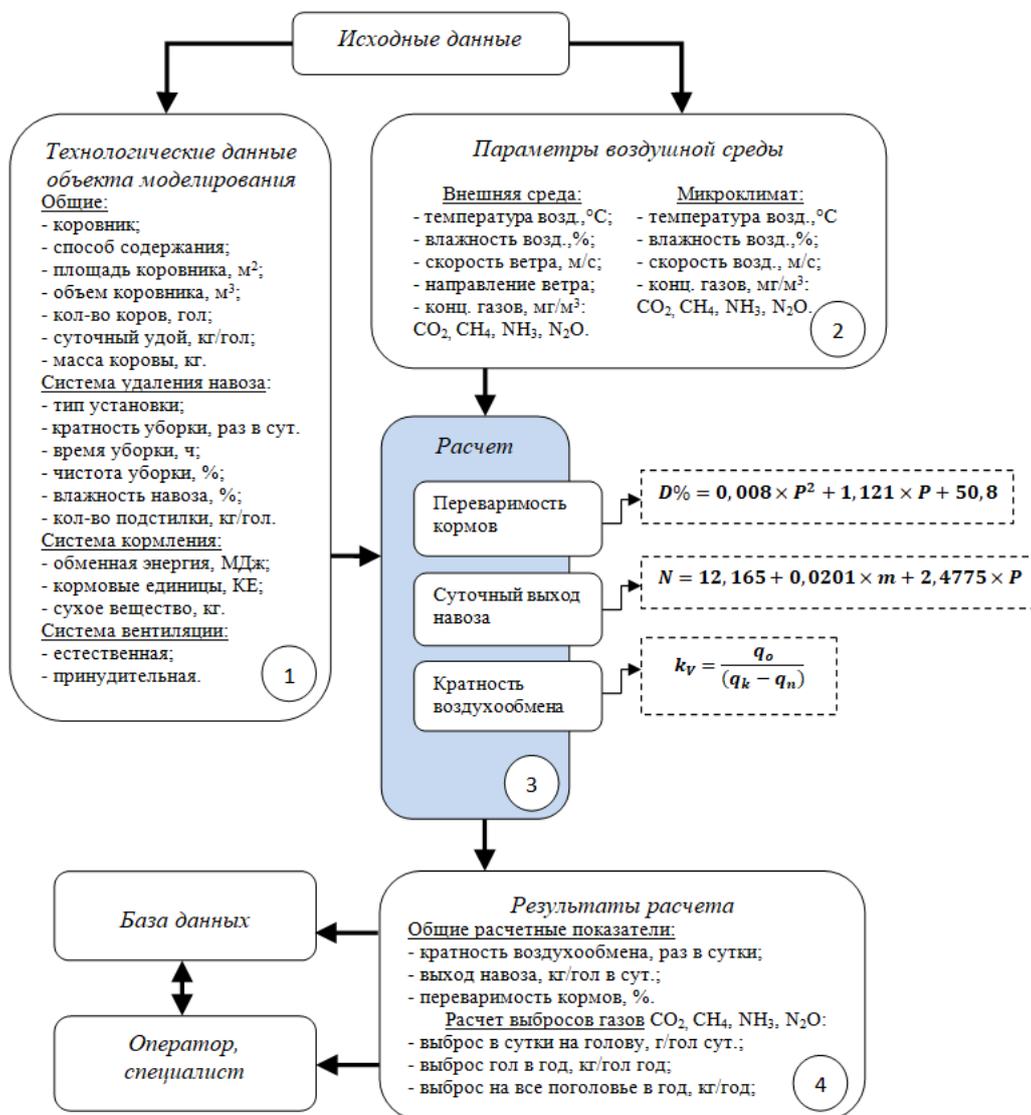


Рис. 3. Схема связей информационно-расчетной модели и базы данных

Fig. 3. Scheme of links between the information and computing model and the database

Работу с информационно-расчетной моделью и базой данных осуществляет оператор, в задачи которого входит ввод технологических данных объектов моделирования (блок 1) и параметров воздушной среды (блок 2). Блок 3 расчета объема выбросов содержит ряд взаимосвязанных математических зависимостей. Результаты расчета (блок 4) отображаются на мониторе оператора и сохраняются в базе данных.

База данных «Показатели оценки выбросов климатически активных газов на фермах крупного рогатого скота» [Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024621212, 20.03.2024] необходима для формирования массива статистической и производственно-экспериментальной информации, применяемой в научных исследованиях и при подготовке

различной справочной информации по фермам КРС. В базе структурируется следующая информация с привязкой к району и региону РФ: наименование фермы (хозяйства), категория, контактная информация и краткие производственные сведения; отмечается количество животноводческих помещений (коровников) на каждой ферме (в хозяйстве) с приведением технико-технологической информации; вносятся модельные или экспериментальные данные параметров воздушной среды животноводческих помещений (коровников).

Основу базы данных составляют объекты данных. При этом каждый объект данных в своей структуре имеет форму ввода и таблицу, в которой объединяется группа показателей. Эти показатели, с технологической точки зрения, позволяют произвести расчет, на основе модели, выброса КАГ, как на уровне коровника, так и в среднем на уровне региона.

В базе данных имеется 6 объектов: регионы, районы, хозяйства, коровники, техника для удаления навоза, данные для расчета (рисунок 4). Вся поступающая информация (параметры физиологического состояния животного, количественные и качественные характеристики продуктивности и отходов животного, технические параметры систем, параметры внешней и внутренней среды помещений) формируется в таблицы с данными.

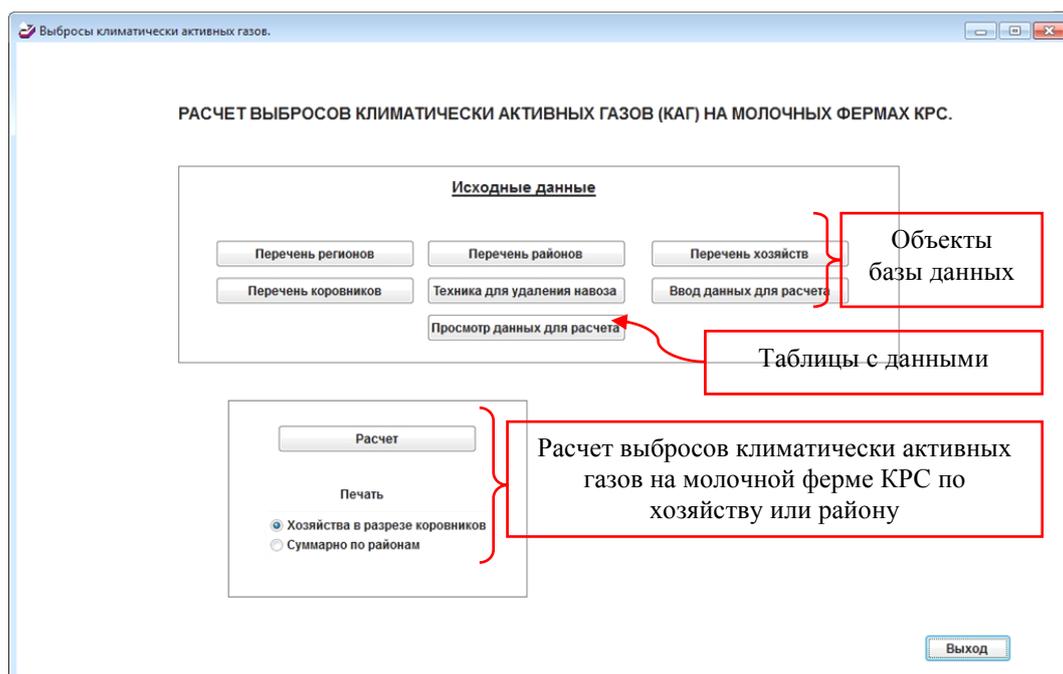


Рис. 4. Главный интерфейс базы данных  
Fig. 4. Main interface of the database and computing model

На рисунке 5 представлена схема ввода данных и результатов расчета выбросов климатически активных газов на молочной ферме КРС. Показан интерфейс пользователя (1), отражающий форму для заполнения, содержащую перечень полей технологических и полученных экспериментальных данных по каждому коровнику в отдельном хозяйстве. Приведены примеры таблицы с данными (2) и итоговой формы расчета (3).

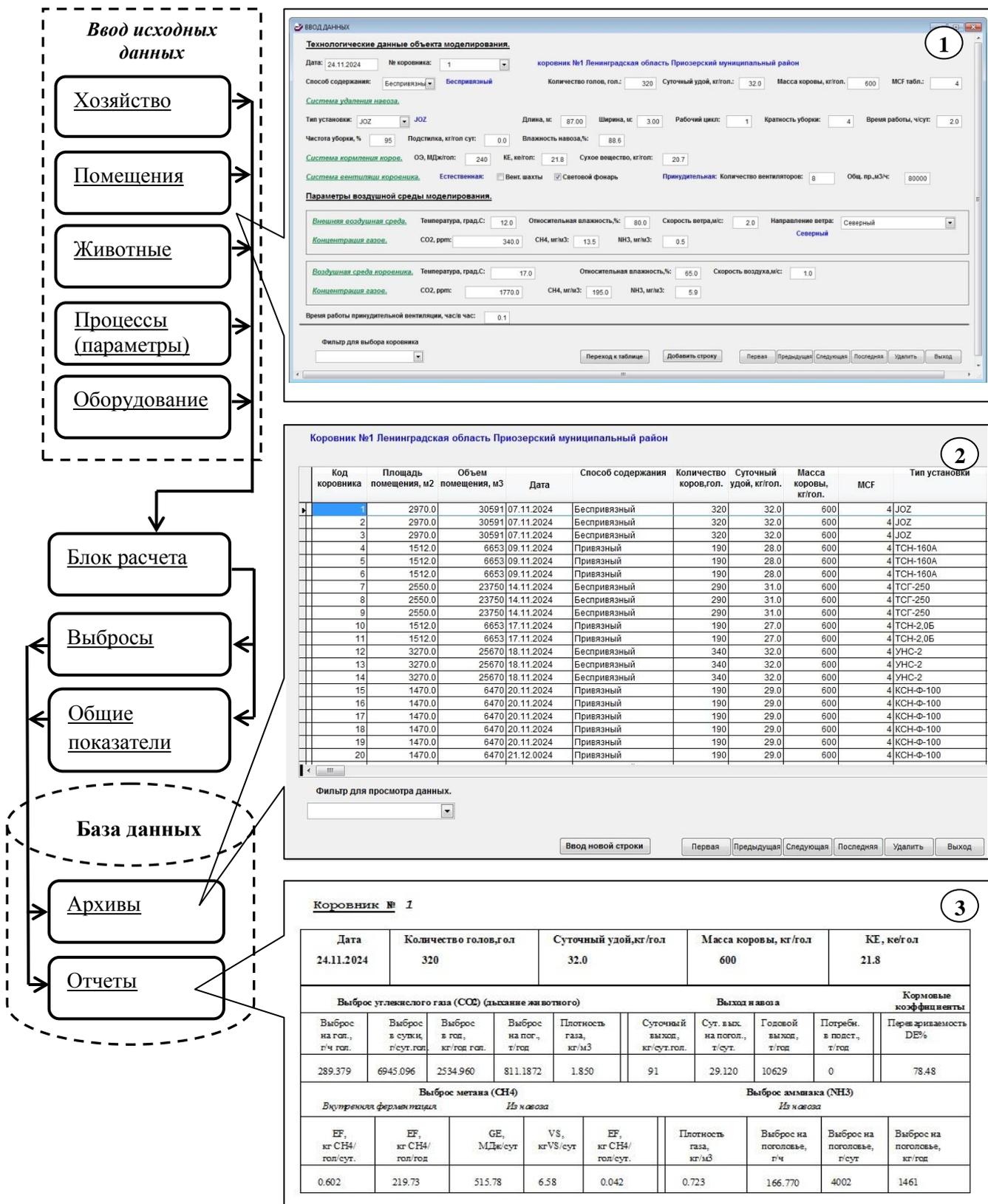


Рис. 5. Схема ввода данных и результатов расчета выбросов КАГ

Fig. 5. Scheme for data input and results of emission calculation of climate-active gases

Таблица с данными (2) структурирована по однотипным строкам и столбцам. В итоговой форме расчета (3) отражены основные показатели технологии, соответствующие

объекту исследования (коровнику), с расчетными объемами выбросов климатически активных газов.

**Обсуждение.** При разработке и внедрении перспективных технологий производства молока необходимо уделять внимание выполнению технологических процессов и операций по содержанию и обслуживанию животных, обеспечивающих минимизацию выбросов климатически активных газов. Это в первую очередь относится к системе навозоудаления, организации кормления животных, оптимизации их рационов и системе приготовления и раздачи кормов.

Информационно-расчетная модель и база данных выбросов климатически активных газов при производстве молока КРС, позволяющая с учетом фактических концентраций газов в коровнике и полученного коэффициента кратности воздухообмена  $k_v$  производить расчет уровня выбросов аммиака, метана и закиси азота в окружающую среду. Конечным результатом являются объемы выбросов этих газов в расчете на голову, коровник или всё молочное поголовье хозяйства в сутки.

Комплексным критерием экологической эффективности технологии служит суммарный уровень выбросов всех газов в  $\text{CO}_2$ -экв. на 1 кг произведенного молока. При высокой продуктивности (более 30 кг/гол. сут.) значение показателя ниже 0,7 кг  $\text{CO}_2$ -экв.; при низкой продуктивности (менее 20 кг/гол. сут.) значение показателя более 1,1 кг  $\text{CO}_2$ -экв. на 1 кг полученного молока [17].

Результаты расчета уровня выбросов климатически активных газов на группу из 320 коров в сутки, со среднесуточным удоем 32 кг/гол., составили 4300 кг  $\text{CO}_2$ -экв или 13,45 кг  $\text{CO}_2$ -экв. на голову. Комплексный критерий экологической эффективности равен 0,42 кг  $\text{CO}_2$ -экв. на 1 кг произведенного молока.

**Выводы.** Разработана информационно-расчетная модель и сформирована база данных «Показатели оценки выбросов климатически активных газов на фермах крупного рогатого скота» (Свидетельство о регистрации № 2024621212) для расчета выбросов климатически активных газов на фермах КРС с учетом природно-климатических условий и особенностей технологий производства молока в конкретной сельскохозяйственной организации.

База данных необходима для формирования массива статистической и производственно-экспериментальной информации. Она может быть использована в проектных работах при реконструкции животноводческих помещений (коровников), при выполнении исследовательских работ по оценке хозяйств и экологическими службами для контроля уровня выброса КАГ от животноводческих помещений (коровников).

С использованием разработанных модели и базы данных проведены расчеты уровня выбросов климатически активных газов для группы коров со среднесуточным удоем 32 кг на голову. Комплексный критерий экологической эффективности, по результатам расчетов, составил 0,42 кг  $\text{CO}_2$ -экв. на 1 кг произведенного молока.

Дальнейшие исследования выбросов климатически активных газов на фермах и комплексах КРС при производстве молока с использованием базы данных позволят дополнить ее с учетом особенностей регионов РФ; уточнить зависимости объемов выбросов климатически активных газов при различных технологиях содержания и обслуживания КРС и принципы работы информационно-расчетной модели.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rotz C. A. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farm // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 101(7). P. 6675 - 6690. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>
2. Вторый В.Ф., Вторый С.В., Базыкин В.И. Результаты исследований концентраций климатически активных газов в коровнике с беспривязным содержанием // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 4(113). С.114-121. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-114-120>
3. Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Результаты экспериментальных исследований по определению эмиссии азота в процессе уборки навоза из помещения // *Вестник ВНИИМЖ*. 2017. №3(27). С. 119-123. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30268474>
4. Rzeznik W., Mielcarek P., Rzeznik I. Pilot study of greenhouse gases and ammonia emissions from naturally ventilated barns for dairy cows // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016. Vol. 25(6). P. 2553-2562. <https://doi.org/10.15244/pjoes/63660>
5. Edouard N., Charpiot A., Robin P., Lorinquer E., Dollé J.-B., Faverdin P. Influence of diet and manure management on ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns // *Animal*. 2019. Vol. 13(12). P. 2903-2912 <https://doi.org/10.1017/S1751731119001368>
6. Hristov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T., Yarper M.T. et al. Short communication: Comparison of the GreenFeed system with the sulfur hexafluoride tracer technique for measuring enteric methane emissions from dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99(7). P. 5461-5465. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10897>
7. Schmithausen A. J., Schiefler I., Trimborn M., Gerlach K., Südekum K.-H., Pries M., Büscher W. Quantification of methane and ammonia emissions in a naturally ventilated barn by using defined criteria to calculate emission rates // *Animals*. 2018. Vol. 8(5),75. <https://doi.org/10.3390/ani8050075>
8. Chiumenti A., Borso F., Pezzuolo A., Sartori L., Chiumenti R. Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robotic scrapers // *Research in Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 64(1). P. 26-33. <https://doi.org/10.17221/33/2017-RAE>
9. Скоркин В.К., Ларкин Д.К., Аксенова В.П. Влияние мощности ферм крупного рогатого скота на экологию окружающей среды // *Вестник ВИЭСХ*. 2017. № 3(28). С. 139-144. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30647982>
10. Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Влияние технологических и технических решений на функционирование систем утилизации навоза // *Вестник ВНИИМЖ*. 2019. №4(36). С.24-32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41450181>
11. Петрунина И. В., Горбунова Н. А. Системные меры по снижению выбросов парниковых газов в животноводческих хозяйствах. Обзор // *Пищевые системы*. 2022. № 5(3). С. 202-211. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>
12. Текучев И.К, Текучева М.С., Черновол Ю.Н. Методология определения суточного выхода экскрементов от коров // *Вестник ВНИИМЖ*. 2016. №4(24). С. 131-136. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27038021>
13. Текучев И.К, Черновол Ю.Н. Зависимости объема выделяемых коровой экскрементов от ее продуктивности // *Вестник ВНИИМЖ*. 2017. №1(25). С. 40-43. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28768498>
14. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. №23(4). С. 572-579. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>

15. Вторый В.Ф., Вторый С.В. CO<sub>2</sub> как индикаторный газ для определения воздухообмена в коровнике // Аграрный научный журнал. 2023. №10. С. 154-160. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp154-160>

16. Романовская А.А., Нахутин А.И., Гинзбург В.А., Грабар В.А., Имшенник Е.В. и др. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2020 гг. М.: ИГКЭ. 2022. 468 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49919111>

17. De Vries M., Zahra W.A., Wouters A.P., van Middelaar C.E., Oosting S.J., Tiesnamurti B., Vellinga T.V. Entry points for reduction of greenhouse gas emissions in small-scale dairy farms: Looking beyond milk yield increase // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2019. Vol. 3, 49. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00049>

## REFERENCES

1. Rotz C. A. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farm. *Journal of Dairy Science*. 2017; 101 (7):6675-6690. (In Eng.) <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>

2. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V., Bazykin V.I. Research results of greenhouse gases in a cow barn with loose housing. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2022;4(113):114-121. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-114-120>

3 Gridnev P.I., Gridneva T.T. The experimental researches of nitrogen emission determination in the manure disposal process from premise results. *Vestnik VNIIMzH = Bulletin of All-Russia Research and Development Institute of Livestock Breeding Mechanization*. 2017;3(27): 119-123. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30268474>

4. Rzeznik W., Mielcarek P., Rzeznik I. Pilot study of greenhouse gases and ammonia emissions from naturally ventilated barns for dairy cows. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016;25(6):2553-2562. (In Eng.) <https://doi.org/10.15244/pjoes/63660>

5. Edouard N., Charpiot A., Robin P., Lorinquer E., Dollé J.-B., Faverdin P. Influence of diet and manure management on ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns. *Animal*. 2019;13(12):2903-2912 (In Eng.) <https://doi.org/10.1017/S1751731119001368>

6. Hristov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T., Yarper M.T. et al. Short communication: Comparison of the GreenFeed system with the sulfur hexafluoride tracer technique for measuring enteric methane emissions from dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(7): 5461-5465 (In Eng.) <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10897>

7. Schmithausen A. J., Schiefler I., Trimborn M., Gerlach K., Südekum K.-H., Pries M., Büscher W. Quantification of methane and ammonia emissions in a naturally ventilated barn by using defined criteria to calculate emission rates. *Animals*. 2018; 8(5),75 (In Eng.) <https://doi.org/10.3390/ani8050075>

8. Chiumenti A., Borso F., Pezzuolo A., Sartori L., Chiumenti R. Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robotic scrapers. *Research in Agricultural Engineering*. 2018; 64(1): 26-33 (In Eng.) <https://doi.org/10.17221/33/2017-RAE>

9. Skorokin V., Larkin D., Aksenova V. The cattle farms power influence on the environment ecology. *Vestnik VIESKh = Vestnik VIESKH*. 2017;3(28):139-144 (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30647982>

10. Gridnev P.I., Gridneva T.T. Influence of technological and technical decisions on the manure removal systems' functioning. *Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva = Bulletin of the All-Russian Research Institute of Mechanization of*

Animal Husbandry. 2019;4(36):24-32 (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41450181>

11. Petrunina I.V., Gorbunova N.A. Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. Pishchevye sistemy = Food Systems 2022; 5(3): 202-211 (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>

12. Tekuchev I.K, Tekucheva M.S., Chernovol Y.N. Methodology of determination of daily excreta yield from cows. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva = Bulletin of the All-Russian Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry. 2016;4(24): 131-136 (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27038021>

13. Tekuchev I.K, Chernovol Yu.N. Dependences of the volume of excreta excreted by a cow on its productivity. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva = Bulletin of the All-Russian Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry. 2017;1(25): 40-43 (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28768498>

14. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):572-579 (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>

15. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. CO<sub>2</sub> as a tracer gas for determining the air exchange in a cow barn. Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;10: 154-160 (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp154-160>

16. Romanovskaya A.A., Nakhutin A.I., Ginzburg V.A., Grabar V.A., Imshennik E.V. et al. National inventory report on anthropogenic emissions by sources and absorption by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990 - 2020. Moscow: Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology. 2022. 468 p. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49919111>

17. De Vries M., Zahra W.A., Wouters A.P., van Middelaar C.E., Oosting S.J., Tiesnamurti B., Vellinga T.V. Entry points for reduction of greenhouse gas emissions in small-scale dairy farms: Looking beyond milk yield increase. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2019; 3, 49 (In Eng.) <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00049>

<b>Об авторах</b>	<b>About the authors</b>
<p><b>Сергей Валерьевич Вторый</b> канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3 2vt_1981@list.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-7169-1625">https://orcid.org/0000-0002-7169-1625</a></p>	<p><b>Sergei V. Vtoryi</b>, Cand. Sc. (Engineering), senior researcher, Department of Agroecology in Livestock Husbandry 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 2vt_1981@list.ru <a href="https://orcid.org/0000-0002-7169-1625">https://orcid.org/0000-0002-7169-1625</a></p>
<p><b>Татьяна Юрьевна Миронова</b>, канд. техн. наук, научный сотрудник отдела</p>	<p><b>Tatyana Yu. Mironova</b>, Cand. Sc. (Engineering), researcher, Department of</p>

<p>агроэкологии в животноводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское ш., д. 3, mironovatat@mail.ru, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6959-049X">https://orcid.org/0000-0001-6959-049X</a></p>	<p>Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskojе Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia, mironova-tat@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6959-049X</p>
<p><b>Татьяна Ивановна Гордеева</b> канд. техн. наук, доцент, старший 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, Филътровское ш., д. 3, cow-sznii@yandex.ru</p>	<p><b>Tatyana I. Gordeeva</b>, Cand. Sc. (Engineering), senior 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 Filtrovskojе Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia cow-sznii@yandex.ru</p>
<p><b>Светлана Николаевна Матейчик</b> Инженер-программист 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, Филътровское ш. 3 cet_nord@yahoo.com</p>	<p><b>Svetlana N. Mateichik</b> software engineer, 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 Filtrovskojе Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia cet_nord@yahoo.com</p>
<p><b>Заявленный вклад авторов</b> Все авторы внесли определенный вклад в работу и принимали участие в проведении исследований, обработке результатов и написании рукописи.</p>	<p><b>Authors' contribution</b> All authors contributed in some way to the work and participated in conducting the research, processing the results and writing the manuscript.</p>
<p><b>Конфликт интересов</b> Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.</p>	<p><b>Conflict of interests</b> 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.</p>
<p><b>Статья поступила в редакцию:</b> 27.09.2024</p>	<p><b>Received:</b> 27.09.2024</p>
<p><b>Одобрена после рецензирования:</b> 04.12.2024</p>	<p><b>Approved after reviewing:</b> 04.12.2024</p>
<p><b>Принята к публикации:</b> 10.12.2024</p>	<p><b>Accepted for publication:</b> 10.12.2024</p>