СОДЕРЖАНИЕ

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

Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. Разработка инновационных систем эффективной оценки и рационального применения средств защиты растений ……4
Слинько О.В., Кондратьева О.В., Войтюк В.А., Полухин А. А. Роль информационного обеспечения в развитии органического сельского хозяйства……16
Барчукова А.С., Ветрова С.М. Эффективность применения хелатного комплекса меди при возделывании картофеля……....27
Сухляев В.А., Палицын А.В., Иванов И.И. Оценка удельных энергозатрат процесса измельчения зерна в молотковой дробилке в зависимости от режимов работы……38
Виздрик Г.М., Вихрова Т.В., Долгушин В.А., Огнев О.Г., Строганов Ю.Н. Направления обеспечения устойчивости движения автотранспортных поездов посредством воздействия на конструкцию прицепных устройств……53
Захаров А.М., Мишанов А.П., Мурзаев Е.А. Теоретические предпосылки влияния почвенного уплотнения на вынос биогенных веществ из пахотного слоя почвы……66
Кудрявцев А.В., Блинов Ф.Л., Фирсов А.С., Голубев В.В. Результаты исследования взаимодействия инновационного рабочего органа с почвой залежных земель при возделывании лубяных сельскохозяйственных культур ……83
Терёхин М.А., Яшин А.В., Косяков П.А., Тыкушин А.А., Сёмов И.Н. Определение качественных показателей работы лаповых сошников в лабораторных условиях……99

РАЗДЕЛ 2. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ……117

Максимов Д.А., Папушин Э.А., Васильев Э.В. Мониторинг животноводческих объектов с использованием нейронных сетей …….....117
Васильев Э.В Романов А.С., Белов П.В. Анализ технологий и технических средств смешивания органических компонентов для биоферментации ……129

РАЗДЕЛ 1. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Аналитическая статья
УДК 632.93:632.934,1:631.384.4 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-4-16

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭФФЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Вячеслав Филиппович Федоренко[1]✉, Эдуард Георгиевич Аристов[2]

[1]Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), р. п. Правдинский, Московская область, Россия.

[2] ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

[1]✉f@maro.pro; vim@vim.ru; https://orcid.org/0000-0001-6395-4463
[2]mgp1947@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований технологических процессов технических систем эффективной оценки рационального применения средств защиты растений, которые выполнены согласно государственному заданию ФГБНУ «Росинформагротех». Исследования проводились с современным представлением о продукционных процессах в растениеводстве, концепции симбиоза жизнедеятельности растений и почвенных микроорганизмов. Исследования базируются на инновационных принципах восстановления первоначального спектра размеров капель распыла растворов средств защиты растений, деформированных вследствие воздействия факторов внешней среды и обеспечивающих оптимальные условия для сохранения и развития биоценозов, сформировавшихся в процессе эволюции. В последнее время все чаще используются средства защиты растений с низкими (5-30 г/га) нормами расхода, но современная распылительная техника непригодна для работы в таких режимах. Разработан метод определения дисперсных характеристик капель, деформированных в результате взаимодействия с внешней средой. В качестве «информационного ядра» были выбраны кристаллы NaCl, в которых сохраняется полная информация о первоначальном размере капли. Используя этот метод, возможно с высокой точностью измерить числовые параметры спектра капель распыла. Отработана методика восстановления первоначальных размеров капель и их стабилизация на период проведения фоторегистрации микроизображения спектра распыла. Подготовлены предпосылки для создания экспресс-метода высокоточного определения размеров капель распыла в лабораторных и полевых условиях.

Ключевые слова: вредители сельскохозяйственных культур, биологические средства защиты растений, химические средства защиты растений, агроценоз, техническая система, опрыскиватель.

Для цитирования: Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. Разработка инновационных систем эффективной оценки и рационального применения средств защиты растений //

АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 4-16 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-4-16

Analytical article
Universal Decimal Code 632.93:632.934,1:631.384.4

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE SYSTEMS FOR EFFECTIVE ASSESSMENT AND RATIONAL USE OF PLANT PROTECTION PRODUCTS

Viacheslav F. Fedorenko[1]✉, Eduard G. Aristov [2]

[1] 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
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

[1]✉f@maro.pro; vim@vim.ru; https://orcid.org/0000-0001-6395-4463
[2]mgp1947@mail.ru

Abstract. This article presents the results of research into the technological processes of technical systems for the efficient assessment of the rational use of plant protection products. The research was conducted by the Federal State Budgetary Scientific Institution Rosinformagrotech. It was conducted based on the modern concepts of productive processes in plant cultivation and the symbiosis between the vital activity of plants and soil microorganisms. Investigations were based on innovative principles of restoring the original spectrum of droplet sizes of sprayed solutions of plant protection products that were deformed due to environmental factors providing optimal conditions for preserving and developing biocenoses formed during evolution. Recently, plant protection products with low consumption rates of 5–30 g/ha have become increasingly popular. Yet, modern spraying equipment is not capable of functioning in such modes. A method has been developed to determine the dispersed characteristics of deformed droplets resulting from interaction with the external environment. NaCl crystals were chosen as the "information core". They keep full information about the initial droplet size. This method allows to measure the numerical parameters of the spray droplet spectrum with high accuracy. The study also developed a method for restoring the initial droplet sizes and stabilizing them for the period of photo recording of the spray spectrum microimage. These may be considered the prerequisites for designing an express method for highly precise determination of spray droplet sizes in laboratory and field conditions.

Key words: crop pests, biological plant protection products, chemical plant protection products, agrocenosis, technical system, sprayer.

***For citation*:** Fedorenko V.F., Aristov E.G. Development of innovative systems for effective assessment and rational use of plant protection products. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 4-16 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-4-16

Введение. В настоящее время интегрированная технология защиты растений предусматривает использование различных методов и применяемых реагентов, причем выбор методов и состав реагентов зависит от объекта воздействия (вредителей, болезней,

сорных растений и пр.). Это определило разнообразие применяемых техники, технологии, химических и биологических средств защиты растений.

Несмотря на длительное и широкое применение опрыскивателей в практике мирового и отечественного сельского хозяйства сведения о фактическом качестве диспергирования ими рабочих жидкостей до настоящего времени отрывочны, зачастую противоречивы и недостоверны [1]. Причины создавшегося положения не столько в многообразии конструкций распылителей и их недостаточно высоком уровне, сколько в том, что существующие стандарты не ориентируют разработчиков, производителей, испытателей, эксплуатационников такой техники на разработку методов и средств достоверного определения качества распыления при воздействии на диспергируемые растворы многих неуправляемых факторов [2, 3]. В этой связи паспортизация и стандартизация существующих распылительных устройств становится все более острой и насущной задачей. Пока сообщаются лишь агротехнические требования и физико-технические показатели, предъявляемые к конструкциям создаваемой и поставляемой на рынок опрыскивающей техники[1].

Необходимо подвергнуть аттестации и испытаниям, как в лабораторных условиях, так и на стенде всех конструкций распылителей, как типовых, так и тех индивидуальных, которые должны быть использованы при работе с препаратами, вносить которые предполагается именно этими распылителями [4].

В подавляющем большинстве случаев сельхозпроизводителю предлагается техника для защиты растений, не прошедшая агротехнологических приемных испытаний Государственного регистра технологии и технических средств защиты растений с использованием новых препаратов. [5].

Выпускаемая техника зачастую не соответствует современным технологическим и экологическим требованиям отечественных и международных стандартов, а по ряду показателей является экономически и экологически неэффективной и представляет угрозу для окружающей среды и человека [6].

Ключевым элементом опрыскивающей техники является распыливающая форсунка, качество работы которой в значительной степени определяет экономическую и биологическую эффективность использования средств защиты растений, их экологическую безопасность [7].

В настоящее время мировой рынок опрыскивающей техники на 80% представлен традиционными гидравлическими опрыскивателями, на которых используются распыливающие форсунки [8].

Однако такой тип распылителей не обеспечивает диспергирование рабочих жидкостей на капли оптимальной величины: в спектре капель распыла всегда имеются разные классы капель, различающиеся по диаметру, массе и объему содержащейся в капле жидкости, от мелких и очень мелких, до крупных и очень крупных [7, 9, 10].

Вследствие этого при опрыскивании всегда отмечаются непроизводительные потери пестицидов из-за сноса мелких капель (20-80 мкм) и стекания очень крупных (360-1000 мкм) с обрабатываемого объекта на почву. Только капли размерами 80-360 мкм работают рационально. Физика и природа потерь пестицидов известны – испарение и снос

[1] Межгосударственный стандарт ГОСТ 34630-2019. Техника сельскохозяйственная. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. М.: Стандартинформ. 2020. 40 с.

капель жидкости ветром за пределы рабочей зоны опрыскивания, неоднородное их распределение на обрабатываемой поверхности, плохая избирательность осаждаемых капель и недостаточное удержание на вредных подавляемых объектах [2, 5, 7].

В настоящее время в мире не существует конструкций гидравлических распылителей, которые давали бы 100% капель требуемых размеров, или распылителей с абсолютно монодисперсным распылением, например, 200 мкм. Опрыскиватели по качеству выполнения операций и через 100 с лишним лет остались теми же – с каплями, изменяющими свои размеры от 10 мкм до 2 мм и даже более, и в этом корень всех проблем применения пестицидов.

Несмотря на то, что сегодня огромное количество форсунок и распылителей различных конструкций работают в разного рода производственных отраслях, человек до сих пор так и не научился математически точно измерять размеры (объемы) капель распыляемых жидкостей, скорости их движения и тем более регулировать их дисперсность [8, 11]. В то же время физика искусственных аэрозолей берет за основу испытательные технологии 60-х годов XX века. То же относится и к способам оценки дисперсных характеристик капель распыла. [5, 12].

Эти испытания имеют ряд недостатков, на которые указывают, как отечественные, так и зарубежные специалисты. Основным недостатком этих испытаний является то, что они обеспечивают минимальную точность и исследователи считают необходимым усовершенствовать существующую методику определения размеров капель, внедрить новую технологию регистрации и точного определения дисперсных характеристик капель распыла.

Цель исследования – обоснование и разработка инновационных систем эффективной оценки и рационального применения средств защиты растений для оптимизации работы распылительных устройств на основе метода дисперсного анализа капель распыла, базирующегося на запатентованных способах возвращения первоначального вида спектра капель распыла, трансформированного в процессе взаимодействия с внешней средой.

Материалы и методы. Сегодня все чаще используются ядохимикаты с низкими (5-30 г/га) нормами расхода, но сегодняшняя распылительная техника непригодна для работы в таких режимах. Поэтому неконтролируемое применение ядохимикатов все больше загрязняет окружающую среду и значительно превышает скорость детоксикации этих ядов природой.

Сегодня не существует никакого учебника по теоретическим, методическим основам и правилам применения химических, биологических средств защиты и регуляторов роста растений ни у нас и нигде в мире, и это определяет абсолютное непонимание физической сущности фундаментальных вопросов даже специалистами всех категорий на всех уровнях. В результате неквалифицированного подхода потери ядохимикатов могут достигать 70 – 90% (тут и снос ветром и стекание с листьев растений на почву). И остатки ядов в пищевых продуктах и кормах содержатся в достаточно опасных концентрациях.

Сохранение эффективности действия пестицидов с учетом их расходных характеристик возможно при условии координации действий всех тех предприятий, которые непосредственно участвуют в процессе химической защиты растений – это химические компании, занимающиеся разработкой и изготовлением препаратов,

предприятия конструирующие и изготавливающие распылительные механизмы, инженерные предприятия, выпускающие машины химической защиты растений. И на этой основе определяются количественные значения концентрации препарата, а, следовательно, и его расходные характеристики.

Эти данные в свою очередь формируют новые требования к распылительной технике, предназначенной для работы с широким спектром препаратов.

Распылительная техника с возможностью регулирования дисперсного состава сгенерированных капель – основа для реальной возможности существенно снизить расход токсичных препаратов и их воздействия на среду обитания человека.

Таким образом, одно из наиболее важных условий успеха в деле оптимизации агрохимических технологий для защиты растений – это создание распылительных устройств под конкретные химические препараты и нормы их расхода на единицу площади, под конкретную опрыскивающую технику и, соответственно, под конкретные сельскохозяйственные технологии. Очень важно иметь возможность индивидуальной настройки этой техники применительно к конкретным условиям на момент проведения сельскохозяйственных мероприятий. При этом не следует забывать, что изготовление распылительной техники под новые технологии или оптимизация существующей возможны исключительно при наличии надежных методов определения дисперсных характеристик спектра распыла.

Размерный состав капель, диспергированных в результате действия распылителей, определяет эффективность воздействия препарата на защищаемые объекты.

В целом для оптимизации процесса воздействия необходимо максимально точно измерить дисперсные характеристики отдельной форсунки, отдельного распылительного механизма. При этом следует учесть, что дисперсные параметры каждой отдельной форсунки с точки зрения ее прикладного назначения характеризуются:

- геометрией факела распыла (габариты и форма факела);
- структурой факела распыла;
- степенью радиальной и окружной неравномерности плотности орошения;
- степенью радиальной и окружной неравномерности дисперсных характеристик капель распыла.

И только после анализа этих параметров можно переходить к определению дисперсных характеристик исследуемой форсунки.

Сегодняшние возможности не позволяют осуществить количественную диагностику и анализ результатов действия распылительного оборудования, что обусловлено в первую очередь тем, что определение дисперсных характеристик спектра распыла, с учетом его быстрой деформации, нельзя считать надежным. А это значит, что использовать эти результаты в дальнейших расчетах не представляется возможным.

Как было сказано выше, испытание спектра капель по ГОСТу обеспечивает только минимальную точность и должно быть пересмотрено при совершенствовании технологии определения размера капель.

Минимальная точность, что это означает? Это означает, что в результате испарения капли меняют свои размеры – размеры капель уменьшаются и соответственно концентрация ядохимиката в них возрастает. Однако учесть эти изменения при определении размеров капель практически невозможно.

Каковы могут быть последствия этой неточности? При 10%-ом изменении размеров капли масса ее изменится уже на 40%, а при 20%-ом изменении размеров масса распыленной жидкости (а, значит, и норм расхода, концентрации препарата и т.д.) уже приблизится к 100%, и это не предел.

Результаты и обсуждение. Нами разработаны два принципиально новых, защищенных патентами метода определения дисперсных характеристик капель, деформированных в результате взаимодействия с внешней средой. Суть методов заключается в том, что в момент «рождения» капли в нее помещается информационное ядро, несущее полную информацию о первоначальных ее параметрах. И эти параметры могут быть восстановлены даже в случае полного испарения самой капли[2,3].

В качестве «информационного ядра» были выбраны кристаллы хлористого натрия (NaCl). Капля испаряется, но неиспаряемый сухой остаток (кристалл NaCl) сохранился и, зная первоначальную концентрацию соли в капле, естественно можно рассчитать размер капли. Можно сказать, что в этом кристалле сохранена полная информация о первоначальном размере капли [13].

Относительная влажность над насыщенным раствором хлористого натрия (а, следовательно, и у поверхности сухого кристалла) 78%. Конденсационные процессы активизируются, когда относительная влажность в окружающей среде выше 78%. В этот период на кристалле соли начнет конденсироваться влага, образуется капля раствора. Конденсационные процессы продолжаются до тех пор, пока значения влажности в окружающей среде и у поверхности капли не выровняются. При нулевом градиенте влажности размер капли стабилизируется. В таблице 1 приведены значения относительной влажности над растворами NaCl разной концентрации при различных температурах.

Таблица 1. Зависимость давления пара над раствором от концентрации NaCl
Table 1. Dependence of vapor pressure above the solution on the concentration of NaCl

Давление паров воды над растворами NaCl (мм рт. ст.) и относительная влажность (%)						
Концентрация раствора NaCl, %	Температура °C					
	10		20		30	
0	12,28	100%	23,38	100%	42,45	100%
5	8,9	72%	17	73%	30,9	73%
10	8,6	70%	16,4	70%	29,8	70%
15	8,2	67%	15,7	67%	28,5	67%
20	7,7	63%	14,8	63%	26,8	63%
25	7,1	58%	13,6	58%	24,7	58%

[2] Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н., Селиванов В.Г. Способ определения размера капель. Патент RU 2709402 C1, МПК G01N15/02/, заявл. 21.06.2018; опубл. 17.02.2019; бюл. № 35.

[3] Аристов Э.Г., Федоренко В.Ф., Краховецкий Н.Н., Селиванов В.Г. Способ определения размера капель. Патент RU 2767719 C1, МПК G01N15/02/, заявл. 08.12.2020; опубл. 18.03.2022.

Как было показано выше если распылять не чистую воду, а раствор хлористого натрия (например, 10% концентрации) относительная влажность над которым равна 89%, капли раствора попав в среду, где влажность ниже этого значения, испарятся. Но они не исчезнут. Останется «сухой остаток» в виде кристаллов NaCl. И если эти кристаллы поместить в гигростат, относительная влажность в котором равна 89%, кристаллы соли начнут обводняться и капли раствора будут расти до тех пор, пока влажность у их поверхности не станет равна 89%. Т.е. пока концентрация соли в капле не станет равна 10%, а это соответствует первоначальному размеру капли.

Таким образом, используя этот метод мы можем с высокой точностью измерить числовые параметры спектра капель распыла.

На рисунке 1 представлена последовательность фотографий, на которых изображен процесс испарения капли раствора NaCl и все его этапы:

1. образование капли 10%-го раствора NaCl;
2. испарение до состояния сухого кристалла;
3. конденсация парообразной влаги на кристалле соли в камере;
4. восстановление капли до первоначального размера.

Рис. 1. Эволюция капли раствора – образование, испарение, восстановление

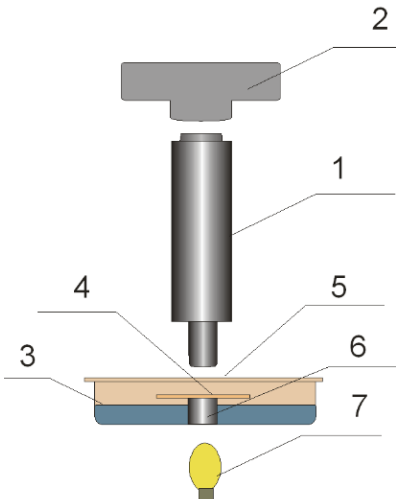
Fig. 1. Evolution of a solution drop – formation, evaporation, recovery

Отбор пробы капель (позиция 1 и 2 на рис.1.), а затем их восстановление и измерение первоначальных размеров капли (позиция 3 и 4 на рис.1) могут быть разнесены во времени на сколь угодно длительный срок. То есть отбор пробы можно провести в полевых условиях, а процесс восстановления и измерения осуществить через некоторое время в лаборатории.

На водоотталкивающей поверхности капли имеют форму шара. В этом случае измерение размеров капель производится под микроскопом с максимальной точностью, которую может обеспечить измерительная шкала окуляра. Размер капель определяется на

момент измерения и конечно при этом никак не могут быть учтены изменения этих размеров от момента образования до момента измерения.

Схематически экспериментальная установка поэтапной регистрации процесса восстановления капель представлена на рисунке 2.



1. Микроскоп.
2. Цифровая фото камера.
3. Чашка Петри с раствором NaCl (Гигростат).
4. Предметное стекло с гидрофобным покрытием.
5. Стеклянная крышка на чашку Петри.
6. Полая подставка под предметное стекло.
7. Осветительная лампа.

Рис. 2. Процесс восстановления капель. Схема экспериментальной установки
Fig. 2. The process of droplet recovery. Experimental setup diagram

Эксперименты проводились по следующей методике: распылялся 10% раствор NaCl; капли осаждались на предметное стекло, покрытое парафином, после чего стеклянная пластина помещалась в гигростат (чашку Петри), установленную на предметном столике микроскопа.

До включения процесса восстановления капель производилась цифровая фото регистрация участка поверхности предметного стекла с осажденными на него каплями. (рис. 3а.)

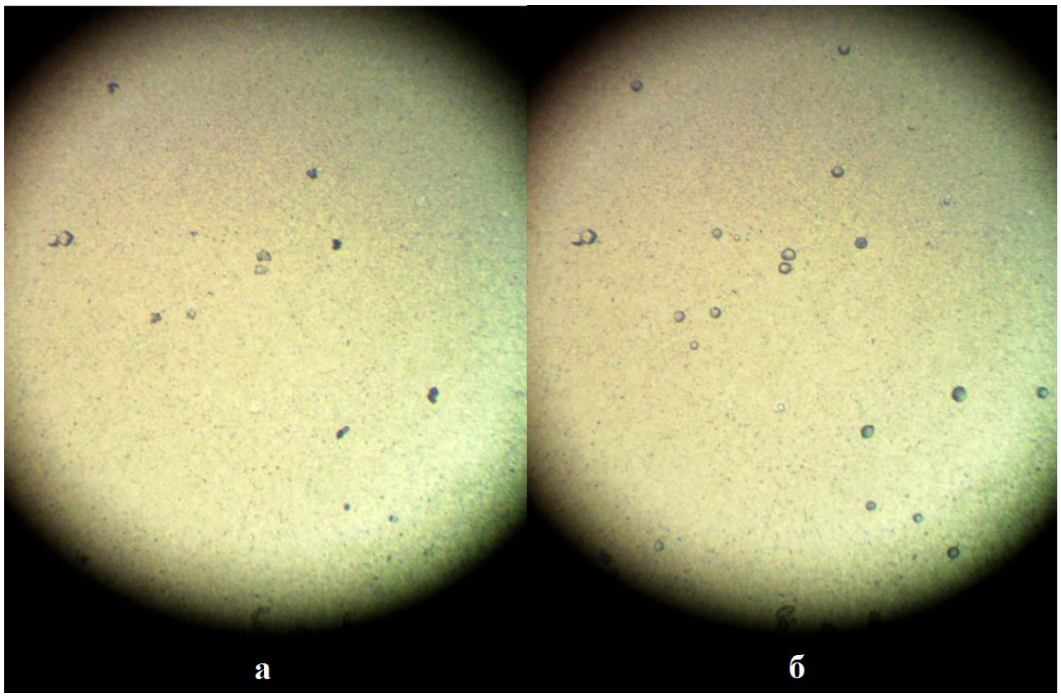


Рис. 3. Фоторегистрация процесса восстановления капель

а – начало процесса (фаза сухих кристаллов), б – фаза обводнения (начало роста капель), временной интервал между снимками 5 минут – рост капель прекратился

Fig. 3. Photographic recording of the droplet recovery process

a – beginning of the process (dry crystal phase), b – watering phase (beginning of droplet growth), time interval between images 5 minutes – droplet growth has stoppe

По времени фотография 3а соответствует началу эксперимента, иначе говоря моменту помещения пробы капель на предметный столик микроскопа. В течении всего этого времени капли продолжают испаряться. После запуска процесса восстановления капель начинается обратный процесс.

На фотографии (рис. 3б) обводнение и рост мелких капель уже просматриваются. При сравнении фотографии, сделанной через 5 минут, с фотографией, сделанной через 8 минут, капли практически перестали расти, и можно считать, что конденсационный рост капель прекратился, и они восстановили свои первоначальные размеры.

Если в осажденной на коллектор пробе капли значительно отличаются друг от друга по размерам, это не повлияет на точность процесса восстановления. На рис. 4 представлен процесс восстановления капель, значительно различающихся по размерам. На фотографии в ее центре кристалл соли, выпавший в осадок. Его окружают небольшие кристаллы, образовавшиеся в результате испарения мелких капель (рис. 4а).

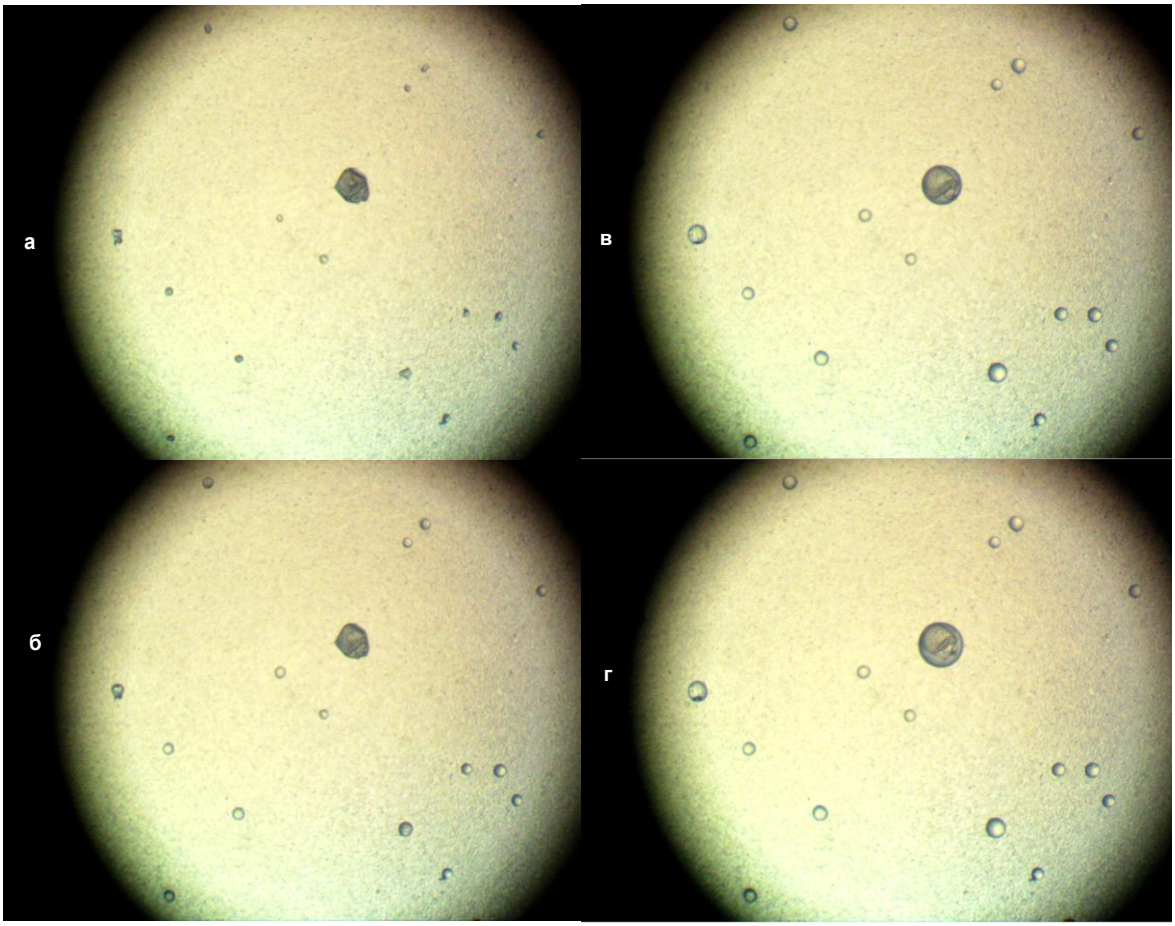


Рис. 4. Фоторегистрация процесса восстановления капель различных размеров

а – начало процесса (фаза сухих кристаллов.); б – фоторегистрация через 5 секунд (начало обводнения мелких кристаллов)

Fig. 4. Photographic recording of the process of recovery of droplets of different sizes

a – beginning of the process (phase of dry crystals); b – photographic recording after 5 seconds (beginning of hydration of small crystals)

На рис. 4б, 4в, 4г мелкие кристаллы превратились в капли и интенсивно растут, а крупный кристалл только начинает обводняться. На последующих снимках размеры мелких капель стабилизируются, они перестают расти, а процесс роста крупной капли продолжается достаточно интенсивно.

Важным фактором соблюдения репрезентативности выборки – соответствия характеристик выборки характеристикам генеральной совокупности в целом, является условие случайного выбора участка микроскопирования на предметном стекле [14].

Заключение. На сегодняшний день настоящая работа наиболее полно отвечает тем условиям, при которых измерение дисперсных характеристик спектра капель распыла будет соответствовать требуемому уровню оценки эффективности химзащитных работ, их экологической чистоты.

В рамках этой работы подробно рассмотрены и проанализированы факторы, влияющие на технологию точного определения размеров капель распыла, диспергированных, как отдельным распыливающим устройством, неподвижно закрепленным в аэрозольной камере, так и группой форсунок, установленных на штанге движущегося опрыскивателя.

Отработана методика восстановления первоначальных размеров капель и их стабилизация на период проведения фоторегистрации микроизображения спектра распыла. И подготовлены предпосылки для создания экспресс-метода высокоточного определения размеров капель распыла в лабораторных и полевых условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 26-34. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-26-35

2. Сластя И.В. Оценка эколого-токсикологической опасности применения пестицидов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 1(76). С. 53-60. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_53–60

3. Степановских А.С., Жернова С.Ю., Жернов Г.О. Химическая защита растений: проблемы и перспективы // Актуальные проблемы медицины и биологии. 2019. № 1. С. 28-34. EDN: JBZQPQ

4. Морозов Д.О., Коршунов С.А., Любоведская А.А. и др. Современные системы интегрированной защиты сельскохозяйственных растений: науч. аналит. обзор. М.: Росинформагротех. 2019. 92 с.

5. Федоренко В.Ф., Селиванов В.Г., Дринча В.М. Технологические и методические аспекты применения техники для защиты растений в странах ЕС: метод. реком. М.: Росинформагротех. 2016. 164 с.

6. Рынок химических средств защиты растений в России. Агентство плодородия. 2021. [Электронный ресурс] URL: https://ag-pl.ru/wp-content/uploads/2021/09/rynok-hszr-v-rossii-2021.-pokazateli-i-prognozy.-versiya-dlya-sajta.pdf (дата обращения: 25.12.2024)

7. Крук И.С., Послед Е.В. и др. Снижение потерь пестицидов из-за сноса при проведении обработок в неблагоприятных погодных условиях // Экология и сельскохозяйственная техника. Матер. 6-й Межд. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 13-14 мая 2009 г.) Санкт-Петербург: ГНУ СЗНИИМЭСХ. 2009. Т. 2. С. 50-56.

8. Утков Ю.А., Бычков В.В., Дринча В.М. Технологические и технические требования к сельхозопрыскивателям / Под ред. И.М. Куликова. М.: ВСТИСП. 2015. 184 с.

9. Якимец Е. Немецкие фермеры стали применять больше пестицидов [Электронный ресурс]. URL: https://germania.one/nemeckie-fermerystalipreminiat-bolshe-pesticitov/ (дата обращения 22.01.2025)

10. Gong C., Ma Y., Yang R., Wang X., Liu Y. Effect of nozzle type on the spray performance of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) // Scientia Agricultura Sinica. 2020. Vol. 53 (12). P. 2385-2398. https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2020.12.007

11. Ess D. R., Parsons S. D., Medlin C. R. Implementing site-specific management: sprayer technology – controlling application rate and droplet size distribution on the go. Perdue University. SSM-5-W. 2015. 9 p. URL: https://www.extension.purdue.edu/extmedia/AE/SSM-5-W.pdf

12. New Innovative Approaches to Crop Protection. Report from Food Research Partnership Stakeholder Workshop. Government Office for Science. 2013. [Электронный ресурс] URL: http://www. nationalarchives.gov.uk/ doc/open-governmentlicence (дата обращения: 20.02.2025)

13. Захаренко В.А. Современное состояние и перспективы экономики применения пестицидов в агроэкосистемах России // Агрохимия. 2021. №5. С. 68-83. https://doi.org/10.31857/S0002188121050148

14. Федоренко В.Ф. Оптимизация методов и инструментов экологической трансформации применения средств защиты растений // Техника и оборудование для села. 2022. №5. С.22-26. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-5-22-26

REFERENCES

1. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eschin A.V. Development prospects for methods and technical means of farm crop protection. Agroinzheneriya = Agricultural Engineering (Moscow). 2021;1 (101):26-34 (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-26-35

2. Slastya I.V. Assessment of environmental health and toxicological hazard of pesticides. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2023; 16, 1 (76): 53-60. (In Russ.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_53–60

3. Stepanovsky A.S., Zhernova S.Yu., Zhernov G.O. Chemical plant protection: problems and prospects. Aktual'nye problemy meditsiny i biologii = Actual Problems of Medicine and Biology. 2019;1:28-34. (In Russ.) EDN: JBZQPQ

4. Morozov D.O., Korshunov S.A., Lyubovedskaya A.A. et al. Modern systems of integrated protection of agricultural plants: scientific analytical review. Moscow: Rosinformagroteh. 2019. 92 p. (In Russ.)

5. Fedorenko V.F., Selivanov V.G., Drincha V.M. Technological and methodological aspects of plant protection equipment application in the EU countries: methodological recommendations. Moscow: Rosinformagroteh. 2016. 164 p. (In Russ.)

6. The market of chemical plant protection products in Russia 2021. Soil Fertility Agency. [online] (In Russ.) URL: https://ag-pl.ru/wp-content/uploads/2021/09/rynok-hszr-v-rossii-2021.-pokazateli-i-prognozy.-versiya-dlya-sajta.pdf (accessed 25.12.2024)

7. Kruk I.S., Posled E.V. et al. Reduction of pesticide losses due to drift during treatments in unfavourable weather conditions. In: Ecology and Agricultural Machinery. Proc. 6th Int. Sci.

Prac. Conf. (Saint Petersburg, 13-14 May 2009). Saint Petersburg: GNU SZNIIMESKh. 2009; 2: 50-56. (In Russ.)
8. Utkov Y.A., Bychkov V.V., Drincha V.M. Technological and technical requirements for agricultural sprayers / Kulikov I.M. (ed.). Moscow: VSTISP. 2015. 184 p. (In Russ.)
9. Yakimets E. German farmers began to use more pesticides. [on-line] (In Russ.) URL: https://germania.one/nemeckie-fermerystalipreminiat-bolshe-pesticitov/ (accessed 22.01.2025)
10. Gong C., Ma Y., Yang R., Wang X., Liu Y. Effect of nozzle type on the spray performance of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV). Scientia Agricultura Sinica. 2020; 53 (12): 2385-2398 (In Eng.) https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2020.12.007
11. Ess D. R., Parsons S. D., Medlin C. R. Implementing site-specific management: sprayer technology – controlling application rate and droplet size distribution on the go. Perdue University. SSM-5-W. 2015. 9 p. [on-line] (In Eng.) URL: https://www.extension.purdue.edu/extmedia/AE/SSM-5-W.pdf (accessed 22.01.2025)
12. New Innovative Approaches to Crop Protection. Report from Food Research Partnership Stakeholder Workshop. Government Office for Science. 2013. [on-line] (In Eng.) URL: http://www. nationalarchives.gov.uk/ doc/open-governmentlicence (accessed 20.02.2025)
13. Zakharenko V.A. Current state and prospects of the economy of the use of pesticides in agroecosystems of Russia. Agrokhimiya = Agricultural Chemistry. 2021;5:68-83 (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0002188121050148
14. Fedorenko V.F. Optimization of methods and tools for the ecological transformation of the use of plant protection products // Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area. 2022; 5:22-26. (In Russ.) https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-5-22-26

Об авторах	**About the authors**
Федоренко Вячеслав Филиппович академик РАН, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 vim@vim.ru, f@maro.pro; ResearcherID: A-9022-2018, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6398-4463	**Viacheslav F. Fedorenko** Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Engineering), chief researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex – Rosinformagrotech, 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 vim@vim.ru, f@maro.pro; ResearcherID: A-9022-2018, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6398-4463
Аристов Эдуард Георгиевич канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5 mgp1947@mal.ru	**Eduard G. Aristov** Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5 mgp1947@mal.ru
Заявленный вклад авторов Все авторы внесли равный вклад в работу, в	**Authors' contribution** All authors made an equal contribution to the

равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность.	work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат	**Conflict of interest** The authors declare that there is no conflict of interest.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 25.03.2025	**Received:** 25.03.2024
Одобрена после рецензирования: 05.05.2025	**Approved after reviewing:** 05.05.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Обзорная статья
УДК 631.147 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-16-27

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РАЗВИТИИ ОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Олеся Викторовна Слинько[1]✉, Ольга Вячеславовна Кондратьева[2],
Вячеслав Александрович Войтюк[3], Андрей Александрович Полухин[4]

Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (ФГБНУ Росинформагротех), р.п. Правдинский, Московская область, Россия

[1]✉ inform-iko@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1401-7327
[2] inform-iko@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-1140-1024
[3] bovver71@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9136-3795
[4] polukhinogac@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6652-1031

Аннотация. Представлен анализ распространения знаний об органической продукции. Описаны внедряемые методы и способы популяризации органической продукции среди сельскохозяйственных товаропроизводителей и потребителей, которые являются ключевыми элементами социально-экономического развития органического сельского хозяйства и играют значительную роль в развитии как самого органического сельского хозяйства, так и сельских территорий. Акцентируется внимание на необходимости внедрения современных методов популяризации органической продукции как среди сельхозтоваропроизводителей, так и среди потребителей. Эти методы включают семинары, вебинары, обучающие курсы и информационные кампании, нацеленные на

повышение осведомленности о преимуществах органического сельского хозяйства. Уделяется внимание роли потребительского спроса в развитии этой отрасли. В статье отмечается, что распространение знаний и информации способствует социально-экономическому развитию сельских территорий, что позволяет не только стимулировать спрос на органическую продукцию, но и поддерживать местных производителей, тем самым улучшая их экономическое положение способствуя устойчивому развитию сообществ. Подчеркивается важность комплексного подхода к популяризации органической продукции, который включает образование и информирование, а также поддержку со стороны местных властей и организаций, что позволит изменить восприятие органического сельского хозяйства и будет способствовать его развитию на долгосрочной основе.

Ключевые слова: органическая продукция, сельские территории, агропромышленный комплекс, стратегия развития, распространение знаний

Для цитирования: Слинько О.В., Кондратьева О.В., Войтюк В.А., Полухин А. А. Роль информационного обеспечения в развитии органического сельского хозяйства // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 16-27 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-16-27

Review article
Universal Decimal Code 631.147

THE ROLE OF INFORMATION SUPPORT IN THE DEVELOPMENT OF ORGANIC AGRICULTURE

Olesya V. Slinko[1✉], Olga V. Kondratieva[2], Vyacheslav A. Voityuk[3], Andrey A. Polukhin[4]

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

[1✉] inform-iko@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1401-7327
[2] inform-iko@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-1140-1024
[3] bovver71@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9136-3795
[4] polukhinogac@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6652-1031

Abstract. This paper presents an analysis of how knowledge about organic products is disseminated. It describes the methods implemented to promote organic products to agricultural producers and consumers. These methods are crucial for the socio-economic development of organic agriculture. They play an important role in advancing both organic farming and rural areas. The paper focuses on the need to introduce state-of-the-art approaches to make organic products more popular among agricultural producers and consumers. These approaches include workshops, webinars, training courses and publicity campaigns aimed at raising awareness of the benefits of organic farming. The paper also deals with the role of consumer demand in the development of this sector. The article notes that the dissemination of knowledge and information contributes to the socio-economic rural development. This allows not only to

stimulate the demand for organic products, but also to support local producers, thereby improving their economic situation and contributing to the sustainable community development. The paper emphasizes the importance of an integrated approach to the promotion of organic products. Such an approach includes education, information, and the support from local authorities and organizations. It is designed to change the public perception of organic agriculture and to contribute to its development on a long-term basis.

Keywords: organic products, rural areas, agro-industrial complex, development strategy, knowledge dissemination

For citation: Slinko O.V., Kondratieva O.V., Voityuk V.A., Polukhin A. A. The role of information support in the development of organic agriculture. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 16-27 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-16-27

Введение. Органическое сельское хозяйство становится все более актуальным направлением в аграрном секторе. Это связано с растущим интересом потребителей к здоровому и экологически чистому питанию, а также с необходимостью перехода к устойчивым моделям развития сельского хозяйства. Органическая продукция, произведенная без использования синтетических удобрений и пестицидов, отвечает запросам современного общества, которое стремится к сохранению окружающей среды и улучшению качества жизни [1, 2].

Развитие органического сельского хозяйства охватывает множество аспектов, способствующих его устойчивости. Ключевым фактором является разработка и поддержание строгих стандартов качества и сертификации, которые обеспечивают доверие потребителей и гарантируют соответствие продукции органическим принципам. Не менее важную роль играют образовательные и информационные инициативы, направленные на повышение осведомленности о преимуществах органической продукции среди потребителей, производителей и экспортеров. Кроме того, поддержка со стороны государства и частного сектора, включая финансирование, гранты и субсидии, способствует развитию органического производства [3].

Внедрение устойчивых агроэкологических методов, таких как сохранение биоразнообразия, улучшение здоровья почвы и снижение зависимости от химических удобрений, также является важным аспектом. Создание сети сотрудничества между фермерами, научными учреждениями, правительственными организациями и НПО позволяет обмениваться знаниями и ресурсами, а также совместно решать возникающие проблемы [4, 5].

Активное освещение темы органической продукции в СМИ и на информационных платформах играет важную роль в определении стратегических приоритетов на уровне регионов и сельских территорий. Это способствует развитию отрасли и формированию культуры потребления органической продукции в России [6].

Цель исследования заключается в проведении комплексного анализа ключевых аспектов продвижения органической продукции, направленных на популяризацию органического сельского хозяйства среди сельскохозяйственных товаропроизводителей и потребителей. Особое внимание уделяется влиянию образовательных мероприятий и информационных кампаний на повышение осведомленности о преимуществах органического сельского хозяйства, а также на формирование устойчивого потребительского спроса. Кроме того, рассматриваются факторы, способствующие

социально-экономическому развитию сельских территорий через поддержку местных производителей и создание эффективных каналов распространения знаний.

Основная часть. В ходе исследования использовались аналитические методы, включая анализ данных семинаров, вебинаров, обучающих курсов и информационных кампаний, направленных на повышение осведомленности о преимуществах органического сельского хозяйства. Также были изучены отчеты и статистические данные, предоставленные Минсельхозом России, Роскачеством и фондом «Органика».

Рынок органической продукции в Российской Федерации находится на начальной стадии развития, однако демонстрирует устойчивый рост. К 2024 году зарегистрировано 220 производителей органической продукции, что свидетельствует о возрастающем интересе к этому направлению. Динамика развития производителей сертифицированной органической продукции представлена на рисунке [7]. Рынок охватывает 9 субъектов Федерации и 52 региона страны, предлагая более 1000 наименований продукции, доступной в 26 торговых сетях и интернет-магазинах. Топ лидерами по числу производителей органической продукции являются Центральный федеральный округ (80 производителей), Приволжский (34), Сибирский (24) и Южный (25). Это свидетельствует о неравномерном распределении производства органической продукции по регионам, что требует дополнительных мер поддержки в менее развитых областях.

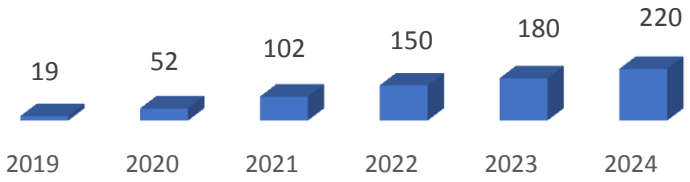


Рис. Производители сертифицированной органической продукции
в Российской Федерации
Fig. Producers of certified organic products in the Russian Federation

Органическое сельское хозяйство, как определено Международной федерацией движений по органическому сельскому хозяйству (International Federation of Organic Agriculture Movements – IFOAM)[4] представляет собой комплексную производственную систему, направленную на сохранение здоровья почвы, экосистем и населения. Оно основывается на природных экологических процессах, биологическом разнообразии и цикличности, исключая использование ресурсов, способствующих негативным последствиям. Эта форма сельского хозяйства сочетает традиционные практики, инновационные подходы и научные исследования для достижения устойчивого развития [8].

Для выявления ключевых аспектов, влияющих на продвижение органической продукции в современных условиях, была разработана анкета, направленная на изучение мнений потребителей, их предпочтений, уровня осведомленности об органической продукции, а также факторов, способствующих или препятствующих ее популяризации. Целевая аудитория респондентов включала лиц в возрасте от 18 до 65 лет, проживающих

[4]Definition of Organic Agriculture. IFOAM General Assambly. 2008 [online]. URL: https://www.ifoam.bio/why-organic/organic-landmarks/definition-organic

как в городской, так и в сельской местности. Сбор данных проводился в рамках крупных аграрных выставок, таких как «Агрос», «Агрорусь», «Всероссийский День поля» и «Югагро».

Согласно результатам опроса, только 35% респондентов знают, что такое органическая продукция и чем она отличается от обычной. Однако после участия в информационных кампаниях уровень осведомленности вырос на 15% (с 20% до 35%). Основными источниками информации для потребителей являются интернет и социальные сети (45%), телевидение и радио (30%), а также рекомендации друзей и знакомых (15%).

Анкетирование также показало, что проведение информационных кампаний оказывает значительное влияние на потребительские предпочтения. Так, 25% респондентов отметили, что начали обращать внимание на наличие сертификации органической продукции при совершении покупок. Кроме того, 40% опрошенных выразили готовность приобретать органическую продукцию при условии гарантии ее качества и подтвержденной пользы для здоровья.

Выявлено, что информационные кампании способствуют росту спроса на органическую продукцию, что, в свою очередь, стимулирует развитие производства. За последние три года количество сертифицированных органических хозяйств увеличилось на 30%. Более 60% производителей органической продукции отмечают устойчивый рост объема продаж, что свидетельствует об эффективности информационной поддержки.

Несмотря на положительные тенденции, развитие органического сектора в России сталкивается с рядом вызовов: низкий уровень осведомленности населения (65% не обладают достаточными знаниями о преимуществах органической продукции); высокая стоимость органической продукции (в среднем она на 30-50% дороже традиционной, что ограничивает доступность для широкого круга потребителей); недостаточная инфраструктура (отсутствие специализированных торговых точек и ограниченный ассортимент органической продукции в обычных розничных сетях).

Ключевыми аспектами продвижения органической продукции являются следующие.

Сертификация и стандарты качества. Формирование доверия потребителей к органической продукции невозможно без строгой системы сертификации. В России действует Федеральный закон № 280-ФЗ «Об органической продукции», который регулирует производство и маркировку органических товаров. Однако важно не только наличие законодательной базы, но и её эффективное применение, включая контроль за соблюдением стандартов и борьбу с фальсификацией.

Образовательные и информационные кампании. Повышение осведомленности потребителей и производителей о преимуществах органической продукции играет ключевую роль в её продвижении. Мероприятия, такие как семинары, вебинары и мастер-классы, помогают сельхозпроизводителям и потребителям лучше понять преимущества органического земледелия. Примером успешной информационной кампании является деятельность фонда «Органика», который организует ярмарки, конкурсы и фестивали, а также создает мультимедийный контент для популяризации органической продукции.

Государственная и частная поддержка. Государственная поддержка включает финансирование исследований, предоставление субсидий и грантов для фермеров, а также создание инфраструктуры для сбыта органической продукции. Важную роль также играет вовлечение частного сектора, включая крупные торговые сети, которые способствуют

продвижению органической продукции через маркетинговые акции и расширение ассортимента.

Устойчивые цепочки поставок. Для успешного продвижения органической продукции необходимо создание эффективных цепочек поставок, которые минимизируют потери и обеспечивают сохранение качества продукции. Это включает развитие логистической инфраструктуры, внедрение технологий отслеживания продукции и сотрудничество между производителями, переработчиками и ритейлерами.

Маркетинг и брендинг. Эффективный маркетинг играет ключевую роль в продвижении органической продукции. Создание узнаваемых брендов, использование digital-маркетинга и проведение дегустаций и акций помогают привлечь внимание потребителей. Примером успешного брендинга является конкурс «Народный органический бренд», который повышает узнаваемость продукции и формирует лояльность потребителей.

Образование и информационные кампании играют ключевую роль в социально-экономическом развитии органического сельского хозяйства. Эффективная система информационных коммуникаций и просветительская деятельность способствуют повышению осведомленности о преимуществах органической продукции среди различных целевых групп, включая потребителей, производителей и экспортеров. Это, в свою очередь, стимулирует спрос на органическую продукцию и способствует устойчивому развитию отрасли [9].

С учетом растущего интереса потребителей к здоровому образу жизни и экологически чистым продуктам, распространение знаний о пользе органической продукции становится важным аспектом её продвижения. Образовательные программы, семинары и мастер-классы помогают сельхозпроизводителям и потребителям лучше понять преимущества органического земледелия, а также методы правильного выбора и употребления органических продуктов. Такие инициативы способствуют формированию экологической культуры и устойчивого потребительского поведения.

В рамках информационной кампании по распространению знаний и продвижению органической продукции среди потребителей и производителей проводятся различные мероприятия. Минсельхозом России совместно с Роскачеством и при поддержке фонда «Органика» ежегодно организуют коллективные стенды производителей органической продукции на федеральных и региональных выставках. Ведется информационная поддержка производителей органической продукции через ресурсы Роскачества, фонда «Органика» и телеграм-канала Совета Федерации[5].

В Санкт-Петербурге в рамках Невского международного экологического конгресса прошла первая Всероссийская ярмарка российской органической продукции, в которой приняло участие более 60 производителей органической продукции из 31 субъекта Российской Федерации. Посетители и гости мероприятия имели возможность продегустировать, оценить и приобрести широкий ассортимент продуктов: хлебобулочные изделия, чайную продукцию, муку, крупы, растительное масло, молочную продукцию (сыр, молоко), мед, овощи, мясные полуфабрикаты, колбасные изделия, а

[5] Фонд поддержки производителей органической продукции [Электронный ресурс]. URL: https://organicfund.ru/ (дата обращения: 16.02.2025)

также дикоросы (ягоды, орехи) и яблоки. Ярмарку посетили около 45 000 человек, из которых примерно 50% составили гости из других регионов[6].

Фонд «Органика» в первом полугодии 2024 года принял участие в Международной выставке органической, натуральной и экологической продукции, в рамках которой была проведена пленарная сессия на тему «Эко, био, органик 2030: производство, продвижение и потребление», а также был организован коллективный стенд производителей органической продукции.

Фонд организовал конкурс по органической продукции среди школьников, в котором приняли участие 1036 учащихся из 59 образовательных учреждений в 7 субъектах Российской Федерации. Конкурс способствовал не только расширению знаний о принципах органического производства, но и формированию экологического сознания среди молодежи. Освещение этапов конкурса в СМИ, включая телесюжеты о награждении победителей, привлекло внимание общественности к вопросам экологии и органического земледелия[7].

В Неклиновском районе Ростовской области в четвёртый раз проведен фестиваль сельского туризма и гастрономии «Хутор Фест», в котором приняли участие более 1000 человек. Участники смогли посетить ремесленные мастер-классы, чайную церемонию, пройти Органик-квест, заняться медитацией с поющими чашами и прогуляться по босоногой экотропе, а также познакомиться с местными производителями и приобрести фермерские и органические продукты. В рамках фестиваля был организована экспозиция «Органика.Дети», где юные гости узнали об органике, её пользе и отличиях от традиционной продукции благодаря созданным по заказу Фонда мультфильмам[8].

Для продвижения темы органической продукции в медиапространстве по заказу Фонда «Органика» были созданы 6 уникальных анимационных видеороликов (продолжительностью 3-5 минут) на темы: «Простые вопросы об органике», «Органика и её история», «География производства органики в России», «Как продукция может попасть на стол», «Потребление органической продукции», «Органика в цифрах». Общее количество просмотров этих видеороликов превысило 100 000. В текущем году также была подготовлена запись на тему «Лучшие примеры продвижения органической продукции»[9].

В 2024 году состоялся третий Национальный органический конкурс в номинации «Народный органический бренд», в котором участвуют 339 участников из 51 региона, что на 17 % больше, чем в 2023 году. По итогам всероссийского голосования был определен победитель конкурса, в котором приняли участие более 160 тысяч человек, что в десять раз превышает количество голосов во время первого конкурса.

---

[6] X Невский международный экологический конгресс «Экология: право, а не привилегия» (Санкт-Петербург, 23-26 мая 2023 г.) [Электронный ресурс]. https://roscongress.org/events/x-nevskiy-mezhdunarodnyy-ekologicheskiy-kongress/about/ (дата обращения: 19.02.2025)

[7] Фонд «Органика» принимает заявки на участие конкурсе [Электронный ресурс]. URL: https: https://organicfund.ru/proizvoditelyam/stazhirovki (дата обращения: 10.03.2025)

[8] Фестиваль сельского туризма и гастрономии «Хутор Фест» [Электронный ресурс] https://organicfund.ru/potrebitelyam/festival-selskogo-turizma-i-gastronomii-hutor-fest (дата обращения: 21.01.2025)

[9] Фонд поддержки производителей органической продукции [Электронный ресурс]. URL: https://organicfund.ru/ (дата обращения: 16.02.2025)

АНО «Национальные приоритеты» обеспечило всестороннее освещение темы органической продукции в телевизионных программах, таких как «Формула еды» и «Утро России» на телеканале «Россия1». Также активно распространяется информация через радиопрограммы с участием экспертов на «Коммерсант FM» и «Радио Маяк», в интернет-СМИ и на портале национальные проекты.рф.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Агроэкспорт» провело широкую информационную кампанию по продвижению органической продукции как среди потребителей, так и среди производителей. На официальном сайте обновлены сведения в разделе «Сертификация продукции», в частности, по теме «Органическая сертификация», который предоставляет актуальные данные о экспорте органической продукции, её производстве, а также информацию о законодательных инициативах Российской Федерации, международном опыте сертификации органических продуктов и частных стандартах в области органического производства [10].

Образование и информационные кампании играют ключевую роль в развитии органического сельского хозяйства, способствуя повышению осведомленности потребителей и производителей о преимуществах органической продукции. Проведение образовательных программ, семинаров, мастер-классов и масштабных информационных кампаний позволяет не только популяризировать органическое земледелие, но и формировать устойчивый потребительский спрос. Успешные инициативы, такие как Всероссийская ярмарка органической продукции, конкурсы среди школьников, фестивали и мультимедийные проекты, демонстрируют эффективность комплексного подхода к продвижению органики.

Заключение. Образование и информационные кампании играют ключевую роль в развитии органического сельского хозяйства, способствуя повышению осведомленности потребителей и производителей о преимуществах органической продукции. Проведение образовательных программ, семинаров, мастер-классов и масштабных информационных кампаний позволяет не только популяризировать органическое земледелие, но и формировать устойчивый потребительский спрос. Успешные инициативы, такие как Всероссийская ярмарка органической продукции, конкурсы среди школьников, фестивали и мультимедийные проекты, демонстрируют эффективность комплексного подхода к продвижению органики.

Государственная поддержка, включая законодательное регулирование, финансирование и организацию мероприятий, является важным фактором развития отрасли. Активное участие частного сектора и общественных организаций, таких как фонд «Органика» и АНО «Национальные приоритеты», также способствует расширению рынка органической продукции и повышению её доступности для потребителей.

Информационные кампании, проводимые через СМИ, социальные сети и специализированные платформы, помогают донести до широкой аудитории информацию о пользе органической продукции, её экологических и социальных преимуществах. Это, в свою очередь, способствует формированию экологической культуры и устойчивого потребительского поведения.

Для дальнейшего успешного развития органического сельского хозяйства необходимо продолжать внедрение образовательных и информационных инициатив, укреплять сотрудничество между государственными, частными и общественными организациями, а также активно использовать цифровые технологии для повышения

прозрачности и доверия к органической продукции. Только комплексный подход, сочетающий просвещение, маркетинг и государственную поддержку, позволит обеспечить устойчивый рост рынка органической продукции и её интеграцию в повседневную жизнь общества.

Таким образом, образование и информационные кампании являются неотъемлемыми элементами стратегии развития органического сельского хозяйства, способствуя его социально-экономическому прогрессу и укреплению экологической устойчивости.

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 Новикова И.И., Захаров А.М., Минин В.Б., Максимов Д.А., Титова Ю.А., Устроев А.А., Хютти А.В., Мурзаев Е.А. Биологизация производства картофеля в условиях Северо-Западного региона РФ. СПБ.: ИАЭП. 2024. 156 с. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80425996

3 Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A., Mishanov A.P., Ivanov D.Y. 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. Vol. 60 (4). P. 372-379. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379

4 Захаров А.М., Устроев А.А., Мурзаев Е.А., Комоедов А.Д. Методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19. № 1. С. 13-21. https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21

5 Орешин Е.Е., Захаров А.М. Повышение качества товарного картофеля // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 1. С. 8-9. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24374001

6 Стратегия развития производства органической продукции до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1302171516 (дата обращения: 17.02.2025).

7 Кондратьева О.В., Слинько О.В., Войтюк В.А., Федоренко В.Ф., Рыжков Д.В. Комплексная оценка состояния и перспектив развития органического сельского хозяйства в Российской Федерации: аналит. обзор. М.: Росинформагротех. 2024. 74 с.

8 Войтюк В. А., Кондратьева О. В.,Слинько О.В. Органическое сельское хозяйство в России: вызовы и возможности // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 3(120). С. 19-32. https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2024-3120-19-32

9 Войтюк В.А., Кондратьева О.В. Актуальные проблемы и перспективы развития экспорта органической продукции в сельском хозяйстве // Современные задачи и перспективные направления инновационного развития аграрной науки: Сб. статей по матер. Межд. науч.-практ. конф. (Курган, 25 апреля 2024 г.) / под общ. ред. проф. С. Ф. Сухановой. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2024. С. 299-303. URL: http://dspace.kgsu.ru/xmlui/handle/123456789/6022

10 Kondratieva O.V., Fedorov A.D., Slinko O.V. Use of information technology in spreading new knowledge in agriculture // Journal of Physics: Conference Series. 2001, 012026. https://doi.org/https://doi.org/ 10.1088/1742-6596/2001/1/012026

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 Novikova I.I., Zakharov A.M., Minin V.B., Maksimov D.A., Titova Yu.A., Ustroev A.A., Hyutti A.V., Murzaev E.A. Biologization of potato production in the conditions of the North-West region of the Russian Federation. Saint-Peterburg: IEEP. 2024. 156 p. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80425996

3 Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A., Mishanov A.P., Ivanov D.Y. 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

4 Zakharov A.M., Ustroev A.A., Murzaev E.A., Komoedov A.D. Methods for designing technologies of organic crop production. Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies. 2025;19(1):13-21. (In Russ.) https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21

5 Oreshin E.E., Zakharov A.M. Improving the quality of marketable potatoes. Tekhnika v sel"skom khozyaistve = Agricultural Machinery. 2012;1:8-9. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24374001

6 The Strategy for the Development of Production of Organic Products in the Russian Federation until 2030 [online]. (In Russ.) URL: https://docs.cntd.ru/document/1302171516 (accessed 17.02.2025).

7 Kondratieva O.V., Slinko O.V., Voytyuk V.A., Fedorenko V.F., Ryzhkov D.V. Comprehensive assessment of the state and prospects for the development of organic agriculture in the Russian Federation: analytical review. Moscow: Rosinformagroteh. 2024. 74 p. (In Russ.)

8 Voytyuk V. A., Kondratieva O. V., Slinko O. V. Organic agriculture in Russia: challenges and opportunities. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2024;3 (120):19-32 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-19-32

9 Voytyuk V.A., Kondratieva O. V. Current problems and prospects for the development of exports of organic products in agriculture. In: Modern tasks and promising directions of innovative development of agricultural science: Collection of articles based on the materials of Int. Sci. Prac. Conf. (Kurgan, April 25, 2024). Sukhanova S.F. (ed.).Kurgan: Kurgan State University, 2024: 299-303. (In Russ.) URL: http://dspace.kgsu.ru/xmlui/handle/123456789/6022

10 Kondratieva O.V., Fedorov A.D., Slinko O.V. Use of information technology in spreading new knowledge in agriculture. Journal of Physics: Conference Series. 2001, 012026. (In Eng.) https://doi.org/ 10.1088/1742-6596/2001/1/012026

Об авторах:	**About the authors:**
Слинько Олеся Викторовна старший научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о.	**Olesya V. Slinko** Senior Researcher, Department of Predictive Analytical Information and Consulting Support of Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky,

Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 inform-iko@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-1401-7327	Lesnaya Str., 60 inform-iko@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-1401-7327
Кондратьева Ольга Вячеславовна канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 inform-iko@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-1140-1024 +7-903-276-40-41	**Olga V. Kondratieva** Candidate of Economic Sciences, leading researcher, Department of Predictive Analytical Information and Consulting Support of Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 inform-iko@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-1140-1024 +7-903-276-40-41
Войтюк Вячеслав Александрович канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения, председатель Совета молодых ученых и специалистов ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 Bovver71@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-9136-3795 +7-985-164-86-94	**Vyacheslav A. Voityuk** Candidate of Economic Sciences, leading researcher, Department of Predictive and Analytical Information and Consulting Support, Chairman of Young Scientists and Specialists Council at Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 Bovver71@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-9136-3795 +7-985-164-86-94
Полухин Андрей Александрович, д-р экон. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела прогнозно-аналитической информации и консультационного обеспечения ФГБНУ «Росинформагротех». 141261, Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60 polukhinogac@yandex.ru https://orcid.org/0000-0002-6652-1031 +7-910-301-96-01	**Andrey A. Polukhin,** DSc (Econ), professor of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Department of Predictive and Analytical Information and Consulting Support of Rosinformagrotech. 141261, Moscow Region, Urban District Pushkinsky, Industrial Township Pravdinsky, Lesnaya Str., 60 polukhinogac@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6652-1031
Заявленный вклад авторов О.В. Слинько – создание черновика и окончательной версии (доработка)	**Authors' contribution** O.V. Slinko – draft and final version (revision) of the manuscript and its editing,

рукописи и ее редактирование, визуализация О.В. Кондратьева – методология В.А. Войтюк – концептуализация А.А. Полухин – руководство исследованием	visualization O.V. Kondratieva – methodology V.A. Voityuk – conceptualization A.A. Polukhin – research management
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interest** The authors declare that there is no conflict of interest
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication
Статья поступила в редакцию:05.02.2025	**Received:** 05.02.2025
Одобрена после рецензирования: 21.04.2025	**Approved after reviewing:** 21.04.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 635.21:635.1 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-27-38

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ХЕЛАТНОГО КОМПЛЕКСА МЕДИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

Алина Сергеевна Барчукова[1]✉, Софья Михайловна Ветрова[2]

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия

[1]✉barchukova@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-7202-291X
[2]s.vetrova@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0009-0004-8979-4368

Аннотация. Картофель является стратегически важной сельскохозяйственной культурой. Клубни картофеля представляют собой ценный источник углеводов, белков, витаминов и минеральных веществ, играющих важную роль в рационе питания человека. В условиях интенсификации современного земледелия, направленной на достижение максимальной урожайности сельскохозяйственных культур и повышение питательной ценности продукции, актуальным является внедрение новых элементов технологии выращивания. Настоящее исследование посвящено оценке влияния некорневых подкормок хелатным комплексом меди на урожайность и качество клубней картофеля. Исследования проводились в 2022-2024 гг. на экспериментальной базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Объектом исследования являлись сорта картофеля

Гулливер, Вымпел и Матушка. Схема опыта включала контроль (без применения хелатного комплекса меди) и варианты с внесением хелатного комплекса меди в концентрациях 1:1000, 1:500 и 1:125 (разведение с водой). Результаты исследования выявили статистически значимое увеличение урожайности картофеля при применении хелатного комплекса меди по сравнению с контрольным вариантом ($p < 0,05$). Наибольшая прибавка урожайности по всем сортам картофеля наблюдалась при применении хелатного комплекса меди в концентрации 1:500. В среднем по трем сортам урожайность увеличилась на 3,8 т/га, что составляет 15,3 % по сравнению с контрольным вариантом. Концентрации 1:1000 и 1:125 также показали положительное влияние на урожайность, однако их эффективность была несколько ниже, чем у концентрации 1:500. Листовые обработки хелатным комплексом меди в концентрации 1:500 оказали положительное влияние на увеличение доли товарных клубней (диаметром свыше 30 мм). Данный эффект был наиболее выражен у сорта Гулливер. Применение листовых обработок хелатным комплексом меди в концентрации 1:500 привело к увеличению урожайности товарных клубней диаметром более 46 мм.

Ключевые слова: хелат, медь, урожайность, картофель, качество.

Для цитирования: Барчукова А.С., Ветрова С.М. Эффективность применения хелатного комплекса меди при возделывании картофеля. // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 27-38 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-27-38

Research article
Universal Decimal Code 635.21:635.1

EFFICIENCY OF APPLICATING COPPER CHELATE COMPLEX IN POTATO GROWING

Alina S. Barchukova[1]✉, Sofya M. Vetrova[2]

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[1]✉barchukova@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-7202-291X
[2]s.vetrova@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0009-0004-8979-4368

Abstract. The potato is a strategically important crop. Potato tubers are a valuable source of carbohydrates, proteins, vitamins and minerals, playing a key role in the human diet. Current farming intensification aims to achieve the largest possible crop yields and improve the product nutritional value. In this context, it is important to introduce new elements to crop cultivation technologies. The present study is devoted to the evaluation of the effect of foliar fertilization with a copper chelate complex on the yield and quality of potato tubers. The research was conducted in 2022-2024 on the experimental base in the Moscow Region on a field of Lorkh Potato Research Center. The object of the study were Gulliver, Vympel and Matushka potato varieties. The experiment design included control (without copper chelate complex) and variants with copper chelate complex application in concentrations of 1:1000, 1:500 and 1:125 (dilution with water). The results of the study revealed a statistically significant increase in potato yield when using a copper chelate complex compared with the control variant ($p < 0.05$). The greatest

increase in yield for all potato varieties was observed with the use of a copper chelate complex at a concentration of 1:500. On average, for the three varieties, the yield increased by 3.8 t/ha. That was 15.3% compared with the control variant. Concentrations of 1:1000 and 1:125 also showed a positive effect on the yield. Yet their effectiveness was slightly lower than that of the 1:500 concentration. Leaf treatments with a copper chelate complex at a concentration of 1:500 had a positive effect on increasing the proportion of commercial tubers (over 30 mm in diameter). This effect was most pronounced in the Gulliver variety. The use of leaf treatments with a chelated copper complex at a concentration of 1:500 led to an increase in the yield of commercial tubers with a diameter of more than 46 mm.

Keywords: chelate, copper, yielding capacity, potato, quality.

For citation: Barchukova A.S., Vetrova S.M. Efficiency of applicating copper chelate complex in potato growing. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 27-38 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-27-38

Введение. Картофель, являясь стратегически важной культурой, определяющей продовольственную безопасность Российской Федерации, играет важную роль в рационе питания населения. Однако, в последние десятилетия наблюдается тенденция к сокращению промышленного производства отечественных сортов картофеля [1]. Несмотря на увеличение урожайности в сельскохозяйственных организациях и фермерских хозяйствах, отмечено снижение объемов производства в секторе хозяйств населения. Сохранение общего объема производства картофеля на уровне, обеспечивающем потребности РФ, является стратегической задачей. Согласно статистическим данным, предоставленным Росстатом, в 2024 году валовой сбор картофеля в промышленном секторе картофелеводства России составил 7 370,6 тыс. тонн, что отражает снижение на 14,5 % (или 1 254,2 тыс. тонн) по сравнению с показателями 2023 года. Анализ динамики за более длительный период показывает, что за последние пять лет сборы сократились на 2,6 % (на 194,2 тыс. тонн), однако за десятилетний период наблюдается рост на 19,3 % (на 1 192,3 тыс. тонн).

Внедрение современных интегрированных технологий возделывания картофеля, использование новой техники и высококачественных семенных клубней обусловили значительное повышение урожайности, особенно в хозяйствах, располагающих необходимым комплексом машин и семенным материалом высоких репродукций [2-5]. Вместе с тем, наблюдается тенденция к ухудшению качества выращенных клубней. Отмечается повышенное содержание нитратов, проблемы с хранением и наличие остаточных количеств пестицидов. Причинами данной ситуации являются высокие нормы внесения минеральных удобрений (особенно азота), возрастающая агрессивность и устойчивость возбудителей заболеваний к применяемым препаратам, а также дефицит квалифицированных агрономов и технологов.

Интенсивное применение минеральных удобрений и многократные обработки фунгицидами и другими пестицидами по современным технологиям возделывания картофеля приводят к нарушению экологического баланса, накоплению вредных веществ в растениях, почве и водоемах, оказывая негативное воздействие на здоровье человека и сельскохозяйственных животных [6].

В условиях растущей интенсификации и химизации сельского хозяйства, а также применения все более мощных пестицидов, остро встает вопрос о необходимости

перехода к экологическому земледелию и разработке технологий выращивания экологически чистой продукции.

Первостепенное значение для сохранения окружающей среды и производства безопасного органического картофеля приобретает снижение пестицидной нагрузки, использование сидератов, биологических методов борьбы с болезнями и вредителями, а также применение микроудобрений. В частности, введение меди в систему питания картофеля является важным агротехническим приемом, направленным на повышение урожайности и улучшение качества клубней. Медь, являясь эссенциальным микроэлементом, участвует в фундаментальных физиологических процессах, включая фотосинтез, дыхание и метаболизм углеводов [7]. Дефицит меди, особенно на щелочных и песчаных почвах, может существенно ограничить рост и развитие картофеля, приводя к снижению урожайности и ухудшению его товарных качеств [8]. Традиционные формы медных удобрений, такие как сульфат меди, обладают низкой растворимостью и доступностью для растений, что ограничивает их эффективность. Хелатные комплексы меди, напротив, обладают высокой растворимостью и стабильностью в широком диапазоне pH, что обеспечивает более эффективное усвоение меди растениями [9-12].

Эффективность применения хелатных форм меди в картофелеводстве подтверждается многочисленными исследованиями. Так, в работе [13] показано, что внесение хелата меди ЭДДХА (этилендиамин-N, N'-бис(2-гидроксифенил) уксусной кислоты) на щелочных почвах значительно увеличивает содержание меди в листьях картофеля и повышает урожайность клубней. Аналогичные результаты были получены в исследованиях [14], где применение хелатов меди, таких как ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота), приводило к более эффективному поглощению меди растениями и улучшению их жизнедеятельности.

Кроме того, медь играет важную роль в формировании устойчивости картофеля к различным болезням и стрессовым факторам. Установлено, что достаточный уровень меди в растениях способствует активации защитных механизмов, повышая устойчивость к фитофторозу (Phytophthora infestans) и другим грибковым заболеваниям [15].

Выбор оптимальной формы и дозы медного удобрения должен основываться на результатах анализа почвы и растительной диагностики. При определении потребности картофеля в меди следует учитывать тип почвы, pH, содержание органического вещества и предшественник. Внесение меди рекомендуется проводить в виде некорневых подкормок в период активного роста растений, что обеспечивает быстрое и эффективное усвоение микроэлемента. Некорневые подкормки хелатными формами меди позволяют оперативно устранить дефицит элемента и повысить урожайность и качество продукции [16].

Таким образом, применение хелатных форм меди является перспективным направлением в повышении эффективности минерального питания картофеля. Использование хелатов меди обеспечивает более эффективное усвоение элемента растениями, повышает урожайность и качество клубней, а также способствует формированию устойчивости к болезням и стрессовым факторам.

Целью настоящего исследования является оценка эффективности применения некорневых подкормок хелатным комплексом меди при возделывании картофеля.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2022-2024 гг. на экспериментальной базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», расположенной в

Коренёво, Люберецкого района Московской области. Изучалось влияние хелатного комплекса меди (стимулятора роста), содержащего азот, бор и медь, на сорта картофеля Гулливер, Вымпел и Матушка.

Почва опытного участка классифицировалась как дерново-подзолистая супесчаная. Агрохимический анализ пахотного горизонта, выполненный перед закладкой опыта, выявил следующие характеристики: высокую обменную и гидролитическую кислотность (pHKCl = 4,71; Hг = 3,27 мг-экв/100г почвы), низкую сумму поглощенных оснований и степень насыщенности ими (S = 3,11 мг-экв/100г почвы; V = 48,7 %), высокое содержание подвижного фосфора (315 мг/кг почвы) и низкое содержание обменного калия (97 мг/кг почвы), а также удовлетворительное содержание гумуса (1,91 %). Предельно-полевая влагоёмкость почвы составляла 13,3%.

Осенняя подготовка почвы включала зяблевую вспашку на глубину 18-22 см, осуществляемую агрегатом МТЗ-82 в связке с плугом ПЛН-3-35. Весенняя предпосадочная обработка почвы включала рыхление на глубину 12-15 см с использованием трактора МТЗ-82 и дисковой бороны БДТ-3,0. Посадка картофеля с шириной междурядий 75 см проводилась в предварительно нарезанные гребни агрегатом МТЗ-82 + СН-4БК. В качестве посадочного материала использовались непророщенные клубни картофеля средней фракции (размером 46-53 мм по наибольшему поперечному диаметру), которые заделывались на глубину 8-10 см. Уборка урожая картофеля была проведена в конце августа.

Закладка полевого опыта, учеты и наблюдения осуществлялись в соответствии с требованиями методики полевого опыта[10], методики исследований по культуре картофеля[11] и методики проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле[12]. Дисперсионный анализ полученных данных проводился согласно методологии Б.А. Доспехова[1]. Расчет экономической эффективности применения хелатного комплекса меди осуществлялся в соответствии с методикой, разработанной ВНИИПИ[13].

Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без применения хелатного комплекса меди), а также варианты с внесением хелатного комплекса меди в концентрациях 1:1000, 1:500 и 1:125. Листовая обработка хелатным комплексом меди проводилась в фазу всходов, бутонизации и в конце цветения. Учет урожайности проводился путем взвешивания клубней с каждого варианта опыта. Качество клубней оценивалось по содержанию крахмала и сухих веществ. Экономическая эффективность применения хелатного комплекса меди оценивалась на основе анализа затрат на удобрения и полученной дополнительной прибыли от увеличения урожайности.

Опыт закладывали в условиях трехпольного севооборота с систематическим размещением делянок. Предшественник картофеля – зернобобовые. Повторность опыта –

[10] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.

[11] Андрюхина Н. А., Бацанов Н С., Будина Л.В. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ. 1967. 262 с.

[12] Жевора С.В., Федотова Л.С., Старовойтов В.И. и др. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле. М.: Наука. 2019. 120 с.

[13] Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научных исследований и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: ВНИИПИ. 1983. 149 с.

трехкратная. Площадь учетной делянки в 2022 г. в среднем составляла – 12,5 м^2; в 2023 г. и в 2024 г. – 25 м^2. Густота посадки – 44 тыс. шт./га при ширине междурядий 75 см.

Результаты. Применение хелатного комплекса меди привело к статистически значимому увеличению урожайности картофеля по сравнению с контрольными вариантами ($p < 0.05$) (табл. 1.)

Таблица 1. Валовая урожайность картофеля, т/га

Table 1. Gross potato yield, t/ha

Сорт	Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	± к контролю	
						т/га	%
Гулливер	1 Контроль (вода)	20,6	32,3	27,8	26,9	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	20,9	34,9	28,9	28,2	1,3	5,0
	3 (1 к 500 воды)	25,8	36,2	31,7	31,2	4,3	16,1
	4 (1 к 125 воды)	23,7	34,3	30,1	29,4	2,5	9,2
	Среднее по сорту	22,8	34,4	29,6	28,9	-	-
	$НСР_{05}$ по сорту, т/га	2,13	1,41	1,45	-	-	-
Вымпел	1 Контроль (вода)	19,8	34,5	29,4	27,9	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	22,2	36,4	32,2	30,3	2,4	8,5
	3 (1 к 500 воды)	24,9	38,3	33,6	32,3	4,4	15,6
	4 (1 к 125 воды)	21,7	38	34,0	31,2	3,3	11,9
	Среднее по сорту	22,2	36,8	32,3	30,4	-	-
	$НСР_{05}$ по сорту, т/га	1,82	1,51	1,80	-	-	-
Матушка	1 Контроль (вода)	15,9	25,6	18,1	19,9	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	17,5	26,7	18,8	21,0	1,1	5,7
	3 (1 к 500 воды)	20	28	19,7	22,6	2,7	13,6
	4 (1 к 125 воды)	16	28,9	19,8	21,6	1,7	8,6
	Среднее по сорту	17,4	27,3	19,1	21,3	-	-
	$НСР_{05}$ по сорту, т/га	1,66	1,25	0,71	-	-	-
$НСР_{05}$, сорт, т/га		2,42	4,04	5,69	-	-	-
$НСР_{05}$, применение препарата, т/га		1,32	1,36	1,28	-	-	-
Среднее по трем сортам	1 Контроль (вода)	18,8	30,8	25,1	24,9	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	20,2	32,7	26,6	26,5	1,6	6,5
	3 (1 к 500 воды)	23,6	34,2	28,3	28,7	3,8	15,3
	4 (1 к 125 воды)	20,5	33,7	28,0	27,4	2,5	10,0
	Среднее	20,8	32,8	27,0	26,9	-	-
	$НСР_{05}$, общая, т/га	3,06	4,27	1,27	-	-	-

Фракционный состав клубней варьировал в зависимости от условий выращивания и применения препарата (рис.1).

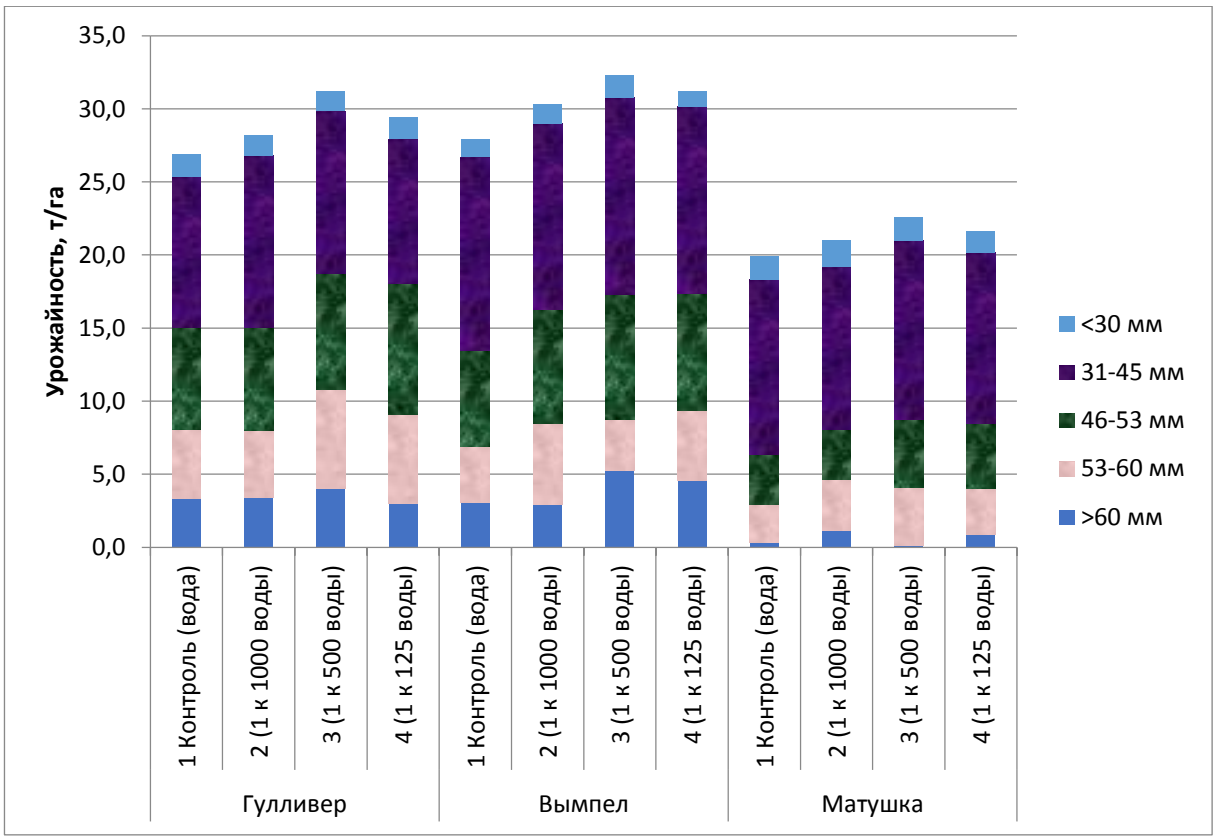


Рис.1. Структура урожайности в среднем за три года (2022-2024), т/га
Fig. 1. Average yield structure for three years (2022-2024), t/ha

Обсуждение. Внесение хелатного комплекса меди повысило урожайность сортов картофеля на 15-20 % по сравнению с контролем. Кроме того, применение хелатного комплекса меди оказало положительное влияние на качество клубней. Содержание крахмала и сухих веществ в клубнях картофеля, выращенного с применением хелатного комплекса меди, было выше, чем в контрольном варианте.

В засушливых условиях 2022 года средняя урожайность сорта Гулливер составила 22,8 т/га ($НСР_{05}$ = 2,13 т/га), сорта Вымпел – 22,2 т/га ($НСР_{05}$ = 1,82 т/га), а сорта Матушка – 17,4 т/га ($НСР_{05}$ = 1,66 т/га). Применение исследуемого препарата привело к следующим результатам: для сорта Гулливер урожайность варьировала от 28,2 т/га при концентрации 1:1000 до 31,2 т/га при концентрации 1:500, что на 5,0-16,1 % выше контроля. Для сорта Вымпел урожайность увеличилась с 30,3 т/га (1:1000) до 32,3 т/га (1:500), превысив контроль на 8,5-15,6 %. Сорт Матушка показал прирост урожайности от 21,0 т/га (1:1000) до 22,6 т/га (1:500), что на 5,7-13,6 % выше контрольного значения.

В 2023 году, характеризовавшемся более благоприятными погодными условиями, урожайность контрольных вариантов была значительно выше, чем в 2022 году. Так, средняя урожайность сорта Гулливер в контроле составила 32,3 т/га ($НСР_{05}$ = 1,41 т/га), сорта Вымпел – 34,5 т/га ($НСР_{05}$ = 1,51 т/га), а сорта Матушка – 25,6 т/га ($НСР_{05}$ = 1,25 т/га). Применение хелатного комплекса меди также оказало положительное влияние на урожайность картофеля в 2023 году. Для сорта Гулливер максимальная прибавка урожайности была получена при концентрации 1:500 (36,2 т/га), что на 12,1% выше контроля. Для сорта Вымпел максимальная урожайность была зафиксирована при концентрации 1:125 (38,0 т/га), что на 10,1 % выше контроля. Сорт Матушка также

показал увеличение урожайности при применении хелатного комплекса меди, максимальная прибавка была получена при концентрации 1:125 (28,9 т/га), что на 12,9 % выше контроля.

В 2024 году средняя урожайность контрольных вариантов составила: для сорта Гулливер – 27,8 т/га ($НСР_{05}$ = 1,45 т/га), для сорта Вымпел – 29,4 т/га ($НСР_{05}$ = 1,80 т/га), для сорта Матушка – 18,1 т/га ($НСР_{05}$ = 0,71 т/га). Внесение хелатного комплекса меди в 2024 году также способствовало увеличению урожайности изучаемых сортов картофеля. Наибольший эффект для сорта Гулливер был отмечен при использовании концентрации 1:500 (31,7 т/га), что на 14,0% выше контрольного варианта. Сорт Вымпел показал максимальную прибавку урожайности при концентрации 1:125 (34,0 т/га), что на 15,6 % выше контроля. Для сорта Матушка максимальная урожайность была получена при концентрации 1:125 (19,8 т/га), что на 9,4 % выше контроля.

Анализ средних данных за три года исследований показал, что наибольшая прибавка урожайности по всем сортам картофеля наблюдалась при применении хелатного комплекса меди в концентрации 1:500. В среднем по трем сортам урожайность увеличилась на 3,8 т/га, что составляет 15,3 % по сравнению с контрольным вариантом. Концентрации 1:1000 и 1:125 также показали положительное влияние на урожайность, однако их эффективность была несколько ниже, чем у концентрации 1:500.

Полученные результаты согласуются с данными, представленными в исследовании [13], подтверждающими положительное влияние хелатированных микроэлементов на урожайность картофеля. В частности, применение внекорневой обработки хелатом меди обеспечивает прибавку урожая на 3,8-4,4 т/га по сравнению с контрольными показателями, не подвергавшимися обработке [14].

Согласно стандарту[14], размер клубней по наибольшему поперечному диаметру должен быть не менее 30 мм для округло-овальных и 28 мм для удлиненных клубней.

В 2022 году средний процент товарных клубней составил: для сорта Гулливер – 93-95 %, для сорта Вымпел – 93-96 %, для сорта Матушка – 85-88 %. В 2023 году: сорт Гулливер – 96-97 %, сорт Вымпел – 93-96 %, сорт Матушка – 96-98 %. В 2024 году: сорта Гулливер и Вымпел – 94-95 %, сорт Матушка – 92-94 %. В благоприятных условиях 2023 года наблюдалось увеличение количества как крупных клубней (>60 мм), так и общего количества товарных клубней (>30 мм).

В среднем за три года масса нетоварных клубней (диаметром менее 30 мм) оказалась незначительной по сравнению с общей массой клубней. Клубни раннего сорта Гулливер характеризовались несколько большей средней массой по сравнению с другими исследуемыми сортами, в особенности с сортом Матушка. Листовые обработки хелатным комплексом меди в концентрации 1:500 оказали положительное влияние на увеличение доли товарных клубней (диаметром свыше 30 мм), пригодных для реализации в свежем виде и промышленной переработки, в частности, для производства чипсов. Данный эффект был наиболее выражен у сорта Гулливер. Наибольшее количество крупных клубней (более 60 мм) было зафиксировано у сорта Вымпел (2,9-5,3 т/га). Анализ массы клубней размером более 53 мм, выявил существенное превосходство сортов Вымпел (6,9-9,4 т/га) и Гулливер (8,0-10,8 т/га) над сортом Матушка (2,9-4,6 т/га).

[14] Малько А. М., Анисимов Б. В., Трофимов Н. В. и др. Контроль качества и сертификация семенного картофеля: (практическое руководство). М.: Росинформагротех, 2003. 316 с.

Применение листовых обработок хелатным комплексом меди в концентрации 1:500 привело к увеличению урожайности товарных клубней диаметром более 46 мм, предназначенных для продовольственных целей: 18,7 т/га (Гулливер), 17,3 т/га (Вымпел) и 8,7 т/га (Матушка), по сравнению с контрольными значениями 15,1 т/га, 13,5 т/га и 6,4 т/га, соответственно

Выводы. В период с 2022 по 2024 гг. было установлено положительное влияние некорневых подкормок хелатным комплексом меди на урожайность и качественные характеристики клубней картофеля.

Наиболее эффективной концентрацией хелатного комплекса меди является 1:500, обеспечивающая максимальную прибавку урожайности по сравнению с контролем, которая составила: для сорта Гулливер – 4,3 т/га, для сорта Вымпел– 4,4 т/га, для сорта Матушка – 2,7 т/га.

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение некорневых подкормок хелатным комплексом меди в технологии возделывания картофеля в условиях Московской области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Канаматова Д.А. Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации // Вестник евразийской науки. 2021. № 13 (6), 62. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48157007

2. Орешин Е.Е., Захаров А.М. Повышение качества товарного картофеля // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 1. С. 8-9. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24374001

3. Логинов Г.А., Степанов А.Н., Орешин Е.Е., Захаров А.М. Результаты производственных испытаний машины для сухой очистки картофеля // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2012. № 83. С. 47-52. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22835126

4. Орешин Е.Е., Захаров А.М. Эффективность использования блока сухой очистки при подготовке к реализации продовольственного картофеля // Молочнохозяйственный вестник. 2012. № 4 (8). С. 45-51. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18757054

5. Джабборов Н.И., Захаров А.М., Зыков А.В. Оценка эффективности применения аэродинамического способа для предреализационной обработки картофеля // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 95. С. 136-143. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35167235

6. Бузетти К.Д., Иванов М.В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека // Аграрная наука. 2020. № 5. С. 80-84. URL: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84

7. Парахонский А.П. Роль меди в организме и значение ее дисбаланса // Естественно-гуманитарные исследования. 2015. № 4(10). С. 72-83. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25014228

8. Анспок П.И. Микроудобрения. Л.: Агропромиздат. 1990. 272 с.

9. Волкова В.А. К вопросу о применении соединений меди в технологии возделывания яровой мягкой пшеницы // Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 68-72. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=GHSAEN

10. Гуревич А. С. Влияние обработки сульфатом меди и гиббереллином на растения картофеля // Аграрный вестник Урала. 2010. №11-1 (77). С. 8-9. EDN: PWSZEZ

11. Манохина А.А., Гайдар С.М., Барчукова А.С. Применение азотсодержащего удобрения в технологии выращивания картофеля. АгроЭкоИнженерия. 2023. № 1(114). С. 76-92. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53741321

12. Барчукова А. С., Ветрова С. М. Влияние азотсодержащего удобрения на всхожесть семян томата // Актуальные вопросы современных технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Матер. Всеросс. (нац.) науч.-практ. конф. с межд. участием (Курск, 31 марта 2023 г.). Курск: Курский ГАУ. 2023. Ч. 1. С. 16-20. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54507882

13. Yunta F., García-Marco S., Lucena J.J., Gómez-Gallego M., Alcázar R., Sierra M.A. Chelating agents related to ethylenediamine bis(2-hydroxyphenyl)acetic acid (EDDHA): synthesis, characterization, and equilibrium studies of the free ligands and their Mg2+, Ca2+, Cu2+, and Fe3+ chelates // Inorganic Chemistry. 2003. Vol. 42(17). P. 5412-5421. https://doi.org/10.1021/ic034333j

14. Автухович И.Е., Постников Д. А. Влияние ЭДТА на поведение металлов в субстрате и их накопление растениями // Агрохимический вестник. 2014. № 1. С. 23-25. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21220156

15. Нековаль С.Н., Беляева А.В., Садовая А.Е., Федорянская И.С. Эффективность нового медьсодержащего фунгицида против возбудителя фитофтороза картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 34(11). С. 48-52. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44499728

16. Попова В.В., Гоман Н.В., Бобренко И.А., Гайдар А.А. Влияние некорневой подкормки хелатами микроэлементов на урожайность яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве // Вестник КрасГАУ. 2020. №8 (161). С. 57-64. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=43930164

REFERENCES

1. Kanamatova, D. A. Ensuring food security of the Russian Federation. Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal. 2021;13 (6), 62. (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48157007

2. Oreshin E.E., Zakharov A.M. Improving the quality of marketable potatoes. Tekhnika v sel"skom khozyaistve = Agricultural Machinery. 2012;1:8-9. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24374001

3. Loginov G.A., Stepanov A.N., Oreshin E.E., Zakharov A.M. Field test results of potato dry cleaning machine. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanized crop and livestock production. 2012;83:47-52. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22835126

4. Oreshin E.E., Zakharov A.M. Efficient use of the dry cleaning unit in potatoes preselling preparation. Molochnokhozyaistvennyi vestnik = Molochnokhozyaistvenny Vestnik. 2012;4 (8):45-51. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18757054

5. Dzhabborov N.I., Zakharov A.M., Zykov A.V. Evaluation of aerodynamic method of pre-sale treatment of potato. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies, machines and equipment for mechanized crop and livestock production. 2018; 95:136-143. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35167235

6. Buzetti K.D., Ivanov M.V. The impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, the quality of agricultural products and human health. Agrarnaya nauka = Agrarian Science. 2020; 5: 80–84. (In Russ.) https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-81-84

7. Parakhonsky A. P. The role of copper in the body and the importance of its imbalances. Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya = Natural-Humanitarian Studies. 2015;4(10):72-83. (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25014228

8. Anspok P.I. Microfertilisers. Leningrad: Agropromizdat. 1990. 272 p. (In Russ.)

9. Volkova V. A. On the use of copper compounds in the technology of cultivation of spring soft wheat. Agrohimicheskij vestnik = Agrochemical Herald. 2020; 2: 68-72. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=GHSAEN

10. Gurevich A. S. The influence of the processing by sulphate honeys and gibberellinom on plants of the potatoes. Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals. 2010;11-1 (77): 8-9. (In Russ.) EDN: PWSZEZ

11. Manokhina A. A., Gaidar S. M., Barchukova A. S. Application of nitrogen-containing fertilizers in potato growing technology. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2023;1(114): 76-92. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53741321

12. Barchukova A. S., Vetrova S. M. Effects of nitrogen-containing fertilizer on the germination of tomato seeds. In: Topical issues of modern technologies for the production and processing of agricultural products. Proc. All-Russian (national) Sci. Prac. Conf. with Int. Part. (Kursk, March 31, 2023). Kursk: Kursk SAU. 2023;1:16-20 (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54507882

13. Yunta F., García-Marco S., Lucena J.J., Gómez-Gallego M., Alcázar R., Sierra M.A. Chelating agents related to ethylenediamine bis(2-hydroxyphenyl)acetic acid (EDDHA): synthesis, characterization, and equilibrium studies of the free ligands and their Mg2+, Ca2+, Cu2+, and Fe3+ chelates. Inorganic Chemistry. 2003;42(17):5412-5421. (In Eng.) https://doi.org/10.1021/ic034333j

14. Avtukhovich, I. E., Postnikov D. A. Influence of EDTA on metals behavior in the substrate and its accumulation by plants. Agrohimicheskij vestnik = Agrochemical Herald. 2014; 1: 23-25. (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21220156

15. Nekoval S. N., Belyaeva A.V., Sadovaya A. E., Fedoryanskaya I. S. The effectiveness of a new copper-containing fungicide against the causative agent of potato late blight. Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2020;34(11):48-52 (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44499728

16. Popova V. V., Goman N. V., Bobrenko I. A., Gaydar A. A. The effect of foliar feeding with microelement chelates on the yield of spring wheat when cultivated on meadow-black soil. Vestnik KrasGAU = Bulletin of KSAU. 2020;8(161): 57-64. (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=43930164

ОБ АВТОРАХ:	**ABOUT THE AUTHORS:**
Барчукова Алина Сергеевна, аспирант кафедры материаловедения и технологии машиностроения, Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, ул.	Alina S. Barchukova, postgraduate student of the Department of Materials Science and Engineering Technology, Russian State Agrarian University-Timiryazev Agricultural Academy,

Тимирязевская, д. 49, Москва, 127434, Россия barchukova@rgau-msha.ru https://orcid.org/0000-0001-7202-291X	49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia barchukova@rgau-msha.ru https://orcid.org/0000-0001-7202-291X
Ветрова Софья Михайловна, канд. техн. наук, ассистент кафедры материаловедения и технологии машиностроения, Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, 127434, Россия s.vetrova@rgau-msha.ru https://orcid.org/0009-0004-8979-4368	**Sofya M. Vetrova,** Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Materials Science and Engineering Technology, Russian State Agrarian University-Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia s.vetrova@rgau-msha.ru https://orcid.org/0009-0004-8979-4368
Заявленный вклад авторов Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.	**Authors' contribution** All authors of this study were directly involved in its design, execution, and analytical work.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interest.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию:21.04.2025	**Received:** 21.04.2025
Одобрена после рецензирования: 26.05.2025	**Approved after reviewing:** 26.05.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 636.085.67 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-38-53

ОЦЕНКА УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА В МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Владимир Александрович Сухляев✉, Андрей Владимирович Палицын, Илья Игоревич Иванов

Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, Молочное-Вологда, Россия

✉227804@mail.ru

Аннотация. Повышения энергоэффективности процесса измельчения зерновых материалов в современных конструкциях молотковых дробилок возможно добиться только при системном подходе к организации технологического процесса. Конструктивно-технологические характеристики каждого из элементов измельчителя в отдельности оказывают влияние на сопредельные параметры процесса измельчения и приводят к синергетическому эффекту. В статье приведены результаты экспериментальных исследований энергетических характеристик дробилки. На экспериментальной установке предусмотрена возможность изменения следующих параметров: линейной скорости по концам рабочих органов; способов подачи зерна в дробильную камеру дробилки; решет с различными диаметрами отверстий для сепарации дерти; установки рабочих органов роторов различной конструкции; параметров давления/разряжения в дробильной камере при осуществлении процесса измельчения зернового материала; скорости вращения промышленного вибратора. Анализ экспериментального материала показывает, что наименьшие удельные энергозатраты приходятся на диапазон скоростей рабочих органов от 40 до 50 м/с. При прочих равных условиях, наименьшими удельными энергозатратами на измельчение обладает осевая подача зернового материала в дробильную камеру. Увеличение плотности искусственно создаваемой рабочей атмосферы в дробильной камере приводит к увеличению удельных энергозатрат, а её уменьшение приводит к снижению удельных энергозатрат на процесс измельчения зерновых материалов, но при этом возрастает переизмельчение готового продукта за счёт снижения интенсивности процесса эвакуации зерновой дерти. Теоретически рассчитаны две собственные частоты колебаний системы (дробилки). Выполнены поисковые эксперименты по исследованию удельных энергозатрат в интервале изменения частоты вращения вибратора от 0 до 2400 мин$^{-1}$. Наиболее значимые изменения характеристик происходят в диапазонах частот 800-1600 мин$^{-1}$, которые определяют оптимальные режимы работы измельчителя.

Ключевые слова: фуражное зерно, энергоэффективность измельчения зерна, конструктивно-технологические параметры, молотковая дробилка.

Для цитирования: Сухляев В.А., Палицын А.В., Иванов И.И. Оценка удельных энергозатрат процесса измельчения зерна в молотковой дробилке в зависимости от режимов работы // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 38-53 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-38-53

Scientific article
Universal Decimal Code 636.085.67

ESTIMATION OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION OF GRAIN GRINDING IN A HAMMER CRUSHER DEPENDING ON ITS OPERATION MODES

Vladimir A. Sukhlyaev✉, Andrey V. Palitsyn, Il'ya I. Ivanov

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

✉227804@mail.ru

Abstract. The energy efficiency of grain grinding in modern hammer crushers can only be improved through consistent organization of the technological process. The design and technological characteristics of each crusher element affect the closely related grinding parameters and lead to a synergistic effect. This scientific paper presents the results of experimental studies on the energy characteristics of a grain crusher. The experimental unit enables the following to be changed: the linear speed at the ends of the working elements; the methods of supplying grain into the crushing chamber; sieves with different hole diameters for separating groats; the installation of rotor working elements of various designs; the pressure/discharge parameters in the crushing chamber during the grain grinding process; and the rotation speed of the commercial vibrator. Analysis of experimental data shows that the lowest specific energy consumption occurs at the working element speeds of 40-50 m/s. Other things being equal, the axial feeding of grain material into the crushing chamber results in the lowest specific energy consumption for grinding. An increase in the density of artificially maintained working atmosphere in the crushing chamber leads to higher specific energy consumption. Its decrease results in lower specific energy consumption. At the same time, overgrinding of the finished product increases due to the decreased intensity of the grain groats evacuation. The study made theoretical calculations of two natural oscillation frequencies of the system (crusher). Exploratory experiments studied the specific energy consumption at various vibrator rotation frequencies ranging from 0 to 2400 min^{-1}. The most significant changes in the characteristics occurred within the 800-1600 min^{-1} frequency range, which determined the crusher's optimal operating modes.

Keywords: forage grain, grain grinding, energy efficiency, design and technological parameters, hammer crusher

For citation: Sukhlyaev V.A., Palitsyn A. V., Ivanov I. I. Estimation of specific energy consumption of grain grinding in a hammer crusher depending on its operating modes. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 38-53 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-38-53

Введение. Энергетические затраты при производстве концентрированных кормов в сельскохозяйственных предприятиях составляют значительную долю в себестоимости производимой сельскохозяйственной продукции, что, в свою очередь, определяет критерии конкурентоспособности сельскохозяйственного предприятия в своём сегменте рынка. Поисковые исследования и опытно-конструкторские работы по совершенствованию технологических процессов, снижению их энергоёмкости проводятся как отечественными, так и зарубежными учёными. Исследуются различные аспекты процесса разрушения зерновых материалов, такие, как повышение вероятности лобовых соударений зерновок за счёт оптимизации конструктивно технологическими методами плотности зернового слоя в зоне измельчения дробилки [1]; вибрационные эффекты, сопровождающие функционирование зерновых измельчителей и применение внешней побудительной силы (вибрации) для разрушения зерновых материалов [2, 3, 4, 5]; рациональная организация процесса эвакуации готового продукта через сепарирующие поверхности измельчителя [6]; выравнивание гранулометрического состава готового продукта за счёт совместного использования хорошо зарекомендовавших себя технических решений при рациональном сочетании их геометрических параметров [7, 8];

организация технологического процесса измельчения зерновых материалов в условиях искусственно создаваемых параметров рабочей среды в дробильной камере измельчителя [9, 10, 11].

Анализ исследовательских работ, патентных баз, литературных источников и интернет ресурсов позволяет определить перспективные направления исследований для совершенствования процесса измельчения зерновых материалов в молотковых дробилках. При этом следует учитывать, что:

1. Зерновые материалы, как объект измельчения в кормопроизводстве, имеют существенную вариацию физико-механических характеристик. Вследствие этого, такие характеристики процесса измельчения зерновых материалов, как энергоёмкость, гранулометрический состав получаемого продукта, его однородность будут зависеть не только от конструктивно-режимных характеристик измельчителей, но и от физико-механических характеристик зерновых материалов, подвергаемых переработке [1, 6, 7].

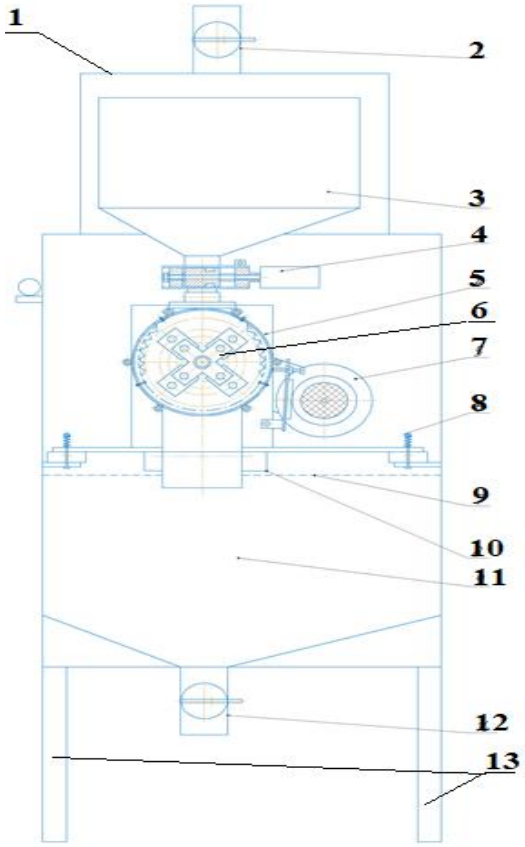
2. Все современные измельчители зерновых материалов (промышленные или экспериментальные прототипы) представляют из себя компромисс между желаниями потребителя и техническими возможностями, реализованными в металле. [10, 11]

3. Измельчение зерновых материалов как технологический процесс кормоприготовления – это технологически сложная и энергозатратная операция. Технологические сложности процесса измельчения заключаются в том, что в дробильной камере измельчителя одновременно происходят процессы инжекции зернового материала, подлежащего измельчению, его разрушение посредством ударов, сколов и истирания, сепарации и экстракции полученного продукта из измельчителя. Конструктивно-технологические характеристики каждого из элементов измельчителя в отдельности оказывают влияние на сопредельные параметры процесса измельчения зернового материала и приводят к синергетическому эффекту [10, 11].

4. Разработка комбинированных дробилок зерновых материалов, использующих трансграничные эффекты разрушения зерновок (удар с защемлением, косой срез и т.д.), характеристик рабочей среды для разрушения зернового материала или внешнюю побудительную силу (вибрацию), тем самым повышающих конструктивно-технологическими приёмами вероятности разрушения зерновок, имеют потенциал для повышения энергоэффективности процесса измельчения зерновых материалов.

Цель исследования – оценить удельную энергоэффективность (кВт· ч/т· λ) измельчения фуражного зерна при различных режимах работы молотковой дробилки с изменением давления в рабочей камере, а также внешней побудительной силы (вибрации).

Материалы и методы. Для проведения исследований разработана экспериментальная установка (рис. 1-6). Конструктивно-технологическая схема установки позволяет выполнять исследования технологических процессов дробилки молоткового типа в условиях регулируемых параметров воздушной среды и внешней побудительной силы (вибрации). Техническая новизна предложенных решений подтверждена патентом РФ [12].



Экспериментальная установка состоит из барокамеры 1, в которой установлена на демпферных элементах 8 двухстороннего действия и вибрационном устройстве 10, дробилка 5 с загрузочным 2 и выгрузным 12 шлюзами. Внутри дробильной камеры размещён ротор 6, приводимый в движение от электродвигателя 7, посредством ремённой передачи. В верхней части дробильной камеры находится дозатор 4 с загрузочным бункером 3. Вибрационное устройство10 жёстко закреплено на корпусе дробилки в проекции её центра тяжести. Функцию приёмного бункера 11, для измельчённого материала, выполняет нижняя часть барокамеры, отделённая от остальной части барокамеры воздухопроницаемой мембраной 9. Для удобства организации обслуживания и опорожнения приёмного бункера, барокамера установлена на опоры 13, а её корпус выполнен разъёмным.

Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки
Fig. 1. Structural and technological scheme of the experimental unit

При проведении опытов по исследованию энергетических характеристик дробилки в соответствии с разработанным планом экспериментов предусмотрены: возможность изменения линейной скорости по концам рабочих органов (вариация от 30 м/с до 70 м/с, с шагом в 10 м/с); использование различных способов подачи зерна в дробильную камеру дробилки (осевой или радиальный); установка решет с различными диаметрами отверстий для сепарации дерти (4,0 мм и 5,5 мм); применение рабочих органов роторов различной конструкции (молоткового, молотково-лопастного и лопастного типа); задание параметров давления/разряжения в дробильной камере при осуществлении процесса измельчения зернового материала (вариация от минус 88,25985 кПа до плюс 98,0665 кПа, относительно нормального атмосферного давления принятого за нулевую точку при проведении экспериментов и построении графиков); регулировка скорости вращения промышленного вибратора (вариация от 0 до 251,327 рад/с, с шагом 41,887 рад/с).

Исследования проведены на фуражном зерновом материале ячменя сорта «Зазерский» влажностью 9,6%. Влажность исходного зернового материала определена в соответствии с методикой ГОСТ 13496.3-80 «Комбикорма, сырье. Методы определения влажности».

Рис. 2. Общий вид молотково - лопастного ротора с 32мя прямоугольными молотками
Fig. 2. General view of a hammer-blade rotor with 32 rectangular hammers

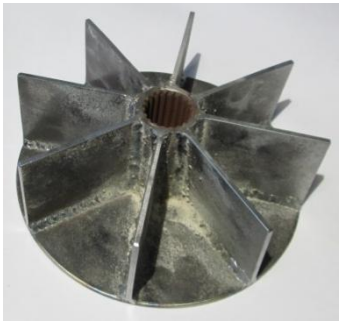


Рис. 3. Общий вид лопастного ротора
Fig. 3. General view of the blade rotor

Рис. 4. Общий вид молоткового ротора с 32-я прямоугольными молотками
Fig. 4. General view of a hammer rotor with 32 rectangular hammers

Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки
Fig. 5. General view of the experimental unit

Рис. 6. Общий вид дробилки с питателем и электромеханическим вибратором
Fig. 6. General view of the crusher with a feeder and an electromechanical vibrator

Отборы проб и определение гранулометрического состава полученной дерти выполнялась в соответствии с требованиями ГОСТ 13496.0-80 и ГОСТ 13496.8-72.

Результаты. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены графические зависимости, описывающие влияние варьируемых факторов на удельную энергоэффективность дробилки (кВт· ч/т· λ). На рисунках 7 и 8 приведены характеристики изменения удельных энергозатрат на измельчение зернового материала в

зависимости от способа его подачи в дробильную камеру (осевого или радиального), различной конструкции рабочих органов роторов (молоткового, молотково - лопастного и лопастного типа), их линейной скорости и диаметра отверстий в сепарирующих поверхностях (4,0 мм и 5,5 мм).

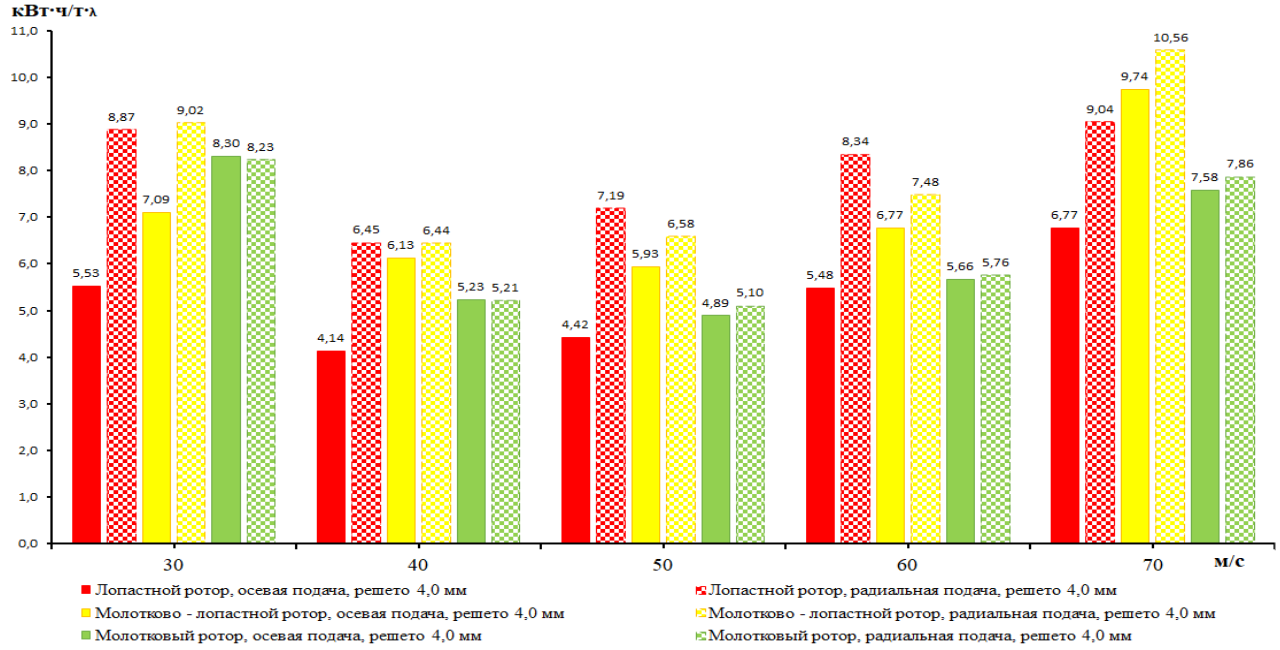


Рис. 7. Удельные энергозатраты на измельчение (кВт· ч/т· λ) при сепарации решетом с отверстиями 4,0 мм, в зависимости от линейной скорости по концам рабочих органов, их типа и способа подачи зернового материала в дробильную камеру.

Fig. 7. Specific energy consumption for grinding (kW· h/t· λ) during separation with the sieve holes of 4.0 mm, depending on the linear speed at the ends of the working elements, their type and method of grain feeding into the crushing chamber

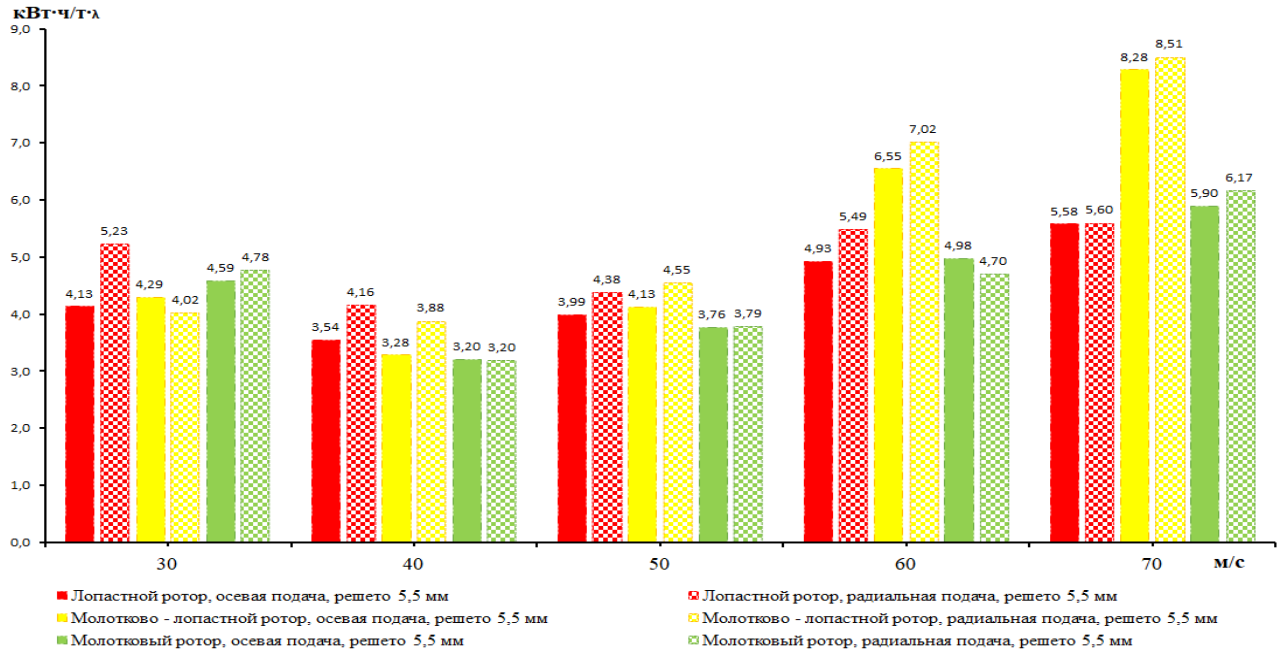


Рис. 8. Удельные энергозатраты на измельчение (кВт· ч/т· λ) при сепарации решетом с отверстиями 5,5 мм, в зависимости от линейной скорости по концам рабочих органов, их типа и способа подачи зернового материала в дробильную камеру.

Fig. 8. Specific energy consumption for grinding (kW· h/t· λ) during separation with the sieve holes of 5.5 mm, depending on the linear speed at the ends of the working elements, their type and method of grain feeding into the crushing chamber

На рисунке 9 приведены удельные энергозатраты на измельчение зернового материала для скорости рабочих органов в 45 м/с при сепарации решетом с отверстиями 4,0 мм в зависимости типа рабочих органов, способа подачи зернового материала и вариации параметров давления/разряжения в дробильной камере.

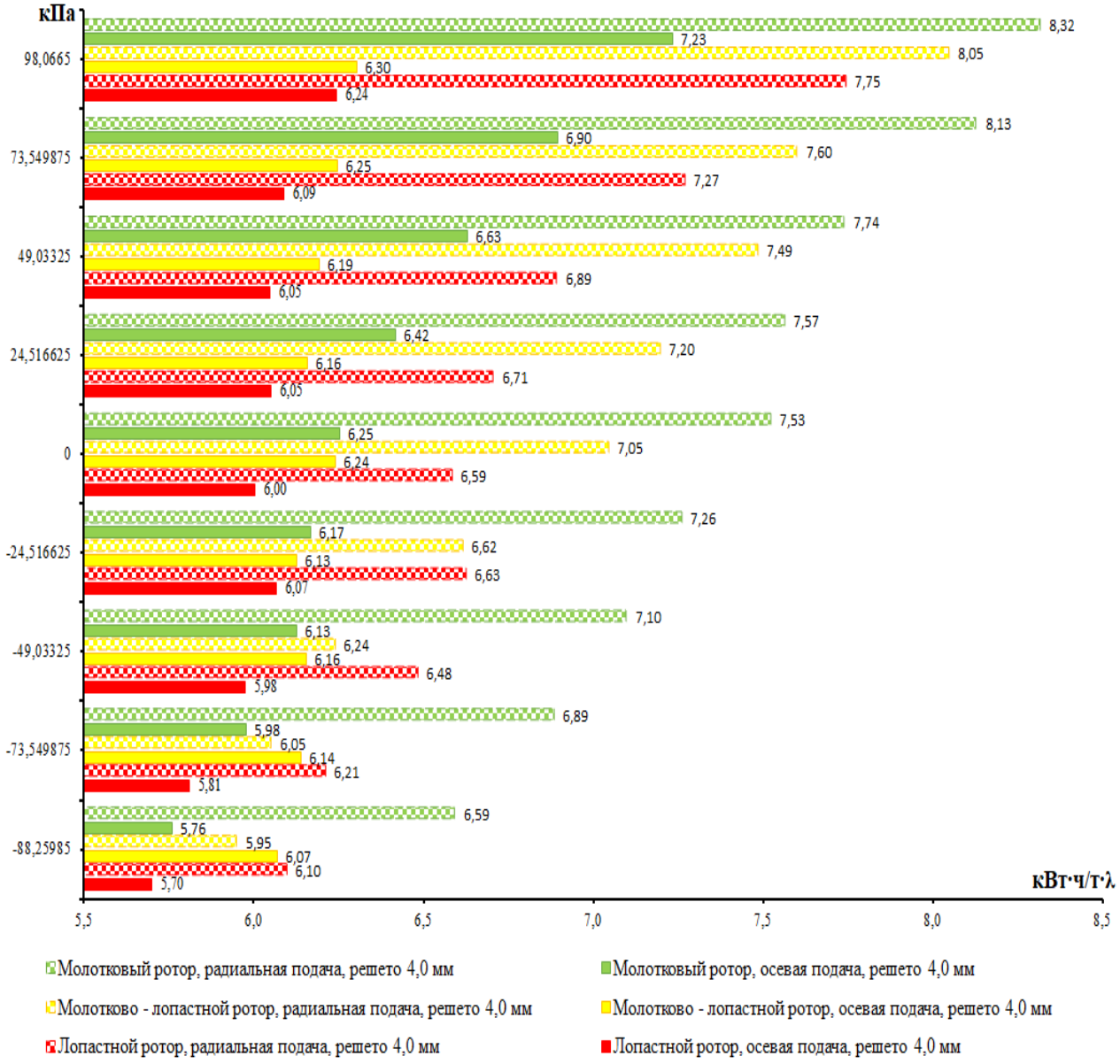


Рис. 9. Удельные энергозатраты на измельчение (кВт· ч/т· λ) при сепарации решетом с отверстиями 4,0 мм, в зависимости от типа рабочих органов, способа подачи зернового материала и вариации параметров давления / разряжения в дробильной камере

Fig. 9. Specific energy consumption for grinding (kW· h/t· λ) during separation with the sieve holes of 4.0 mm, depending on the type of working elements, method of grain feeding and variations in the pressure/vacuum parameters in the crushing chamber

На рисунке 10 приведены удельные энергозатраты на измельчение зернового материала для скорости рабочих органов в 45 м/с при сепарации решетом с отверстиями 4,0 мм в зависимости типа рабочих органов, способа подачи зернового материала и вариации частоты вращения электромеханического вибратора, создающего внешнюю побудительную силу.

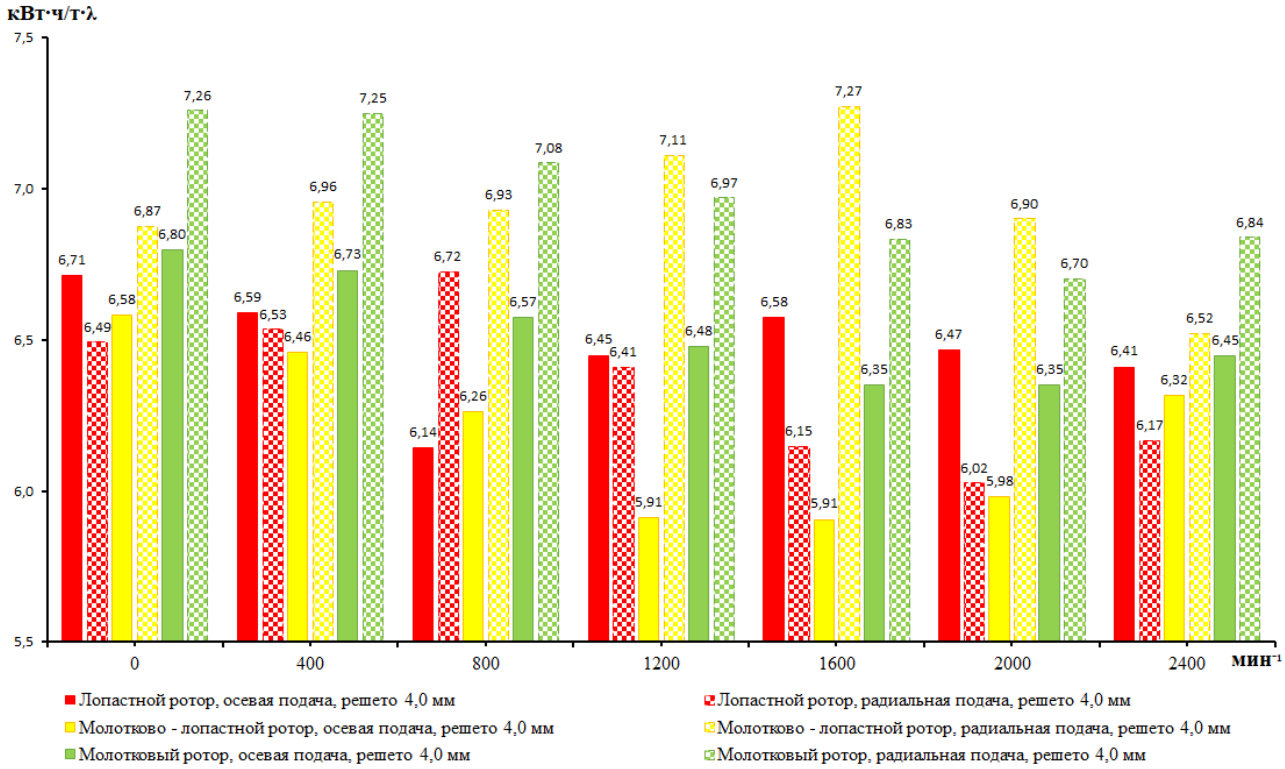


Рис. 10. Удельные энергозатраты на измельчение (кВт· ч/т· λ) при сепарации решетом с отверстиями 4,0 мм, в зависимости от частоты вращения вибратора, подачи зернового материала и конструкции ротора с линейной скоростью по концам рабочих органов 45 м/с.

Fig. 10. Specific energy consumption for grinding (kW· h/t· λ) during separation with the sieve holes of 4.0 mm, depending on the vibrator rotation frequency, grain feeding and the rotor design with 45 m/s linear speed at the ends of the working elements

Обсуждение. Анализ зависимостей (рис. 7 и 8) удельных энергозатрат с учётом степени измельчения показывает, что для решета с отверстиями 4 мм и решета с отверстиями 5,5 мм наименьшие удельные энергозатраты при измельчении зернового материала приходятся на диапазон скоростей рабочих органов от 40 до 50 ±Δ м/с. Как уменьшение, так и увеличение скорости рабочих органов относительно интервала от 40 до 50 ±Δ м/с, ведёт к росту удельных энергозатрат на процесс измельчения. Эксперименты проведены при свободной циркуляции воздуха через дробильную камеру измельчителя.

Сравнительный анализ экспериментального материала (рис. 7 и 8) позволяет сделать вывод о том, что при прочих равных условиях наименьшими удельными энергозатратами на измельчение обладает осевая подача зернового материала в дробильную камеру. Следует отметить, что чем выше сопротивление сепарирующей поверхности дробилки (меньше диаметры отверстий решета), тем большее влияние оказывает вентиляторный эффект ротора на снижение удельных энергозатрат процесса

измельчения при сравнении осевой и радиальной подачи зернового материала в дробильную камеру.

По результатам проведенных исследований наихудшие показатели по энергоэффективности процесса измельчения зернового материала и гранулометрическому составу готового продукта (степени измельчения – λ) показала экспериментальная дробилка для решета с отверстиями в 4 мм. Решето с отверстиями в 4 мм принято за базовое для проведения дальнейших исследований, как имеющее наибольший потенциал для повышения эксплуатационных характеристик. Дальнейшие исследования основных показателей процесса измельчения зерновых материалов в экспериментальной дробилке в условиях искусственно создаваемой рабочей атмосферы (давления / разряжения) в дробильной камере проведены при рациональной скорости рабочих органов в 45 ±Δ м/с.

Проведя сравнительный анализ удельных энергозатрат на измельчение зернового материала (рис. 9) для значения - 88,25985 кПа относительно нормального атмосферного давления, принятого за нулевую точку при проведении экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- для лопастного ротора при осевой подаче удельные энергозатраты снизились на 5,056%, а при радиальной – на 7,407%;
- для молотково-лопастного ротора при осевой подаче удельные энергозатраты снизились на 2,717%, а при радиальной – на 15,541%;
- для молоткового ротора при осевой подаче удельные энергозатраты снизились на 7,909%, а при радиальной – на 12,381%.

Проведя сравнительный анализ удельных энергозатрат на измельчение зернового материала (рис. 9) для значения 98,0665 кПа относительно нормального атмосферного давления, принятого за нулевую точку при проведении экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- для лопастного ротора при осевой подаче удельные энергозатраты возросли на 3,988%, а при радиальной – на 17,611%;
- для молотково-лопастного ротора при осевой подаче удельные энергозатраты возросли на 1,028%, а при радиальной – на 14,245%;
- для молоткового ротора при осевой подаче удельные энергозатраты возросли на 15,65%, а при радиальной – на 10,553%.

Для сравнения, в диссертационном исследовании Кобылкина Д.С. приведены следующие данные; «пониженное давление воздуха в рабочей камере дробилок ударно-истирающего действия повышает эффективность процесса измельчения зерновых культур на 25% при получении корма для КРС и птицы, причём, чем ниже твёрдость зерновой культуры, тем эффективнее она измельчается в условиях вакуума». А также: «избыточное давление воздуха в рабочей камере ухудшает характеристики процесса измельчения зерна (с повышением давления воздуха в рабочей камере дробилки от 101 кПа до 150 кПа увеличивается энергоемкость процесса на 15%, снижается производительность на 23 %»[15] Полученные разночтения по анализируемым характеристикам могут быть объяснены тем,

[15] Кобылкин Д. С. Исследование процесса измельчения зерна при изменении давления воздуха в рабочей камере дробилки ударно-истирающего действия: дисс ... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург. 2009. 215 с.

что в исследовании Кобылкина Д.С. не учитывался естественный процесс прохождения зернового материала и воздушного потока через дробильную камеру и их совокупное влияние на эксплуатационные характеристики дробилки, так как дробилка представляла из себя лабораторную установку периодического (циклического) действия и измельчение зернового материала осуществлялось в ней порционно.

С применением программы Mathcad и учетом конструктивно-технологических характеристик экспериментальной установки рассчитаны две собственные частоты колебаний системы (дробилки): $\omega_1 = 1289{,}15\ мин^{-1}$ и $\omega_2 = 1680{,}67 мин^{-1}$.

Результаты экспериментов (рис.10) показывают, что изменения параметров удельных энергозатрат на измельчение (кВт· ч/т· λ), происходят во всем интервале изменения вибрации от 0 до 2400 мин$^{-1}$. Но значимые изменения происходят в диапазонах частот 800-1600 мин$^{-1}$, которые определяют оптимальные режимы работы измельчителя.

Для выявления взаимосвязи между параметрами давления/разряжения в экспериментальной дробилке при создании внешней побудительной силы (вибрации), воздействующей на корпус дробилки, на энергетические и гранулометрические характеристики процесса измельчения зернового материала проведены поисковые исследования (таблица), в которых использован молотковый тип ротора со скоростью рабочих органов в 45 ±Δ м/с. Зерновой материал на измельчение в дробильную камеру подавался радиально. Сепарация дерти осуществлялась через решето с отверстиями в 4 мм. Данные параметры (ротор, тип подачи материала и тип решета) выбраны для эксперимента как показавшие наихудшие удельные энергозатраты на процесс измельчения зернового материала (рис. 9). Задавались следующие параметры среды: P_1 = 0 кПа (нормальное атмосферное давление), P_2 = + 49,03325 кПа (избыточное атмосферное давление), P_3 = - 49,03325 кПа (разряжение). В качестве источника внешней побудительной силы (вибрации) применён промышленный вибратор, работающий от стандартной сети переменного тока 50 Гц. Частота вращения ротора в эксперименте составляла 2900 мин$^{-1}$.

Таблица. Экспериментальные данные воздействия внешней побудительной силы (вибрации) на энергетические и гранулометрические характеристики процесса измельчения зернового материала

Table. Experimental data on the impact of external driving force (vibration) on the energy and granulometric characteristics of the grain grinding process

Номер опыта	Удельные энергозатраты, кВт· ч/т· λ	Остаток на сите 3мм, %	Остаток на сите 0 мм, %	Параметры атмосферы, кПа	Вибратор включен (+), выключен (-)	λ
1	7,525	3,19	14,2	$P_1 = 0$	-	2,43
2	8,446	3,97	11,59	$P_1 = 0$	+	2,29
3	7,741	3,13	14,0	P_2 = + 49,03325	-	2,44
4	7,923	2,91	14,86	P_2 = + 49,03325	+	2,52
5	7,1	3,43	14,35	P_3 = - 49,03325	-	2,41
6	6,843	3,81	14,34	P_3 = - 49,03325	+	2,38

Сравнительный анализ энергетических и гранулометрических характеристик процесса измельчения зернового материала, приведённый в таблице, при нормальном атмосферном давлении позволяет сделать вывод, что применение промышленного вибратора приводит к увеличению удельных энергозатрат на процесс измельчения на 12,25%, при этом содержание остатка на сите 3 мм возрастает на 24,58%, а остаток на сите 0 мм снижается на 18,36%. Степень измельчения (λ) понижается на 5,71%.

Анализ характеристик процесса измельчения при избыточном давлении с включённым вибратором относительно выключенного вибратора позволяет сделать вывод, что энергозатраты на процесс измельчения возрастают на 2,35%, содержание остатка на сите 3 мм снижается на 7,18%, а остаток на сите 0 мм возрастает на 6,15%. Степень измельчения (λ) повышается на 3,42%.

Анализ характеристик процесса измельчения при пониженном давлении (разряжении) с включённым вибратором относительно выключенного вибратора позволяет сделать вывод, что энергозатраты на процесс измельчения снижаются на 3,61%, содержание остатка на сите 3 мм возрастает на 10,97%, а остаток на сите 0 мм снижается на 0,09%. Степень измельчения (λ) понижается на 0,86%.

Выводы. Наименьшие удельные энергозатраты приходятся на диапазон скоростей рабочих органов от 40 до 50 ±Δ м/с. При прочих равных условиях, наименьшими удельными энергозатратами на измельчение обладает осевая подача зернового материала в дробильную камеру. Следует отметить, что чем выше сопротивление сепарирующей поверхности дробилки (меньше диаметры отверстий решета), тем большее влияние оказывает вентиляторный эффект ротора на снижение удельных энергозатрат процесса измельчения при сравнении осевой и радиальной подачи зернового материала в дробильную камеру.

Увеличение плотности искусственно создаваемой рабочей атмосферы в дробильной камере приводит к увеличению удельных энергозатрат. Снижение плотности воздушной среды в камере измельчения дробилки приводит к снижению удельных энергозатрат на процесс измельчения зерновых материалов, но при этом возрастает переизмельчение готового продукта за счет снижения интенсивности процесса эвакуации зерновой дерти.

Изменение параметров удельных энергозатрат на измельчение (кВт· ч/т· λ), происходит во всем интервале изменения вибрации от 0 до 2400 мин$^{-1}$. Но значимые изменения происходят в диапазонах частот 800-1600 мин$^{-1}$, которые определяют оптимальные режимы работы измельчителя. Использование внешней побудительной силы (вибрации) для интенсификации сепарации готового продукта из дробильной камеры измельчителя возможно реализовать практически. С этой целью необходимо проведение дальнейших экспериментальных исследований.

Совместное использование в процессе измельчения зернового материала внешней побудительной силы (вибрации) и понижения плотности рабочей среды внутри измельчителя приводит к снижению удельных энергозатрат на измельчение (кВт· ч/т· λ) и понижению степени измельчения (λ).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Садов В. В., Сорокин С. А. Влияние плотности потока зернового материала на эффективность измельчения в молотковой дробилке // Вестник Алтайского

государственного аграрного университета. 2022. № 3 (209). С. 81-86. https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-81-86
2. Федоренко И. Я., Левин А. М., Табаев А. В. Динамические эффекты, проявляющиеся в механической системе вибрационного измельчителя кормового зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 11 (205). С. 86-93. https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-205-11-86-93
3. Кардашевский, Е. Е., Левин А. М., Федоренко И. Я. Проблемы модернизации конструкций вибрационных измельчителей кормового зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 6 (236). С. 114-121. https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-236-6-114-121
4. Федоренко, И. Я., Левин А. М., Табаев А. В. Морфологический анализ вибрационных измельчителей кормового зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 1(183). С. 156-163. EDN: NAEPUL
5. Федоренко, И. Я., Бесполденов Р. В Причины виброактивности молотковых зернодробилок с горизонтальным расположением барабана // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 2(196). С. 96-104. EDN: OWVLKB
6. Булатов С. Ю., Миронов К. Е., Рукавишникова В. Н., Смирнов Р. А., Шкилев Н. П. Структурно-логическая схема функционирования дробилки зерна с увеличенной сепарирующей поверхностью // Вестник НГИЭИ. 2019. № 11 (102). С. 47–56. EDN: WIGNDU
7. Волхонов М.С., Абалихин А.М, Крупин, А.В. Анализ эффективности работы нового измельчителя фуражного зерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 60. С. 124-131. https://doi.org/10.24411/2078-1318-2020-13124
8. Гуриненко Л.А., Семенихин А.М., Шкондин В.Н., Баимов А.П. Энергоресурсосбережение при измельчении компонентов комбикормов // Сельский механизатор. 2017. №9. С. 22-23. EDN: ZJAKWX
9. Коротков В.Г., Антимонов С.В., Кобылкин Д.С. Измельчение зерна при изменении давления воздуха в рабочей камере дробилки // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 3. С. 43-44. URL: https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33215727&selid=10342113
10. Киприянов Ф.А., Палицын А.В., Сухляев В.А., Белозеров С.А. Обоснование конструкции молотковой дробилки с возможностью регулирования параметров искусственно создаваемой рабочей атмосферы // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 4 (56). С. 76-82. https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.56.4.013
11. Sukhlyaev, V., Kipriyanov, F., Palitsyn, A., Savinykh, P. Structural and technological prerequisites for reducing the energy intensity of grain processing in hammer crushers // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems / Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. (eds). Springer, Cham. 2023. Vol. 575. P. 2622-2631. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_294
12. Савиных П. А., Киприянов Ф. А., Палицын А. В., Сухляев В. А., Иванов И. И., Исупов А. Ю., Копейкин А. Д., Белозеров С. А., Плотникова Ю. А. Измельчитель. Патент на изобретение РФ № 2771863; опубл. 13.05.2022. Бюл. № 14. Заявка № 2021132352 от 08.11.2021.

REFERENCES

1. Sadov V.V., Sorokin S.A. Influence of grain material flow density on grinding efficiency in a hammer crusher. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2022;3 (209): 81-86. (In Russ.) https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-81-86

2. Fedorenko, I. Ya., Levin A. M., Tabaev A. V. Dynamic effects occurring in the mechanical system of vibratory fodder grain crusher. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021; 11 (205): 86-93. (In Russ.) https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-205-11-86-93

3. Kardashevskiy E. E., Levin A. M., Fedorenko I. Ya. Issues of design modernization of vibrating feed grain grinders. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2024;6 (236): 114-121. (In Russ.) https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-236-6-114-121

4. Fedorenko I. Ya., Levin A. M., Tabayev A. V. Morphological analysis of vibrational crushers of fodder grain. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020, №1 (183): 156-163. (In Russ.) EDN: NAEPUL

5. Fedorenko I. Ya., Bespoldenov R.V. Causes of vibrating hammer grinders with horizontal drum arrangement. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021; 2 (196): 96-104. (In Russ.) EDN: OWVLKB

6. Bulatov S.Yu., Mironov K.E., Rukavishnikova V.N., Smirnov R.A., Shkilev N.P. Structural and logic circuit of functioning of a grain crusher with an increased separating surface. Vestnik NGIEI = Bulletin of Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University. 2019; 11 (102): 47-56. (In Russ.) EDN: WIGNDU

7. Volkhonov M.S., Abalikhin A.M., Krupin A.V. New forage grain grinder efficiency analysis. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2020;60: 124-131. (In Russ.) https://doi.org/10.24411/2078-1318-2020-13124.

8. Gurinenko L.A., Semenikhin A.M., Shkondin V.N., Baimov A.P. Energy saving in grinding of components of mixed fodders. Sel'skii mekhanizator = Rural Specialist on Mechanization. 2017;9: 22-23. (In Russ.) EDN: ZJAKWX

9. Korotkov V.G., Antimonov S.V., Kobylkin D.S. Grain grinding with changing air pressure in the working chamber of the crusher. Traktory i sel'skokhozyaistvennye mashiny = Tractors and Agricultural Machinery. 2008;3: 43-44. (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33215727&selid=10342113

10. Kipriyanov F.A., Palitsyn A.V., Sukhlyaev V.A., Belozerov S.A. Substantiation of hammer crusher design with possibility of adjusting parameters of artificially created working atmosphere. Vestnik APK Verkhnevolzh'ya = Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region. 2021;4 (56): 76-82. (In Russ.) https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.56.4.013

11. Sukhlyaev, V., Kipriyanov, F., Palitsyn, A., Savinykh, P. Structural and technological prerequisites for reducing the energy intensity of grain processing in hammer crushers. In: Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. (eds). XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham. 2023; 575: 2622-2631. (In Eng.) https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_294

12. Savinykh P. A., Kipriyanov F. A., Palitsyn A. V., Sukhlyaev V. A., Ivanov I. I., Isupov A. Yu., Kopeykin A. D., Belozerov S.A., Plotnikova Yu.A. Chopper. Patent on invention No.

2771863 Russian Federation. publ. 13.05.2022. Bulletin 14. Appl. No. 2021132352 of 08.11.2021. (In Russ.)

Об авторах	**About the authors**
Сухляев Владимир Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», 160555, Вологодская область, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2. E-mail: 227804@mail.ru ORCID: https://orsid.org/0000-0001-6976-4007	**Vladimir A. Sukhlyaev** post-graduate student, Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Shmidta Str., 2, Vologda, Molochnoe, Russia, 160555 E-mail: 227804@mail.ru ORCID: https://orsid.org/0000-0001-6976-4007
Палицын Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», 160555, Вологодская область, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2. E-mail: mechfac@yandex.ru ORCID: https://orsid.org/0000-0001-5901-5678	**Andrey V. Palitsyn** Cand. Sc. (Engineering), Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Shmidta Str., 2, Vologda, Molochnoe, Russia, 160555. E-mail: mechfac@yandex.ru ORCID: https://orsid.org/0000-0001-5901-5678
Иванов Илья Игоревич, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», 160555, Вологодская область, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2. E-mail: kadyichina@mail.ru ORCID: https://orsid.org/0000-0003-3388-9865	**Il'ya I. Ivanov,** Cand. Sc. (Engineering), Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Shmidta Str., 2, Vologda, Molochnoe, Russia, 160555. E-mail: kadyichina@mail.ru ORCID: https://orsid.org/0000-0003-3388-9865
Заявленный вклад авторов Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.	**Authors' contribution** All authors of this study were directly involved in its design, execution, and analytical work.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interest
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 21.01.2025	**Received:** 21.01.2025
Одобрена после рецензирования: 18.04.2025	**Approved after reviewing:** 18.04.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 656.136+631.37 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-53-66

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Геннадий Михайлович Виздрик[1], Татьяна Вениаминовна Вихрова[2], Василий Александрович Долгушин[3], Олег Геннадьевич Огнев[4]✉, Юрий Николаевич Строганов[5]

[1,2,3,4] Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия
[5] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

[1] gennadiy.w@googlemail.com
[2] tv1948v@yandex.ru
[3] dolgushin.va@yandex.ru
[4]✉ ognew.og@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-0843-7597
[5] yurij.stroganov@mail.ru

Аннотация. Автотранспортные поезда продолжают оставаться одними из основных способов перемещения грузов. Однако они отличаются повышенной аварийностью из-за нарушения их устойчивости на трассе. Вопросы технического обеспечения процесса устойчивости движения автопоездов на трассах исследованы достаточно слабо. Целью исследования являлось выявление и оценка факторов, имеющих возможность оказывать значительное воздействие на процесс устойчивости движения автопоезда на трассе, для обоснования направлений исследований и технических устройств для дальнейшего совершенствования данного процесса. Методика исследования заключалась в представлении «виляния» автопоезда как колебательного процесса, параметры которого зависят от начальных условий движения и степени внешнего воздействия. Было установлено, что параметры «виляния» автопоезда на трассе определяются, в основном, положением дышла, действующими на него силами и их проекциями на линии первоначального движения и дышла прицепа. Сдвигающая сила, как результат соотношения проекций данных импульсов автомобиля и прицепа на линию дышла, может как гасить, так и усиливать колебания. Выдвинута также гипотеза, что наиболее эффективным способом обеспечения стабилизации колебательного процесса движения автопоезда будет управляемое изменение геометрических характеристик и пространственного положения его дышла как за счет изменения длины дышла, так и за счет изменения точки приложения вектора импульса прицепа на прицепное устройство, а также использованием сил трения системы автопоезда. Так, устранение рассогласования векторов импульсов тягача и прицепа изменением угла наклона шкворня опорно-поворотного устройства прицепа позволило снизить среднюю амплитуду колебаний прицепа на 26,5-28 %, повысив период колебаний прицепа на 33,3 %. Принципиальная возможность подобных решений была обоснована и подтверждена патентами, в которых предлагаются технические решения, позволяющие перемещать точки опоры рамы прицепа на опорно-поворотной платформе в продольном и поперечном направлении относительно первоначального направления движения автопоезда.

Ключевые слова: автотранспортный поезд, устойчивость движения, колебательный процесс, прицепное устройство.

Для цитирования: Виздрик Г.М., Вихрова Т.В., Долгушин В.А., Огнев О.Г., Строганов Ю.Н. Совершенствование конструкций прицепных устройств для обеспечения

устойчивости движения транспортных средств // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 53-66 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-53-66

Research article
Universal Decimal Code 656.136+631.37

IMPROVING THE DESIGN OF TOWING DEVICES TO ENSURE THE STABILITY OF VEHICLE TRAVEL

Gennady M. Vizdrik[1], Tatiana V. Vikhrova [2], Vasily A. Dolgushin [3], Oleg G. Ognev[4✉], Yuri N. Stroganov[5]

[1,2,3,4] Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

[5] Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

[1] gennadiy.w@googlemail.com

[2] tv1948v@yandex.ru

[3] dolgushin.va@yandex.ru

[4✉] ognew.og@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-0843-7597

[5] yurij.stroganov@mail.ru

Abstract. Road transport trains continue to be one of the main ways of moving freight. Yet, they have an increased accident rate due to violations of their stability on the route. The issues of providing technical support to ensure the stability of road trains on highways are understudied. The purpose of the study was to identify and estimate the factors that could effect the stability of road train traffic on a highway much and to substantiate research areas and technical devices for improving this process further. The research methods presented the swaying of a road train as an oscillatory process. Its parameters depended on the initial driving conditions and the degree of external influence. The study found that the swaying parameters of the road train on a highway were determined mainly by the drawbar position, the forces acting on it, and their projections on the lines of initial movement and the trailer drawbar. The shear force, as a result of the ratio of the projections of these impulses of the vehicle and trailer on the drawbar line, can both dampen and amplify vibrations. It was also hypothesized that the most effective way to stabilize the oscillatory motion of a road train would be to make a controlled change in the geometric characteristics and spatial position of its drawbar. This could be achieved by adjusting the drawbar length and the point at which the trailer's momentum vector is applied to the trailer hitch. The use of friction forces of the train's system could help. Thus, changing the angle of inclination of the trailer pivot pin eliminated the mismatch between the tractor and trailer pulse vectors, reducing the average oscillation amplitude of the trailer by 26.5-28% and increasing its oscillation period by 33.3%. The study substantiated the principal possibility of such solutions. This was also confirmed by patents for technical solutions that allow the trailer frame support points to be shifted on the pivoting platform in the longitudinal and transverse directions, relative to the initial direction of the road train travel.

Keywords: road transport train, travelling stability, oscillatory process, towing device.

For citation: Vizdrick G.M., Vikhrova T.V., Dolgushin V.A., Ognev O.G., Stroganov Yu. N. Improving the design of towing devices to ensure the stability of vehicle travel. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 53-66 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-53-66

Введение. Автотранспортные средства (АТС), особенно автотракторные поезда (АТП), являются одним из распространенных методов перемещения грузов, особенно

крупногабаритных, между предприятиями и организациями страны. По данным[16] за последнее десятилетие доля грузов, перевезенных автомобильным транспортом, в РФ составляет более ¾ от общего объема. В то же время аварийность при использовании подобного транспорта остается весьма значительной[17,18]. Так, по данным[19], частота ДТП с участием грузовиков в 1,7 раза чаще, чем, к примеру, с участием легковых автомобилей.

Одним из основных факторов высокой аварийности, как правило, называют: «…совершение ошибок на дороге. … Нарушения правил дорожного движения: Превышение скорости, нарушение правил обгона или движения в условиях недостаточной видимости… Погодные условия и состояние дорог: Скользкие дороги, недостаточная видимость и прочие погодные факторы…»[20], что, в результате, приводит к аварии автомобильного транспорта вследствие потери его управляемости.

Исследования российских и зарубежных ученых, рассматривающих поведение АТС на трассах, в основном, затрагивают проблемы совершенствования конструктивных параметров механизмов подвески, управления, торможения и пр. Например, авторы работы [2] анализировали динамику движения грузового автомобиля в зависимости от характеристик колеи и степени износа колес. В исследовании [3] устойчивость транспортного средства оценивалась в связи с дорожными условиями движения и динамическими характеристиками автомобиля, такими как вес, маневренность и пр. Авторы работы [4] оценивали параметры управляемости (и устойчивости) автомобиля с прицепом по величинам вертикальной нагрузки на сцепное устройство прицепа, бокового ускорения, углов поворота рулевого колеса и дрейфа автомобиля, а также угловой скорости «виляния» прицепа. В работе [5] исследовалась боковая устойчивость транспортного средства в зависимости от параметров его движения на трассе (радиуса изгиба дорожной трассы, крена и заноса автомобиля и т.п.). Авторы[21], в частности, рассматривают только продольную и поперечную устойчивости на опрокидывание автомобиля (без прицепа). В работе[22] устойчивость автопоезда оценивается через его нагрузку (максимальную массу прицепа). Авторы [8] повышение устойчивости седельного автопоезда при неисправной тормозной системе полуприцепа предлагается обеспечить при помощи системы автоматизированного подруливания. В исследовании [9] устойчивость движения автопоезда обеспечивается совершенствованием трансмиссии автопоезда с ведущими колесами прицепа. В работе [10] предлагается рекуперативное

---

[16] Состояние безопасности дорожного движения с участием грузовых транспортных средств. [Электронный ресурс] URL: https://rosacademtrans.ru/bdd-mitroshin/ (дата обращения 15.03.2025)

[17] За первые полгода 2024 года на дорогах Госкомпании «Автодор» каждое второе ДТП было с участием грузовиков. [Электронный ресурс] URL: https://www.ruhw.ru/press/news/108973/ (дата обращения 18.03.2025)

[18] Полная статистика ДТП по России по месяцам в 2024 году. [Электронный ресурс]. URL: https://rusdtp.ru/stat-dtp/?ysclid=m879qa4ipz474472212 (дата обращения 18.03.2025)

[19] Водители грузовиков чаще чем легковых авто становились виновниками ДТП в 2022 году. [Электронный ресурс]. URL: https://news.ati.su/news/2023/03/29/voditeli-gruzovikov-chasche-chem-legkovyh-avto-stanovilis-vinovnikami-dtp-v-2022-godu-319901/ (дата обращения 15.03.2025)

[20] Статистика ДТП с большегрузами за 2024 год и причины ДТП. [Электронный ресурс]. URL: https://dzen.ru/a/Z4JWgc3ia31G9OYv?ysclid=m879hco3td223042692 (дата обращения 18.03.2025)

[21] Кравченко В.А., Оберемок В.А. Конструкция и эксплуатационные свойства автотранспортных средств (основы теории и расчета): учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. 235 с. URL: http://achgaa.ru/files/umk/190600_62_AAX/b3_b_14/3.pdf

[22] Кисуленко, Б.В. Повышение устойчивости движения автопоездов выбором масс их звеньев. Дисс … канд. техн. наук. М. 1983. 167 с. URL: https://www.dissercat.com/content/povyshenie-ustoichivosti-dvizheniya-avtopoezdov-vyborom-mass-ikh-zvenev

пружинно-гидравлическое седельно-сцепное устройство, размещенного в передней части рамы полуприцепа лесовозного тягача для повышения эффективности работы всего АТП. В работе [11] устойчивость и управляемость автопоезда рассматривается в зависимости от его нагрузки, геометрии кузова и параметров подвески и пр.

В то же время вопросы технического обеспечения именно процесса устойчивости движения АТП на трассах исследованы достаточно слабо.

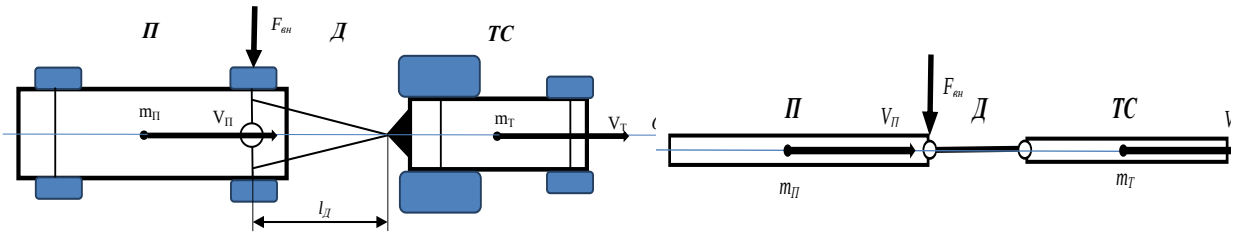
Основным способом обеспечения устойчивости движения АТС (и АТП), до сих пор, является ограничение допустимой скорости его перемещения, которая уменьшается практически пропорционально сложности ситуации [6]. Подобный подход снижает эксплуатационные и экономические характеристики работы технических средств, однако полной гарантии сохранения устойчивости движения АТС не дает.

Под устойчивостью движения АТП авторы понимают поддержание заданной (оптимальной) траектории движения АТП (его элементов) в пределах дорожного коридора, а также вероятность возвращения АТП на заданную траекторию движения при проявлении внешних возмущающих воздействий (наезд на препятствие, резкий поворот и пр.) [12].

Целью настоящей работы будет выявление и оценка факторов, имеющих возможность оказывать значительное воздействие на процесс устойчивости движения АТП на трассе, с целью обоснования направлений исследований и технических устройств для дальнейшего совершенствования данного процесса.

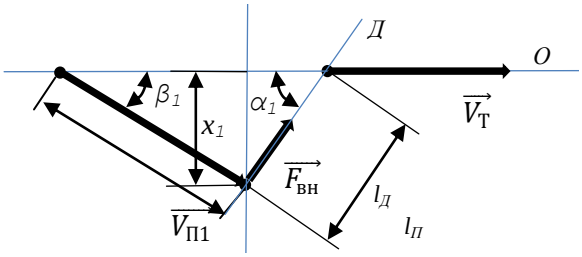
Материалы и методы. Ранее, в работах [12, 13] авторы предлагали способ повышения устойчивости движения АТП в составе с двухосным прицепом посредством изменения конструкции прицепных устройств и методику оптимизации их конструктивно-технологических параметров. Там же было выдвинуто и экспериментально подтверждено предположение о возможности воздействия на устойчивость движения АТП внесением изменений в конструкцию его прицепного устройства.

Методика заключалась в разделении процесса колебаний АТП (его элементов) на трассе на несколько характерных этапов (рис. 1), основные параметры которых (амплитуда и угол смещения элементов АТП относительно исходного направления) определялись из первоначальных условий его движения (масса, скорость, габаритные размеры и пр.) и характеристик внешнего воздействия (его силы и продолжительности).



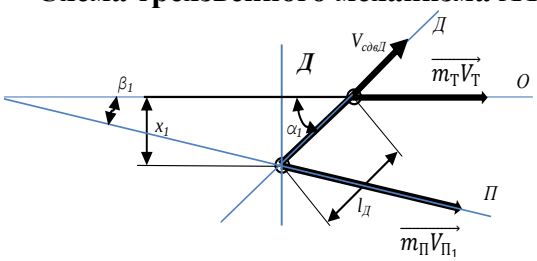
ТС – транспортирующее средство, *П* – прицеп с опорно-поворотной платформой (ОПП), *Д* – дышло, $F_{вн}$ – внешнее воздействие, $l_{ТС}$ – расстояние от передней оси ТС до точки сцепки с дышлом прицепа, $l_Д$ – длина дышла (принята равной продольной базе поворотной тележки прицепа), $l_П$ – колесная база прицепа, *О* – направление движения АТП, *m* – масса, *V* – скорость соответствующих элементов АТП

Состав АТП

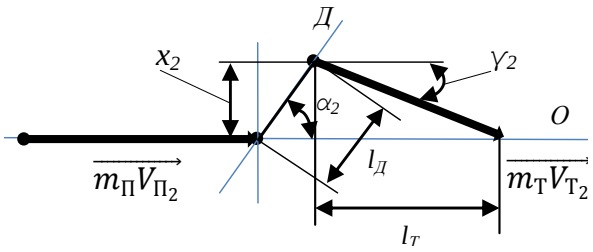


Положение элементов АТП в конце 1-го этапа

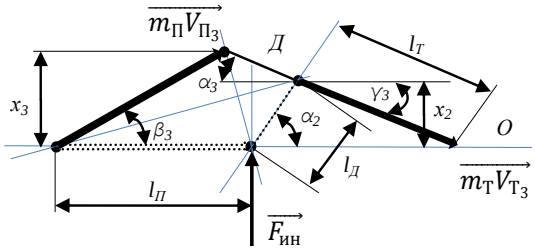
Схема трехзвенного механизма АТП



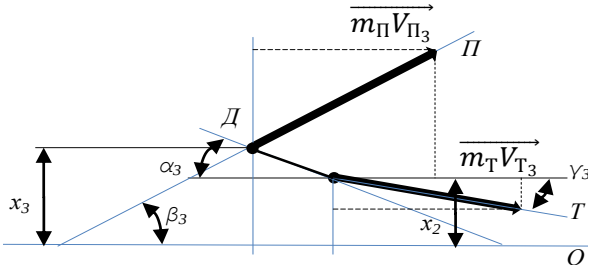
Силы, действующие на элемент *Д* в начале 2-го этапа



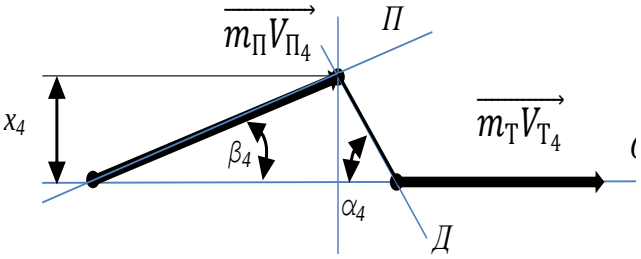
Положение элементов АТП в начале 3-го этапа



Положение элементов АТП в конце 3-го этапа



Силы, действующие на элемент *Д* в начале 4-го этапа



Положение механизма АТП в конце 4-го этапа

Рис. 1. Колебания АТП (его элементов), при внешнем возмущающем воздействии [12]

Fig. 1. The sway of road tractor trains (its elements) under external disturbing influence [12]

Соответствующие математические зависимости приведены там же [12], например:

$$x_1 = V_{Пбок}t = \frac{F_{вн}t^2}{m_П} = l_Д sin\alpha_1 = l_П sin\beta_1 ,$$

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{x_1}{l_Д}\right) = \frac{l_П}{l_Д} sin\beta_1 ,$$

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{x_1}{l_П}\right) = \frac{l_Д}{l_П} sin\alpha_1 , \qquad (1)$$

$$\vec{V}_{П1} = \frac{m_П\vec{V}_П + \vec{F}_{вн}t}{m_П} = \frac{F_{вн}t}{m_П sin\beta_1},$$

где: x_1 – величина бокового смещения прицепа, α_1, β_1 – углы отклонения соответственно осей дышла и прицепа от направления движения *O*, $\overrightarrow{m_T V_T}$ – импульс элемента *ТС*, $\overrightarrow{m_П V_П}$ – импульс элемента *П*, *t* – время воздействия внешней нагрузки.

Применение данной методики, а также анализ результатов натурных испытаний движения АТП как колебательного процесса [12, 13], позволили как установить критические параметры АТП, которые могут оказывать существенное воздействие на устойчивость его движения (например, длина дышла, радиус поворота и пр.), так и выявить наиболее перспективные направления совершенствования самого процесса обеспечения устойчивости.

В частности, было установлено, что поведение АТП (параметры его «виляния» на трассе) определяются, в основном, пространственным положением дышла, действующими на него силами (импульсами транспортирующего и транспортируемого устройств – автомобиля и прицепа), а также их проекциями, как на линию первоначального движения АТП, так и (при колебательных движениях) на линию движения дышла прицепа (рис. 2).

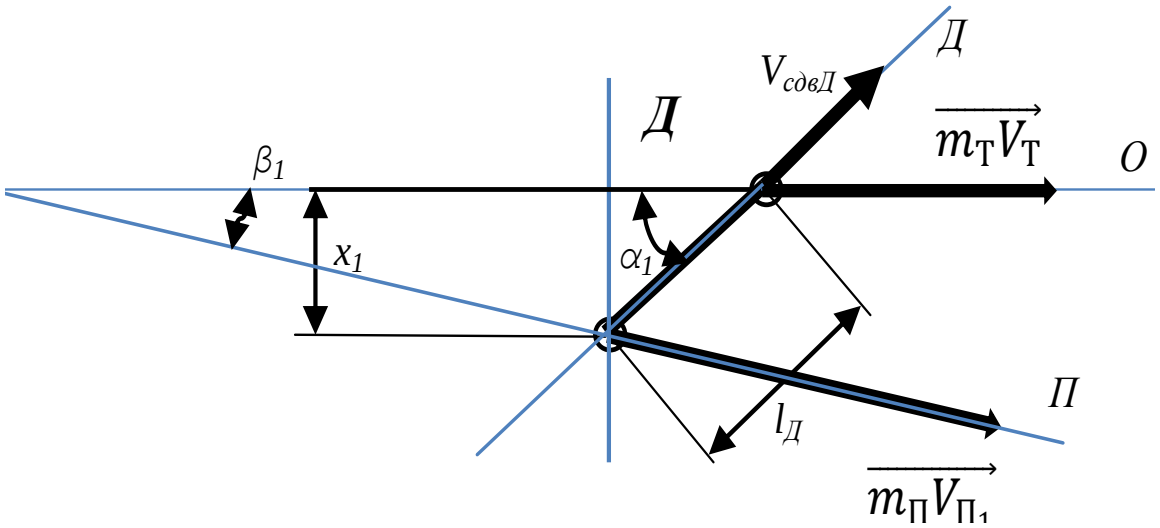


Рис. 2. Силы, действующие на дышло при колебании АТП на трассе

Fig. 2. Forces acting on the drawbar when the road tractor train sways on the route

Причем именно соотношение проекций импульсов транспортирующего и транспортируемого устройств (автомобиля и прицепа) на линию дышла (линия *Д* на рис. 1, 2) отвечает за «складывание» АТП на трассе при чрезмерном внешнем воздействии: подобное явление происходит, когда проекция импульса транспортируемого устройства (прицепа) на линию дышла *Д* превышает проекцию на эту же линию импульса транспортирующего устройства (автомобиля) (рис. 3):

$$\left(\overrightarrow{m_T V_T}\right)_Д > \left(\overrightarrow{m_П V_{П_1}}\right)_Д. \quad (2)$$

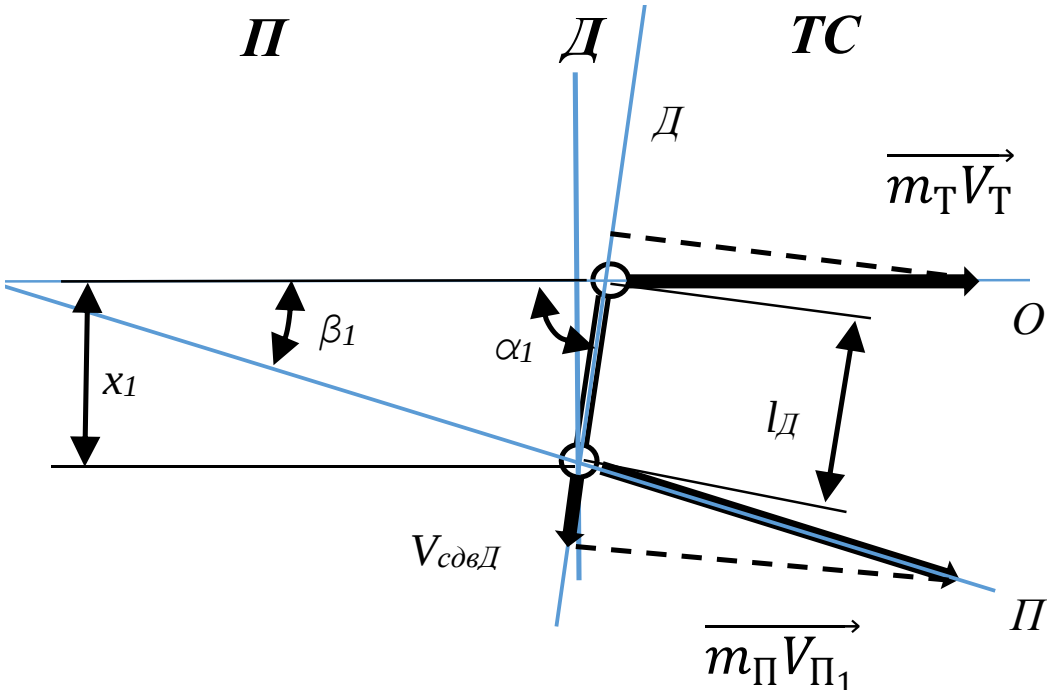


Рис. 3. Проекция сил, действующих на дышло при «складывании» АТП на трассе

Fig. 3. Projection of forces acting on the drawbar when the road tractor train is “folded” on the route

При сопоставлении данных проекций импульсов появляется так называемая «сдвигающая» сила, которая и приводит либо к возврату линии *Д* дышла в исходное положение (стабилизации движения АТП), либо к увеличению углов отклонения прицепа β и дышла α выше «критических» значений, что и вызывает «складывание» АТП.

Соответственно, для обеспечения устойчивости движения АТП на трассе при наличии внешних воздействий наиболее эффективным будет создание таких условий

протекания процесса колебаний элементов АТП, чтобы:

1) снизить, насколько возможно, вероятность «складывания» АТП при сильном внешнем воздействии;

2) обеспечить максимально быстрый возврат положения оси прицепа в первоначальное положение – на первом этапе колебательного процесса;

3) максимально снизить влияние инерционных сил, разворачивающих ось прицепа в противоположную (от первоначального сдвига) положение (3-й этап, рис. 1) – на втором этапе колебательного процесса.

Результаты. Исходя из анализа результатов предыдущих работ [12, 13] авторов, было выдвинуто предположение, что наиболее эффективным способом обеспечения вышеперечисленных условий для стабилизации колебательного процесса движения АТП будет управляемое изменение геометрических характеристик и пространственного положения такого элемента АТП, как его дышло.

При этом желательно иметь возможность изменять, в частности, такой параметр дышла, как его длина. В начале колебательного процесса длина дышла $l_Д$ должна принимать максимально возможное значение – это позволит уменьшить углы отклонения прицепа β и дышла α, не доводя их до критических значений, что и повысит вероятность «самостабилизации» движения АТП (рис. 4).

По мере приближения вектора импульса прицепа $m_П V_П$ к исходному направлению (линия $П$ оси прицепа приближается к направлению (линия $О$) движения всего АТП), длину дышла целесообразно уменьшать – достигая минимально возможного ее значения в момент совпадения векторов импульсов прицепа и автомобиля (линии $П$ и $О$). В таком случае инерционные силы, разворачивающие прицеп в противоположном от первоначального сдвига направлении, будут минимальными, что станет еще одним фактором стабилизации движения АТП (затухания его колебаний).

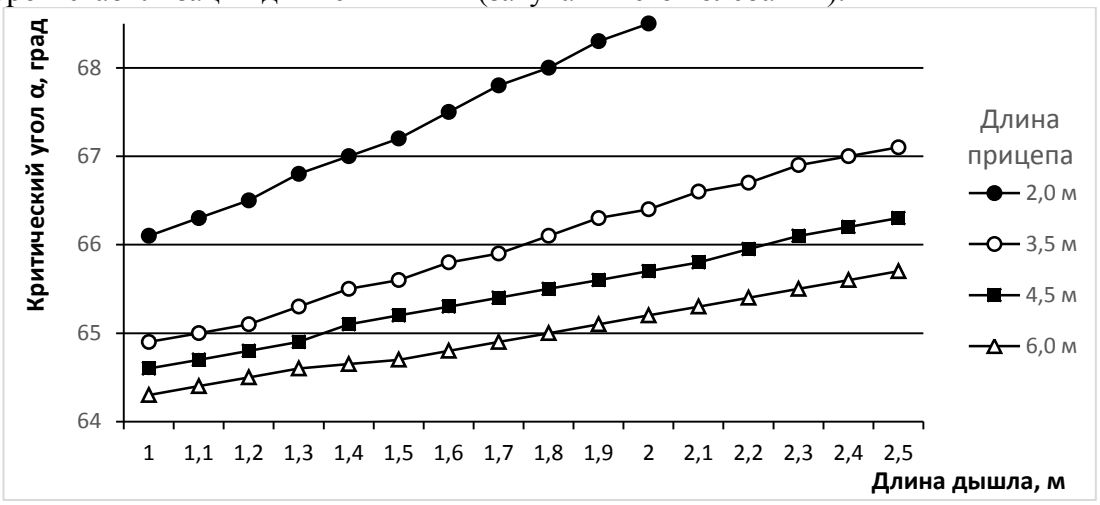


Рис. 4. Критические значения угла поворота α_1 прицепа от линии движения в зависимости от длины прицепа и дышла ($m_Т$=600 кг, $m_П$= 300 кг, V=3 м/с)

Fig. 4. Critical values of the trailer turning angle α_1 from the line of travel, depending on the trailer and drawbar length ($m_{tractor}$=600 kg, $m_{trailer}$= 300 kg, V= 3 m/s)

И в процессе 4-го этапа колебательного процесса (рис. 1), когда прицеп отклоняется в сторону, противоположную первоначальному его смещению, длина дышла снова должна принимать максимально возможное значение, что позволит уменьшить начальную амплитуду «возвратных» колебаний АТП.

Все вышеизложенное требует обеспечения возможности постоянного изменения длины дышла, от минимального до максимального из возможных (по прочностным, конструктивным, эксплуатационным требованиям) его значений, в зависимости от текущей фазы колебательного процесса. Выполнение данного условия может существенно

усложнить конструкцию самого прицепного устройства, однако также и значительно уменьшить амплитуду (и энергию) «виляний» АТП и повысить вероятность самостабилизации колебательного процесса. От разрабатываемого технического устройства в таком случае будет требоваться обеспечение синхронизации изменения длины дышла с его текущим положением (отклонением) относительно линии первоначального движения.

С учетом того, что главной проблемой стабилизации процесса «виляния» АТП на трассе будет устранение рассогласования векторов импульсов транспортирующего и транспортируемого устройств (автомобиля и прицепа), которое и запускает сам колебательный процесс, перспективным представляется также возможность управляемого изменения ориентации вектора импульса прицепа относительно вектора импульса автомобиля.

Подобная возможность может обеспечиваться регулируемым изменением точки приложения вектора импульса прицепа на прицепное устройство (дышло), например, расположения точки опоры прицепа на опорно-поворотной платформе (ОПП) или раме тягача, или его направления относительно линии движения АТС.

Авторами эффект «затухания» колебательных движений при изменении направления вектора импульса прицепа, например, посредством изменения угла наклона шкворня опорно-поворотного устройства прицепа[23], был подтвержден экспериментально (рис. 5) [14].

Во всех случаях непременным условием скорейшего «затухания» колебаний должна являться синхронизация смещения точки опоры прицепа (точки приложения его импульса) с текущим положением вектора данного импульса относительно линии первоначального движения АТП.

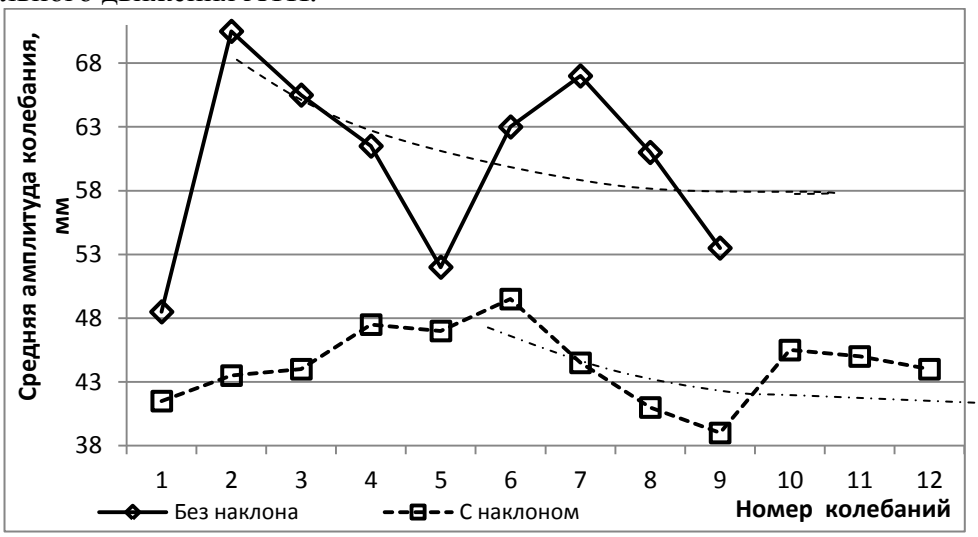


Рис. 5. Средние амплитуды колебаний натурного образца прицепа АТП с измененным углом наклона шкворня и без наклона

Fig. 5. Average oscillation amplitudes of a full-scale sample of a road tractor train with a modified tilt angle of the pin and without tilt

Обсуждение. Принципиальная возможность подобных решений – изменения длины дышла (и самого АТП) и смещения точки опоры полуприцепа на раму тягача (изменения пространственного положения дышла относительно направлений движения и поворота АТП) – была обоснована и подтверждена патентами авторов (рис. 6–8).

[23] Строганов Ю.Н., Попова А.И., Строганова О.Ю. Опорно-поворотное устройство прицепа. Патент РФ № 170879 19.09. 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU170879U1_20170512 (дата обращения 18.03.2025)

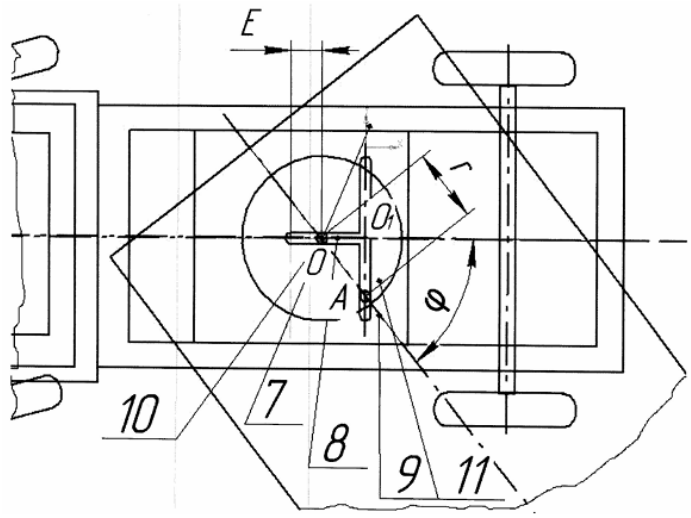


Рис. 6. Автопоезд изменяемой длины (патент RU 114932 U1) [24]
Fig. 6. Road train with variable length (patent RU 114932 U1)

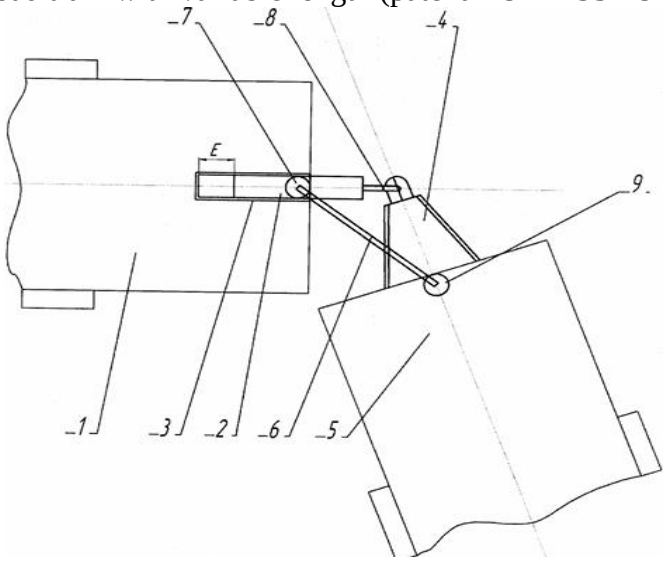


Рис. 7. Буксирное устройство автопоезда (патент RU 168731 U1) [25]
Fig. 7. Towing device of a road train (patent RU 168731 U1)

[24] Строганов Ю.Н., Зеленин А.Н., Огнев О.Г. Автопоезд изменяемой длины. Патент на полезную модель RU 114932 U1, 20.04.2012. Заявка № 2011148306/11 от 28.11.2011 URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38401877_28182046.pdf

[25] Строганов Ю.Н., Ляхов Д.Р., Огнев О.Г., Строганова О.Ю. Буксирное устройство автопоезда. Патент на полезную модель RU 168731 U1, 17.02.2017. Заявка № 2016123509 от 14.06.2016 URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38293334_24192635.pdf

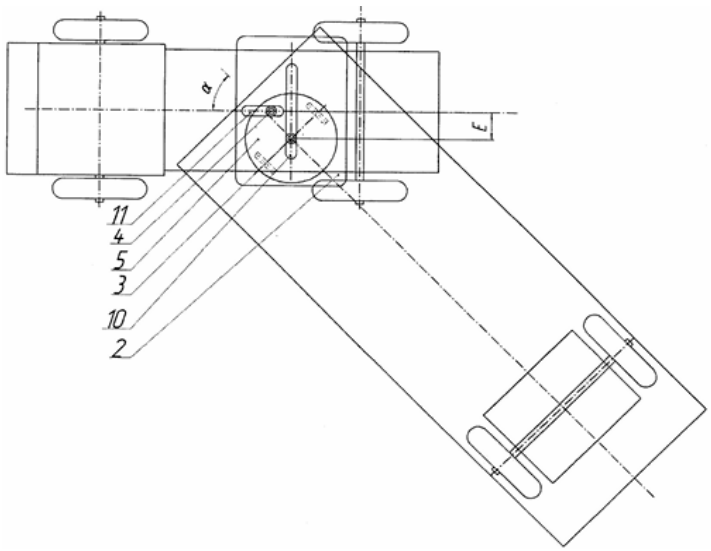


Рис. 8. Опорно-поворотное устройство автопоезда (патент RU 179448 U1) [26]

Fig. 8. Supporting and slewing gear of a road train (patent RU 179448 U1)

Особенностью подобных решений является техническое обоснование принципиальной возможности смещения точки опоры прицепа на опорно-поворотной платформе, в данном случае, в продольном и поперечном направлении относительно первоначального направления движения АТП.

Дополнительным «бонусом» применения представленных решений может стать также и улучшение эксплуатационных свойств АТП, например повышение маневренности (особенно на ограниченном пространстве), снижение общей длины автопоезда, повышение его эксплуатационной скорости и т.п.

В частности, применение метода изменения угла наклона шкворня опорно-поворотного устройства прицепа АТП позволило снизить среднюю амплитуду колебаний крайних точек переднего борта прицепа на 26,5-28 %, повысить период колебаний на 33,3 %, а также незначительно изменить декремент колебаний – на 0,5-2,5 % [14].

Еще одним перспективным направлением повышения устойчивости представляется использование для скорейшего устранения рассинхронизации импульсов тягача и прицепа сил трения самой системы АТП. В таком случае устранение рассогласования векторов импульсов, образовавшегося вследствие внешнего воздействия, будет происходить не путем пространственного переноса точек приложения данных векторов (как при использовании ранее названных способов), а посредством «гашения» ненужных проекций данных импульсов, в частности на ось дышла. Компенсирующими (притормаживающими) устройствами, в таком случае, могут выступать всевозможные пружинные, штоковые и рычажные механизмы (как например, в работах [10, 14]).

Выводы. Представленные выше результаты применения и анализа методики оценки «виляния» АТП на трассе, при наличии внешних воздействий, как колебательного процесса позволили установить следующее. Основной причиной «виляния» АТП на трассе является рассогласование векторов импульсов транспортирующего и транспортируемого устройств (автомобиля и прицепа) относительно направления первоначального движения.

Сдвигающая сила, как результат соотношения проекций данных импульсов автомобиля и прицепа на линию дышла, может как гасить, так и усиливать колебательный процесс «виляния» АТП.

[26] Строганов Ю.Н., Огнев О.Г., Попова А.И., Строганова О.Ю. Опорно-поворотное устройство автопоезда. Патент на полезную модель RU 179448 U1, 15.05.2018. Заявка № 2017109328 от 20.03.2017. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38153326_86439797.pdf

Анализ результатов применения данной методики позволил сформулировать требования (изложены выше) к условиям протекания процесса колебаний элементов АТП для обеспечения устойчивости его движения на трассе при наличии внешних воздействий.

Выдвинуто предположение, что наиболее эффективным способом стабилизации колебательного процесса движения АТП будет управляемое изменение геометрических характеристик (в частности длины) и пространственного положения такого элемента АТП, как дышло, что позволит управлять устранением рассогласования векторов импульсов тягача и прицепа, формируя величину «сдвигающей» силы, действующей вдоль оси дышла.

В частности, устранение рассогласования векторов импульсов тягача и прицепа изменением угла наклона шкворня опорно-поворотного устройства прицепа оказывает существенное воздействие на маневренность всего АТП, а именно снижает среднюю амплитуду колебаний крайних точек переднего борта прицепа на 26,5–28 %, одновременно повышая период колебаний всего прицепа – на 33,3 %.

Новизна подобного решения была подтверждена рядом патентов, в которых предлагаются технические решения, обеспечивающие возможность перемещения точки опоры рамы прицепа на опорно-поворотной платформе в продольном и поперечном направлении относительно первоначального направления движения АТП.

Также было выдвинуто предположение о целесообразности использования сил трения отдельных элементов АТП для пространственной синхронизации импульсов тягача и прицепа – гашения колебаний всей системы АТП.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Prochowski L., Pusty T., Gidlewski M., Jemioł L. Experimental studies of the car-trailer system when passing by a suddenly appearing obstacle in the aspect of active safety of autonomous vehicles // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Vol.421(3), 032024 https://doi.org/10.1088/1757-899X/421/3/032024
2. Tarmaev A. A., Petrov G. I., Filippov V. N. Analysis of freight cars wheels wear based on mathematical modeling of the dynamics of their movement // Journal of Physics: Conf. Ser. 2019. Vol. 1172, 012087 https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012087
3. Abdullah M. A., Jamil J. F., Salim M. A. Dynamic performances analysis of a real vehicle driving // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2015. Vol. 100, 012017 https://doi.org/10.1088/1757-899X/100/1/012017
4. Więckowski D., Pusty T., Jędrys P. Influence of the vertical load exerted by the trailer on the coupling device on towing vehicle's steerability and stability // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2016. Vol.148, 012031 https://doi.org/10.1088/1757-899X/148/1/012031
5. Chuan Sun, Jianyu Wang, Lian Xie, Duanfeng Chu, Liqun Liu. Research on road safety evaluation in curves based on trucksim-simulink co-simulation // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 392, 062157 https://doi.org/10.1088/1757-899X/392/6/062157
6. Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Яковлев К.А., Бурмистров Д.В. Определение влияния параметров ходовой части лесовозного автопоезда на устойчивость движения управляемых колес // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4-4. С. 671-674. EDN: VSDHJV
7. Камусин А.А., Казначеева Н.И., Борисов В.А., Акинин Д.В. Устойчивость движения прицепов лесовозных автопоездов // Лесной вестник. 2014. №18(S2). С.143-145. EDN: SGQLDZ
8. Жилейкин М.М., Горелов В.А., Скотников Г.И. Метод повышения устойчивости автопоездов при экстренном торможении в повороте в случае отказа тормозной системы прицепных звеньев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. № 1 (128). С. 122-130. https://doi.org/10.46960/1816-210X_2020_1_122
9. Холопов В. Н., Федорченко И. С. Электромеханическая трансмиссия

активного автопоезда // Хвойные бореальной зоны. 2021. №39 (2). С. 147-151. EDN: USAJDR

10. Посметьев В.И., Никонов В.О., Посметьев В.В., Зеликов В.А. Моделирование работы рекуперативного пружинно-гидравлического седельно-сцепного устройства, размещенного в полуприцепе лесовозного автопоезда // Лесотехнический журнал. 2021. № 11(2-42). С. 133-148. https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/13

11. Карлюк А.П. Анализ методик управляемости и устойчивости грузовых автомобилей МАЗ // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №4. С. 101-106. EDN: VIMZLN

12. Строганов Ю.Н., Белова Н.Н., Огнев О.Г., Максимов А.Н., Андреев В.А. Модель оценки устойчивости движения автотранспортного поезда и результаты ее анализа // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1 (65). С. 89-96. https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-89-96

13. Огнев О.Г., Строганов Ю.Н., Максимов А.Н., Белова Н.Н. О применении методов математического моделирования при расчете устойчивости движения автотранспортного поезда // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (21). С. 100-107. https://doi.org/10.48612/vch/3595-3gfk-urap

14. Stroganov Yu. N., Aldokhina N. P., Vikhrova T. V., Glazova L. P., Dolgushin V.A., Krishtanov E.A., Ognev O.G., Summanen A.V. Reduction of technogenic impact on the soil by increasing the stability of road trains movement within the field // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1138(1), 012031. EDN: YPNBAM

REFERENCES

1 Prochowski L., Pusty T., Gidlewski M., Jemioł L. Experimental studies of the car-trailer system when passing by a suddenly appearing obstacle in the aspect of active safety of autonomous vehicles // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018;421(3), 032024 (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1757-899X/421/3/032024

2 Tarmaev A. A., Petrov G. I., Filippov V. N. Analysis of freight cars wheels wear based on mathematical modeling of the dynamics of their movement. Journal of Physics: Conf. Ser. 2019; 1172, 012087 (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012087

3 Abdullah M. A., Jamil J. F., Salim M. A. Dynamic performances analysis of a real vehicle driving. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2015; 100, 012017 (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1757-899X/100/1/012017

4 Więckowski D., Pusty T., Jędrys P. Influence of the vertical load exerted by the trailer on the coupling device on towing vehicle's steerability and stability. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2016; 148, 012031 (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1757-899X/148/1/012031

5 Chuan Sun, Jianyu Wang, Lian Xie, Duanfeng Chu, Liqun Liu. Research on road safety evaluation in curves based on trucksim-simulink co-simulation. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018; 392, 062157 (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1757-899X/392/6/062157

6 Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Yakovlev K.A., Burmistrov D.V. Determination of the influence of the parameters of the chassis forestry train at steadyness movement of the steered wheels.
Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanii = International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016;4-4:671-674. (In Russ.) EDN: VSDHJV

7 Kamusin A.A., Kaznacheeva N.I., Borisov V.A., Akinin D.V. Driving stability of timber haulage trailers. Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin. 2014. 18(S2):143-145. (In Russ.) EDN: SGQLDZ

8 Zhileykin M. M., Gorelov V. A., Skotnikov G.I. The method of increasing the stability of trailer-trucks in case of emergency braking in a turn at emergency failure of the trailer brake system. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva = Transactions of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev. 2020;1 (128):122-130. (In Russ.) https://doi.org/10.46960/1816-210X_2020_1_122

9 Kholopov V.N., Fedorchenko I.S. Active train transmission. Khvoinye boreal'noi zony = Conifers of the Boreal Area. 2021;39 (2):147-151. (In Russ.) EDN: USAJDR
10 Posmetev V.I., Nikonov V.O., Posmetev V.V., Zelikov V.A. Modeling the operation of a recuperative spring-hydraulic fifth-wheel coupling located in the semitrailer of lumber truck. Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry Engineering Journal. 2021;11 (2-42): 133-148. (In Russ.) https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/13
11 Karlyuk A.P. Analysis of methods of control and stability of MAZ trucks. Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy. 2024;4: 101-106. (In Russ.) EDN: VIMZLN
12 Stroganov Yu.N., Belova N.N., Ognev O.G., Maksimov A.N., Andreev V.A. Model for assessing the stability of the movement of a motor transport train and the results of its analysis. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2022;17 (1-65):89-96. (In Russ.) https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-89-96
13. Ognev O.G., Stroganov Yu.N., Maksimov A.N., Belova N.N. On the application of mathematical modeling methods in the calculation of the stability movement of motor transport train. Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik Chuvash State Agrarian University. 2022;2 (21):100-107. (In Russ.) https://doi.org/10.48612/vch/3595-3gfk-urap
14 Stroganov Yu.N., Aldokhina N.P., Vikhrova T.V., Glazova L.P., Dolgushin V.A., Krishtanov E.A., Ognev O.G., Summanen A.V. Reduction of technogenic impact on the soil by increasing the stability of road trains movement within the field. IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2023; 1138(1), 012031. (In Eng.) EDN: YPNBAM

Об авторах	**About the authors**
Виздрик Геннадий Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Прикладная механика, физика и инженерная графика», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия	**Gennady M. Vizdrik**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics, Physics and Engineering Graphics, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia
Вихрова Татьяна Вениаминовна, старший преподаватель кафедры «Прикладная механика, физика и инженерная графика», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия	**Tatiana V. Vikhrova ,** senior lecturer, Department of Applied Mechanics, Physics and Engineering Graphics, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia
Долгушин Василий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика, физика и инженерная графика», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия	**Vasily A. Dolgushin,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics, Physics and Engineering Graphics, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia
Огнев Олег Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика, физика и инженерная графика», Санкт-	**Oleg G. Ognev,** DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Applied Mechanics, Physics and Engineering Graphics, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint

Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия ognew.og@mail.ru https://orcid.org/0009-0004-0843-7597	Petersburg, Russia ognew.og@mail.ru https://orcid.org/0009-0004-0843-7597
Строганов Юрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и роботы», Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия urij.stroganov@mail.ru	**Yuri N. Stroganov,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Lifting and Transport Machines and Robots, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia urij.stroganov@mail.ru
Заявленный вклад авторов Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.	**Authors' contribution** All authors made an equivalent contribution to the preparation of the manuscript.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат	**Conflict of interest** The authors declare that there is no conflict of interest and they bear equal responsibility for plagiarism.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 25.03.2025	**Received:** 25.03.2024
Одобрена после рецензирования: 21.05.2025	**Approved after reviewing:** 21.05.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 631.95 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-66-83

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВЛИЯНИЯ ПОЧВЕННОГО УПЛОТНЕНИЯ НА ВЫНОС БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПАХОТНОГО СЛОЯ

Антон Михайлович Захаров[1], Алексей Петрович Мишанов[2]✉, Евгений Александрович Мурзаев[3]
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

[1]zamsznii@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3501-0543
[2]amishanov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9838-5508
[3]murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665

Аннотация. Одной из глобальных экологических проблем в мире является диффузная нагрузка на водные объекты. Данный вид экологического ущерба формируется за счет антропогенной деятельности, в том числе связанной с производством сельскохозяйственной продукции. Такой вид воздействия возникает при использовании различных средств для стимулирования роста и развития растений, содержащих в своем составе азот и фосфор. В связи с тем, что в процессе роста культурные растения не в полной мере потребляют внесенные удобрения, остаточные питательные элементы в почве при формировании ряда условий, могут попадать в водные объекты, тем самым нанося им большой экологический ущерб. В настоящее время имеется ряд моделей для оценки диффузной нагрузки, позволяющих оценить степень воздействия производства продукции растениеводства на количество поступающих в водные объекты биогенных элементов. Однако существующие модели почти не учитывают физические параметры почвенного состояния, в том числе и глубину залегания уплотненного слоя почвы. Целью представленной научно-исследовательской работы является разработка теоретических предпосылок для оценки влияния почвенного уплотнения на вынос биогенных веществ из пахотного слоя почвы. В процессе проведения исследований разработана схема движения биогенных веществ в условиях возделывания растениеводческой продукции на землях сельскохозяйственного назначения. Сформирована номенклатура показателей, влияющих на процесс выноса азота и фосфора из пахотного горизонта при возделывании растениеводческой продукции, а также уравнения их расчета. Разработано уравнение расчета потенциала выноса азота и фосфора в зависимости от глубины залегания уплотненного слоя и значений скорости фильтрации почвы. По разработанному уравнению проведен имитационный расчет получаемых значений (по азоту), в соответствии с которым диапазон значений выноса составил от 1,03 кг/сут до 47,7 кг/сут с одного гектара.

Ключевые слова: уплотнение почвы, диффузная нагрузка, биогенные вещества, вынос азота.

Для цитирования: Захаров А.М., Мишанов А.П., Мурзаев Е.А. Теоретические предпосылки влияния почвенного уплотнения на вынос биогенных веществ из пахотного слоя // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С.66-83 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-66-83

Research article
Universal Decimal Code 631.95

THEORETICAL PREREQUISITES FOR THE EFFECT OF SOIL COMPACTION ON NUTRIENT LEAKAGE FROM ARABLE LAYER

Anton M. Zakharov[1], Alexey P. Mishanov[2]✉, Evgeniy A. Murzaev[3]
Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.
[1]zamsznii@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3501-0543
[2]amishanov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9838-5508
[3]murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665

Abstract. One of the global environmental challenges is diffuse pollution of water bodies. This type of ecological damage is caused by human activities, including those associated with agricultural production. It originates from the use of various plant growth stimulants containing nitrogen and phosphorus. The cultivated plants do not consume the applied fertilisers during their growth fully. Therefore, under certain conditions the residual nutrients in the soil can enter water bodies, deteriorating environment much. Currently, there are several models for

assessing the diffuse load. They allow estimating the degree of impact of crop production on the amount of nutrients entering the water bodies. Yet, they take little account for the physical soil parameters including the depth of the compacted soil layer. Thus, the purpose of presented research was the theoretical assessment of the effect of soil compaction on the nutrient leakage from the arable soil layer. The study developed a pattern of nutrients flow in the conditions of crop cultivation on agricultural fields. The study identified the indicators affecting the process of nitrogen and phosphorus loss from the arable horizon in crop cultivation and established equations for their calculation. One of these described the potential loss of nitrogen and phosphorus depending on the depth of the compacted layer and the soil filtration rate. A simulation calculation of the obtained values (for nitrogen) was carried out by the developed equation. It showed a range of loss values from 1.03 to 47.7 kg/day/ha.

Key word: soil compaction, diffuse load, nutrients, nitrogen leakage

For citation: Zakharov A.M., MishanovA.P., MurzaevE.A. Theoretical prerequisites for the effect of soil compaction on nutrient leakage from arable layer. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 66-83 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-66-83

Введение. Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 28.02.2024 №145, возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан, а также потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе являются важнейшими вызовами, которые требуют рациональных, научно-обоснованных технико-технологических решений[27]. Такие большие вызовы необходимо решать при помощи проведения фундаментальных научных исследований, направленных на оптимизацию сельскохозяйственного природопользования, агроэкологическую оценку земель, создания адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения на основе цифровизации и регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах[28].

Одной из основных причин усиления антропогенного воздействия на окружающую среду является интенсификация производства, в частности наращивание мощностей на предприятиях, производящих продукцию растениеводства. Возможные риски негативного воздействия на окружающую среду стали представлять собой реальную опасность. В этой связи, контроль, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия на окружающую среду от интенсивных машинных технологий производства продукции растениеводства, основанные на изучении тенденции развития системы природопользования и перспектив хозяйственного и научно-технического развития общества, в сегодняшних условиях становятся одной из приоритетных задач [1-3].

При производстве продукции растениеводства по интенсивным технологиям, происходит высокое отрицательное влияние на параметры агроэкосистемы, в том числе на формирование внутрипочвенного уплотнения [4].

Другим опасным явлением, при производстве продукции растениеводства является эвтрофикация водных объектов средствами стимулирования роста и развития растений [5].

[27]Указ Президента РФ от 28.02.2024 №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_470973/

[28]Программа фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021-2030 годы), пункт 4.1.1.1. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373604/

Такой вид воздействия формируется из-за внесения в почву удобрений различного типа, имеющих в своем составе биогенные элементы, такие как азот и фосфор. В процессе роста культурные растения не в полной мере потребляют внесенные удобрения, поэтому остаточные питательные элементы в почве, при формировании ряда условий, могут попадать в водные объекты, тем самым нанося им большой экологический ущерб.

В настоящее время имеется ряд моделей для оценки диффузной нагрузки, позволяющих оценить степень воздействия производства продукции растениеводства на количество поступающих в водные объекты биогенных элементов [6-8]. Однако, существующие модели слабо учитывают физические параметры почвенного состояния, в том числе и глубину залегания уплотненного слоя почвы. Некоторые модели рассчитываются по величине поверхностного стока влаги в результате развития на полях сельскохозяйственного назначения эрозионных процессов [9]. В таком случае значения почвенного уплотнения напрямую будут влиять на интенсивность проявления поступления биогенных элементов в водные объекты.

Проведенный анализ литературных источников, позволяет сделать вывод о том, что перенос биогенных элементов внутри почвы, происходит с движением почвенной влаги, на интенсивность которого влияют физические параметры почвенного состояния [10].

В таком случае, научной гипотезой является теоретическое предположение, о том, что на вынос биогенных элементов из почвы (зоны аэрации) будут влиять физические параметры почвенного состояния, в том числе глубина залегания уплотненного слоя почвы.

Цель исследований – разработка теоретических предпосылок для оценки влияния почвенного уплотнения на вынос биогенных веществ из пахотного слоя почвы.

Материалы и методы. Проведен аналитический обзор ряда литературных источников, в результате которого разработана схема формирования почвенного уплотнения, представленная на рисунке 1 [11].

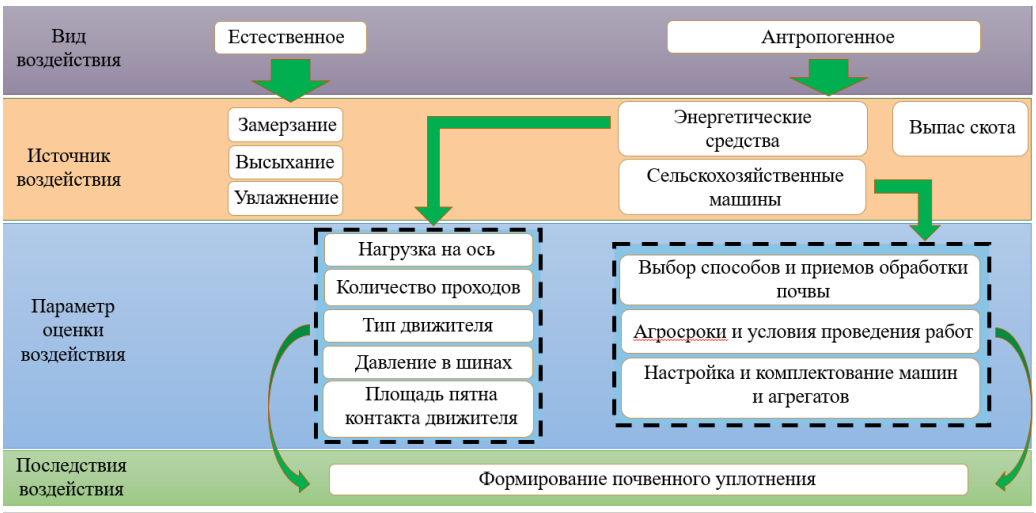


Рис.1. Факторы, влияющие на уплотнение почвы
Fig.1. Factors affecting soil compaction

Виды воздействия, влияющие на вынос биогенных веществ при производстве продукции растениеводства, можно разделить на три крупных блока, таких как: технологические операции, рост и развитие культурных растений, и внесение удобрений.

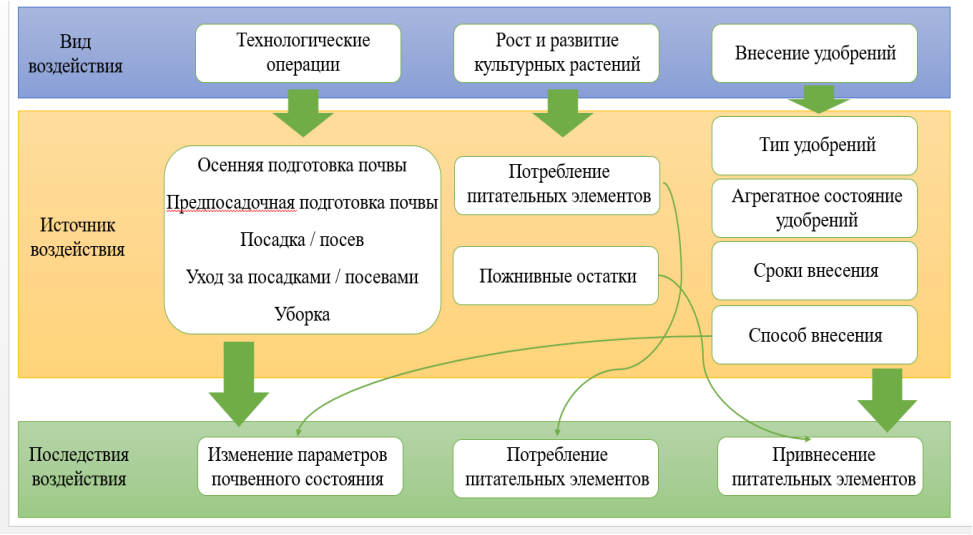


Рис. 2. Схема влияния производства продукции растениеводства на вынос биогенных веществ

Fig. 2. Effect of crop production on nutrient leakage

Источниками воздействия практически любой технологии возделывания культурных растений являются пять основных технологических процессов, таких как: осенняя подготовка почвы, предпосадочная (предпосевная) обработка почвы, посадка (посев) культурных растений, уход за посадками (посевами) культурных растений и их уборка. Каждый указанный технологический процесс состоит из отдельных технологических операций, которые в свою очередь оказывают постоянное влияние на изменение физических параметров почвенного состояния с разной интенсивностью, в том числе на уплотнение (разуплотнение) почвы. Оценка последствий воздействия в данном блоке производится путем определения степени изменения почвенного уплотнения в зависимости от применяемых МТА для конкретной технологии производства продукции растениеводства.

Другим источником воздействия является потребление культурными растениями питательных элементов из почвы (азота и фосфора) конкретной культурой, количество которых определяется как кг/ц основной продукции.

Последний вид воздействия формируется за счет применения средств стимулирования роста растений. В настоящее время при производстве продукции растениеводства разработано большое количество различных видов, как самих удобрений, так и способов их внесения. Поэтому, источниками воздействия в данном блоке будут являться: тип применяемых удобрений (минеральные, органоминеральные или органические), физическое состояние удобрений при их внесении (гранулированное, сыпучее, жидкое), агротехнические сроки внесения и способ внесения (поверхностное с дальнейшей заделкой или внутрипочвенное). Также при расчете привнесения питательных элементов в почву, необходимо учитывать пожнивные остатки культурных растений, если их заделка используется в технологии производства.

Процесс привнесения в почву биогенных веществ может быть естественным и антропогенным. В случае естественного привнесения, необходимо учитывать азот, попавший в почву с осадками [12].

Антропогенное привнесение биогенных веществ связано с использованием различных удобрений при возделывании культурных растений, а также заделкой пожнивных остатков растений, если предусмотрено технологией.

После привнесения, в почве на глубине заделки образуется некоторое количество азота и фосфора, R_N и R_P соответственно.

В процессе расхода из почвы биогенных веществ, происходит расход азота и фосфора различными физическими процессами. При возделывании растениеводческой продукции большую часть биогенных веществ потребляют культурные растения в процессе роста. Данная величина рассчитывается за счет коэффициентов потребления биогенных веществ, определяемых, в зависимости от урожайности производимой продукции [13]. Более точно данную величину можно рассчитать только после уборки урожая, однако, для прогнозирования выноса рационально использовать модели прогнозирования урожая в зависимости от культуры, почвенно-климатических условий её возделывания, а также потенциала урожайности конкретного сорта [14].

Часть находящихся в почве биогенных веществ, а именно азота, активно участвуют в процессах нитрификации и денитрификации. В ходе представленных процессов происходит выделение парникового газа – закиси азота N_2O, на формирование которого расходуется некоторое количество азота [15].

Весомый вклад в расход биогенных веществ в почве осуществляют различные сорбционные процессы. Связывание элементов, входящих в состав биогенных веществ осуществляется при влиянии многих факторов. При минерализации азотных соединений (аммонийный и нитратный азот) аммонийный азот имеет положительный заряд, когда как находящиеся в почве глиняные частицы имеют отрицательный заряд. Связывание в почве частиц с разными потенциалами описывает теория диффузионного двойного слоя (double diffusion layer in soil) [16]. Что касается сорбции фосфора, этот процесс зависит от еще больших факторов, чем сорбция азота. Поведение фосфора в почвах определяется его способностью к сорбционному взаимодействию с различными компонентами почвы, в качестве которых выступают гидроксиды и оксиды металлов, глинистые минералы, обменные катионы, карбонаты кальция и магния и органоминеральные образования [17].

При возделывании продукции растениеводства, на полях постоянно проводятся различные технологические операции, которые создают внутрипочвенное уплотнение. Это связано с тем, что в большинстве случаев, основная обработка почвы проводится на глубину 25-30 см, но существуют исключения в виде использования культиваторов глубокорыхлителей или других почвоуглубляющих сельскохозяйственных машин (до 50-60 см).

Учитывая вышесказанное при оценке диффузной нагрузки с полей, находящимися под культурными растениями, необходимо учитывать величину и глубину залегания уплотненного слоя (рис. 3).

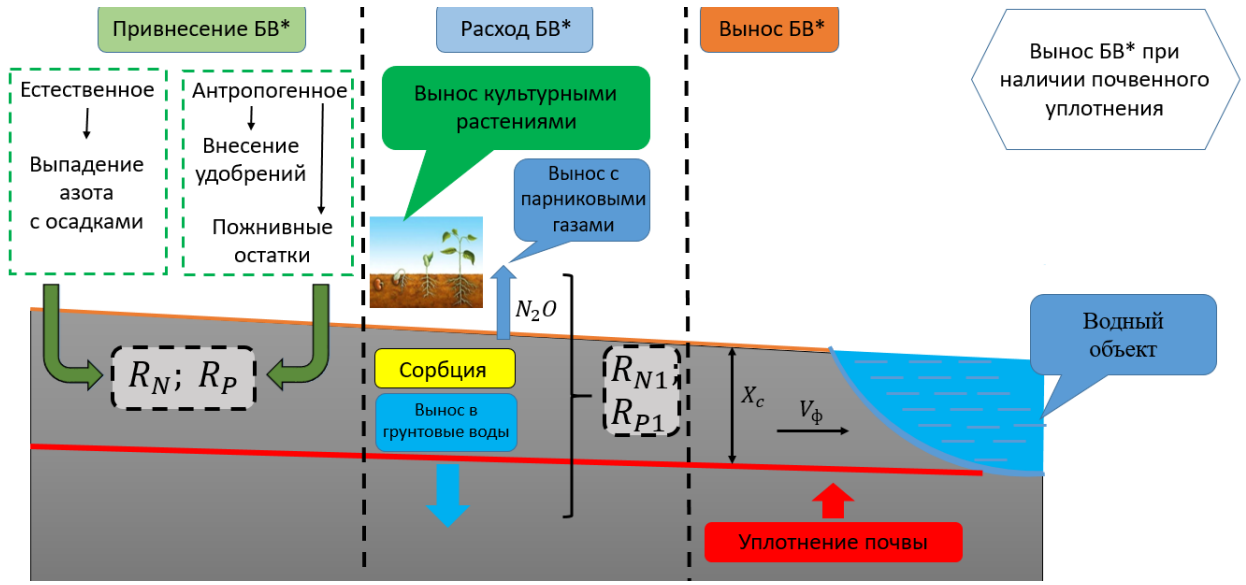


Рис. 3. Схема движения биогенных веществ при наличии почвенного уплотнения

Fig. 3. Scheme of nutrient movement in the presence of soil compaction

В процессе непосредственно выноса, уплотненный слой почвы выступает неким «барьером» для проникновения БВ в нижележащие почвенные слои, тем самым ограничивая пространство для их движения в вертикальном сечении. Известно, что БВ перемещаются внутри почвы совместно с почвенной влагой, создавая некий почвенный раствор. При достижении почвенным раствором уплотненного слоя почвы, происходит процесс перемещения влаги в горизонтальном направлении, при этом захватывая БВ. Далее почвенный раствор может перемещаться как внутри почвы, так и по ее поверхности. Скорость перемещения внутри почвы будет характеризоваться скоростью фильтрации почвы. Однако следует учитывать, что даже при наличии почвенного уплотнения, некоторое количество БВ в зависимости от его величины может проникнуть в нижележащие почвенные слои за счет диффузионных процессов.

Результаты. Для формирования уравнения расчета диффузной нагрузки от полей, на которых возделывается растениеводческая продукция с учетом уплотнения почвы, необходимо формирование отдельных уравнений, позволяющих рассчитать каждый, из представленных выше этапов выноса БВ (привнесение, расход, вынос).

Уравнение определения количество привнесенного азота:

$$\mathrm{R_N} = \left((\mathrm{N_{кг}^{м}} + \mathrm{N_{кг}^{о}} + \mathrm{N_{кг}^{о.м.}} + \mathrm{N_{кг}^{п.ост.}}) \times \mathrm{B_1} \times \mathrm{B_{2N}}\right) + \mathrm{N_{кг}^{ест.}}, \quad (1)$$

где $N_{кг}^{м}$ – количество внесенного азота с минеральными удобрениями, $\frac{кг}{м^2}$;

$N_{кг}^{о}$ – количество внесенного азота с органическими удобрениями, $\frac{кг}{м^2}$;

$N_{кг}^{о.м.}$ – количество внесенного азота с органо-минеральными удобрениями, $\frac{кг}{м^2}$;

$N_{кг}^{п.ост.}$ – количество внесенного азота с пожнивными остатками (при наличии в технологии), $\frac{кг}{м^2}$;

$N_{кг}^{ест.}$ – количество азота, выпадающего с осадками, $\frac{кг}{м^2}$;

B_1– коэффициент учитывающий способ внесения ($B_1 \leq 1$);

B_{2N} – агрегатное состояние удобрений (оценка влияния на скорость минерализации, необходимо более детальное изучение, при имитационном расчете принимается B_1=1).

Важно отметить, что коэффициент B_1 будет иметь значение меньше единицы в случае поверхностного внесения органических удобрений и уменьшаться с увеличением времени заделки удобрений. При поверхностном внесении навоза без заделки за 4 часа потери аммиачного азота могут достигать 55%, за 12 часов – 65%, за 24 часа – 70%, за 48 часов – 80% [18]. Уравнение определения количества привнесенного фосфора:

$$\mathrm{R_P} = \left((\mathrm{P_{кг}^{м}} + \mathrm{P_{кг}^{о}} + \mathrm{P_{кг}^{о.м.}} + \mathrm{P_{кг}^{п.ост.}}\right) \quad (2)$$

где $P_{кг}^{м}$ – количество внесенного фосфора с минеральными удобрениями, $\frac{кг}{м^2}$;

$P_{кг}^{о}$ – количество внесенного фосфора с органическими удобрениями, $\frac{кг}{м^2}$;

$P_{кг}^{о.м.}$ – количество внесенного фосфора с органо-минеральными удобрениями, $\frac{кг}{м^2}$;

$P_{кг}^{п.ост.}$ – количество внесенного фосфора с пожнивными остатками (при наличии в технологии), $\frac{кг}{м^2}$;

B_{2P} – физическое состояние удобрений (оценка влияния на скорость минерализации, необходимо более детальное изучение, при имитационном расчете принимается $B_2 = 1$).

Уравнение определения расходуемого азота:

$$R_{N1} = R_N - R_{N.рост.} - R_{N.п.г.} - R_{N.сорб.} \quad (3)$$

где $R_{N.рост.}$ – количество расходуемого азота на рост и развитие культурных растений, $\frac{кг}{м^2}$;

$R_{N.п.г.}$ – количество расходуемого азота на формирование парникового газа N_2O, $\frac{кг}{м^2}$;

$R_{N.сорб.}$ – количество расходуемого азота на сорбирование отрицательно-заряженными глиняными частицами почвы, $\frac{кг}{м^2}$;

$R_{N.н.с.}$– количество расходуемого азота, попадающего в нижележащие почвенные слои, $\frac{кг}{м^2}$.

Уравнение определения количества расходуемого азота на рост и развитие культурных растений:

$$R_{N.рост.} = K_{N.i} \times у, \quad (4)$$

где $K_{N.i}$ – потребление азота культурными растениями [13], кг на 1ц основной продукции;

у – урожайность, $\frac{кг}{м^2}$.

Количество расходуемого азота на формирование парникового газа $R_{N.п.г.}$ составляет согласно разным литературным источникам 10-30% согласно [19], 1% согласно МГЭИК от внесенного количества азота.

Количество расходуемого азота на сорбирование отрицательно-заряженными глиняными частицами почвы составляет 15-30% согласно [19].

Количество расходуемого азота, попадающего в нижележащие почвенные слои$R_{N.н.с.}$ –неизвестная величина, которая предположительно будет зависеть от глубины и величины уплотненного слоя почвы. Данное значение будет характеризовать влияние вида применяемой технологии производства растениеводческой продукции на процесс расхода БВ.

Уравнение определения расходуемого фосфора:

$$R_{P1} = R_P - R_{P.рост.} - R_{P.сорб.} \quad (5)$$

где $R_{P.рост.}$– количество расходуемого фосфора на рост и развитие культурных растений, $\frac{кг}{м^2}$;

$R_{P.сорб.}$ – количество расходуемого фосфора на сорбирование, $\frac{кг}{м^2}$;

$R_{P.н.с.}$– количество расходуемого фосфора, попадающего в нижележащие почвенные слои, $\frac{кг}{м^2}$.

Количество расходуемого фосфора на рост и развитие культурных растений$R_{P.рост.}$ определяется аналогично $R_{N.рост.}$.

Количество расходуемого фосфора на сорбирование принимается равным 15-30% от внесенного согласно [19].

Количество расходуемого фосфора, попадающего в нижележащие почвенные слои также не известно, как и $R_{N.н.с.,}$ и будет зависеть от применяемых технологий производства продукции растениеводства.

Как было сказано выше, процесс выноса БВ с полей, на которых возделывается растениеводческая продукция, будет характеризоваться двумя величинами: глубиной залегания уплотненного слоя почвы и скоростью фильтрации почвы. Согласно этому, уравнение определения потенциального количества азота, выносимого с возделываемого поля, будет иметь вид:

$$N_в = \left\{[(N^м_{кг} + N^о_{кг} + N^{о.м.}_{кг} + N^{п.ост.}_{кг}) \times B_1 \times B_2] - R_{рост.} - R_{п.г.} - R_{сорб.} - R_{н.с.}\right\} \times V_ф \times S_п. \quad (6)$$

где $V_{ф.}$ – скорость фильтрации (табл. 1), $\frac{м}{сут}$;

$S_п$ – площадь поля, м^2;

x_c – глубина залегания уплотненного слоя почвы, м.

Уравнение определения потенциального количества фосфора, выносимого с возделываемого поля, будет иметь вид:

$$P_в = \left\{[(P^м_{кг} + P^о_{кг} + P^{о.м.}_{кг} + P^{п.ост.}_{кг}) \times B_2] - R_{рост.} - R_{сорб.} - R_{н.с.}\right\} \times V_ф \times S_п \quad (7)$$

С целью проверки разработанных теоретических зависимостей был проведен имитационный расчет.

Предположим, что в полевых условиях проводится основная обработка почвы агрегатом МТЗ 82.1 + ПЛН-3-35 на глубину (h) 0,25 м. При этом создается среднее нормальное давление колесного движителя на почву 134 кПа.

Для определения формирования почвенного уплотнения необходимо определить величину м

$$\sigma_h = 0{,}637 * 134 \left(arctg \frac{0{,}217*0{,}125}{0{,}25\sqrt{0.217^2+0.125^2+0{,}25^2}} + \frac{0{,}25*0{,}217*0{,}125*(0{,}217^2+0{,}125^2+2*0{,}25^2)}{(0{,}217^2+0{,}25^2)(0{,}125^2+0{,}25^2)\sqrt{0{,}217^2+0{,}125^2+0{,}25^2}}\right) = 25{,}859 \text{ кПа} \quad (8)$$

Зависимость плотности почвы от нормального давления движителя и глубины основной обработки почвы представлена на рисунке 4.

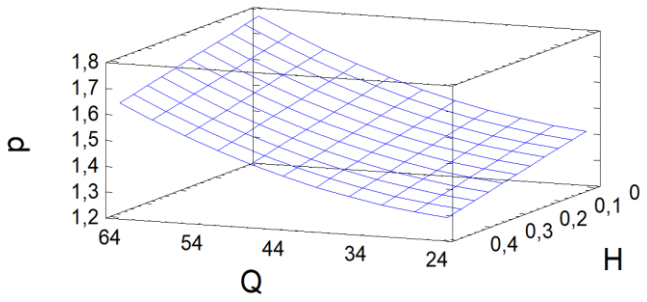


Рис. 4. Зависимость плотности почвы от нормального давления движителя и глубины основной обработки почвы

Fig. 4. Dependence of soil density on normal pressure of the running gear and basic tillage depth

Согласно величине максимального нормального напряжения плотность почвы, создаваемая на глубине 25 см, будет составлять порядка 1,3 г/см^3. Следует отметить, что

при расчете не учитывается формирование плужной подошвы, поскольку такие данные можно получить только экспериментальным путем.

Для расчета потенциальной величины выноса азота предположим, что внесено 50 т органических удобрений с содержанием азота 0,5%, пожнивные остатки отсутствуют, культура – картофель, урожайность – 30 т/га, тогда значения аргументов уравнения будут иметь значения, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Значения аргументов уравнения
Table 1. Values of the equation arguments

№ п/п	Обозначение показателя	Числовое значение	Единица измерения
1	$N_{кг}^{м}$	-	кг/м^2
2	$N_{кг}^{о}$	0,025	кг/м^2
3	$N_{кг}^{о.м.}$	-	кг/м^2
4	$N_{кг}^{п.ост}$	-	кг/м^2
5	B_1	1	-
6	B_2	1	-
7	$N_{кг}^{ест}$	-	кг/м^2
8	$R_{рост.}$	0,015	кг/м^2
9	$R_{п.г.}$	0,00025	кг/м^2
10	$R_{сорб.}$	0,005	кг/м^2
11	$R_{г.в}$	0,0025	кг/м^2
12	$V_{Ф}$	0,016…0,106	м/сут
13	S_n	10000	м^2
14	X_C	0,05…0,35	м

Для расчета зададимся значениями скорости фильтрации [20] и глубины залегания уплотненного слоя (табл. 2).

Таблица 2. Значения скорости фильтрации и глубины залегания уплотненного слоя
Table 2. Filtration rate and the compacted layer depth

x1 (Vф)	x2 (Xc)
0,016	0,05
0,031	0,1
0,046	0,15
0,061	0,2
0,076	0,25
0,091	0,3
0,106	0,35

Расчет проводился в программе Microsoft Excel. Результаты расчета потенциала выноса азота представлены в таблице 3 в кг/сут.

Таблица 3. Результаты расчета потенциала выноса азота, кг/сут
Table 3. Calculation results of nitrogen leakage potential, kg/day

Vф / Xc	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35

0,016	7,20	3,60	2,40	1,80	1,44	1,20	1,03
0,031	13,95	6,98	4,65	3,49	2,79	2,33	1,99
0,046	20,70	10,35	6,90	5,18	4,14	3,45	2,96
0,061	27,45	13,73	9,15	6,86	5,49	4,58	3,92
0,076	34,20	17,10	11,40	8,55	6,84	5,70	4,89
0,091	40,95	20,48	13,65	10,24	8,19	6,83	5,85
0,106	47,70	23,85	15,90	11,93	9,54	7,95	6,81

При использовании разработанного алгоритма расчета следует учитывать, что существует ряд ограничений:

- источник диффузной нагрузки (поле под культурными растениями) находится непосредственно рядом с водным объектом (оврагом, мелиоративными каналами и т.п.);
- процесс выноса биогенных веществ наступит при возникновении фильтрационного процесса в полевых условиях, т.е. при выпадении осадков, превышающих полную полевую влагоемкость, которая зависит от количества осадков, интенсивности осадков, температуры, а также способности почвы усваивать влагу.

Обсуждение. Согласно обзору, опубликованному в Journal of Soil and Water Conservation [21] в качестве наиболее упоминаемых моделей диффузного стока, приводятся SWAT, ANSWERS, AGNPS с её модификацией для непрерывного расчета AnnAGNPS, HSPF и EPIC. В нём также отмечено, что акцент в исследованиях диффузного стока смещается от теоретического понимания проблемы к практическому применению моделей для управления в сельском хозяйстве, а пространственный масштаб – от масштаба отдельного поля к масштабу водосбора. В таблице 4 приведено сопоставление существующих моделей качества воды, применяемых в мировой практике[29].

Таблица 4. Сопоставление существующих моделей качества воды, применяемых в мировой практике

Table 4. Comparison of existing water quality models applied in the world practice

Название модели	Тип модели*	Главные компоненты	Сильные стороны	Слабые стороны
AnnAGNPS	НП; РПП; ПЭМ	Гидрология, химия, эрозия и транспорт наносов, управление		Нет грунтового стока и инфильтрации в мерзлую почву; расчеты биогенного стока завышаются
ANSWERS	СБ; РПП	Гидрология, эрозия и транспорт наносов	Легко менять код, результаты	Нет процессов в реке, снеготаяния; результаты чувствительны ко входным данным
SWAT	НП;ПРП;ВД;	Гидрология,	Удобный	Закрытость,

[29]Ясинский Н.С. Закономерности формирования стока фосфора в верхней части бассейна реки Москвы: дисс … канд. географ. наук. М.: Институт географии РАН. 2019. 175 с.

	ФЗМ	климат, биогенные вещества, транспорт наносов, управление	интерфейс	слишком много необоснованных параметров
SWIM	НП;ПРП;ВД; ФЗМ	То же что и в SWAT + метод Маскингам и др.	Масштаб сутки для валидации	
CREAMS	ССП; ПЛ	Входит в SWAT и SWIM		
SWRRB	НП; нагрузка	Входит в SWAT		
HSPF	НП; ПРП	Гидрология, биогенные вещества, взвешенные вещества	Много моделируемых компонентов	Много эмпирики, только хорошо перемешиваемые русла
CMBA	ФЗМ	Баланс химических веществ		Для малого времени добегания
MA	ФЗМ	Сохранение масс и кинетика реакций		
HYPE	НП; ПРП; ВД; КЦП/ФЗМ	Гидрология, климат, рост растений, биогенные вещества, транспорт наносов	Открытость, много встроенных моделей, гибкость	
EPIC	ПЛ; управление	Сток, рост растений, эрозия, биогенные вещества		Слишком крупный пространственный масштаб
ECOMAG	НП; РПП; ФЗМ	Гидрология, расчет консервативных загрязнителей, тяжелые металлы	Хороший гидрологический блок	Есть только расчет азота
*СБ – отдельное событие (паводок), НП – непрерывный расчет; ВД – масштаб водосбора, ПЛ – масштаб одного поля; ССП – сосредоточенные параметры, ПРП – полураспределенные параметры, РПП – распределенные параметры; ЭМП – эмпирическая, ПЭМ – полуэмпирическая, ФЗМ – физико-математическая, КЦП – концептуальная.				

Подробного анализа зарубежных моделей провести не удалось по причине закрытости публикаций, содержащих их описание. Однако следует отметить, что их использование в различных регионах России усложняется необходимостью адаптации моделей к имеющимся почвенно-климатическим условиям в каждом конкретном случае.

В России для оценки поступления биогенных веществ от сельского хозяйства в пределах водосборного бассейна Балтийского моря применяется методика, разработанная специалистами ИАЭП - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Эта методика требует сбора более подробных сведений о сельскохозяйственной деятельности на рассматриваемой территории и зависит, прежде всего, от содержания и поступления элементов питания в почву [22].

Представленная модель охватывает большое количество факторов, влияющих на формирование биогенной нагрузки на водные объекты вследствие ведения сельскохозяйственной деятельности. Однако влияние факторов, учитывающих физические параметры почвенного состояния, в том числе глубину залегания уплотненного слоя, не в полной мере раскрыты и учтены, что позволяет провести научные исследования по уточнению влияния почвенного уплотнения на вынос биогенных элементов при возделывании продукции растениеводства.

Заключение. В результате проведения исследований разработана схема движения биогенных веществ в условиях возделывания растениеводческой продукции на полях сельскохозяйственного назначения. Предложен ряд показателей, влияющих на формирование выноса азота и фосфора из пахотного горизонта при возделывании растениеводческой продукции, а также уравнения, позволяющие рассчитать количество свободного азота и фосфора, образуемые в почве после внесения с учетом процессов расхода.

Разработано уравнение расчета потенциала выноса азота и фосфора в зависимости от глубины залегания уплотненного слоя и значений скорости фильтрации почвы, которое позволяет оценить возможное количество выносимого азота и фосфора с полей под культурными растениями. По разработанному уравнению проведен имитационный расчет получаемых значений (по азоту), в соответствии с которым диапазон значений выноса составил от 1,03 кг/сут до 47,7 кг/сут с одного гектара.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Брюханов А.Ю. Актуальность агроэкологии будет расти // Сельскохозяйственные вести. 2022. №3. С. 4-8 URL: https://agri-news.ru/zhurnal/2022/3-2022/aktualnost-agroekologii-budet-rasti/

2 Попов В. Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Инженерные методы решения проблем устойчивого развития сельхозпроизводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 4. С. 4-8. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16752913

3 Попов В. Д., Федоренко В. Ф., Брюханов А. Ю. Приоритеты экологического развития животноводства России и пути их реализации // Техника и оборудование для села. 2020. № 12(282). С. 2-5. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-12-2-5

4 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

5 Mancuso G., Bencresciuto G., Lavrnić S., Toscano A. Diffuse water pollution from agriculture: A review of nature-based solutions for nitrogen removal and recovery // Water. 2021. Vol.13 (14), 1893. https://doi.org/10.3390/w13141893

6 Waseem M., Mani N., Andiego G., Usman M. A review of criteria of fit for hydrological models // International Research Journal of Engineering and Technology. 2017. Vol. 04 (11). P. 1765-1772. URL: https://www.irjet.net/archives/V4/i11/IRJET-V4I11321.pdf

7 Кондратьев С. А., Шмакова М. В. Детерминированно-стохастическое моделирование массопереноса в системе водосбор-водоем // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11. № 4. С. 55-65. https://doi.org/10.7868/S207366731804007X
8 Джабборов Н. И., Савельев А. П., Добринов А. В., Захаров А.М., Жуйков И.И. Моделирование и прогнозирование выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий в зависимости от агрофизических свойств почвы // Инженерные технологии и системы. 2024. № 34(1). С. 101-114. https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.101-114
9 Сухановский Ю. П., Прущик А. В., Вытовтов В. А., Титов А. Г. Применение метода дождевания для исследования выноса из почвы биогенных веществ и тяжелых металлов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4(388). С. 363-366. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_4_363
10 Кудрявцев А. Е. Связь между агрофизическими свойствами и содержанием подвижных элементов питания в пахотных почвах Уймонской долины // Агрофизика. 2018. № 2. С. 14-21. https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.02.03
11 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. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-4117-14-32
12 Машуков Х.Х., Реутова Т.В., Жинжакова Л.З. и др. Сопоставительный анализ грозовой активности, интенсивности конвективного процесса и содержания связанного азота в сопутствующих осадках // Глобальная электрическая цепь: Матер. Второй Всеросс. конф. (Борок, 05-09 октября 2015 г.) Борок: Филигрань. 2015. С. 85-86. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25557075
13 Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометиздат. 1993. 274 с.
14 Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3(35). С. 26-36. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22111832
15 Hofman G., Cleemput O. Soil and Plant Nitrogen. Paris: International Fertilizer Industry Association. 2004. 48 p.
URL: https://www.researchgate.net/publication/265247400_Soil_and_Plant_Nitrogen
16 Diffuse Double Layer: Concept, Properties and Shortcomings. Soil Colloids // Soil Management India. [Электронный ресурс.] URL: https://www.soilmanagementindia.com/soil-colloids/diffuse-double-layer-concept-properties-and-shortcomings-soil-colloids/1922 (дата обращения 13.02.2025)
17 Ясинский Н. С., Даценко Ю. С. Закономерности формирования речного стока фосфора для целей гидрологического моделирования // Природообустройство. 2018. № 1. С. 25-33. https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-25-33
18 Лапа В. В., Емельянова В. Н., Леонов Ф. Н., Рак М. В., Золотарь А. К., Шибанова И. В., Брилев М. С., Юргель С. И., Бородин П. В. Система применения удобрений: учебное пособие / под науч. ред. В. В. Лапы. Гродно: ГГАУ. 2011. 416 с. URL: https://elib.ggau.by//handle/123456789/1357
19 Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. Коллективная монография / под науч. рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН. 2020. 512 с. EDN: CBLCTD
20 Яковлева Л.В. Миграция оснований в дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России. СПб.: ВИЗР. 2013. 106 с.
21 Li S., Zhuang Y., Zhang L., Du Y., Liu H. Worldwide performance and trends in nonpoint source pollution modeling research from 1994 to 2013: A review based on bibliometrics //

Journal of Soil and Water Conservation. 2014. Vol. 69. P. 121A-126A. https://doi.org/10.2489/jswc.69.4.121A
22 Задонская О.В., Брюханов А.Ю., Обломкова Н.С. Сравнительный анализ применения различных методов оценки поступления азота и фосфора от сельского хозяйства в бассейне реки Нарвы // АгроЭкоИнженерия. 2022. №1(110). С. 142-155. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-142-154

REFERENCES

1 Briukhanov A. Yu. Agroecology will become more and more important. Sel'skohozyajstvennye vesti = Agricultural News. 2022;3:4-8. (In Russ). URL: https://agri-news.ru/zhurnal/2022/3-2022/aktualnost-agroekologii-budet-rasti/
2 Popov V. D., Maksimov D.A., Bryukhanov A. Yu. Engineering methods of solving problems of sustainable development of agricultural production. Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies. 2011;4:4-8. (In Russ). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16752913
3 Popov V. D., Fedorenko V. F., Bryukhanov A. Yu. Priorities for the environmental development of animal husbandry in Russia and ways of their implementation. Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020;12(282):2-5. (In Russ). https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-12-2-5
4 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
5 Mancuso G., Bencresciuto G., Lavrnić S., Toscano A. Diffuse water pollution from agriculture: A review of nature-based solutions for nitrogen removal and recovery. Water. 2021;13 (14), 1893. (In Eng.) https://doi.org/10.3390/w13141893
6 Waseem M., Mani N., Andiego G., Usman M. A review of criteria of fit for hydrological Models. International Research Journal of Engineering and Technology. 2017;04 (11): 1765-1772. (In Eng.) URL: https://www.irjet.net/archives/V4/i11/IRJET-V4I11321.pdf
7 Kondratyev S. A., Shmakova M. V. A deterministic-stochastic modeling of mass transfer in the catchment-reservoir system. Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika = Fundamental and Applied Hydrophysics. 2018;11(4): 55-65. (In Russ)
https://doi.org/10.7868/S207366731804007X
8 Jabborov N.I., Savelyev A.P., Dobrinov A.V., Zakharov A.M., Zhuikov I.I. Modeling and forecasting the removal of biogenic elements from agricultural lands depending on the soil agrophysical properties. Inzhenernye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems. 2024;34(1):101-114. (In Russ.) https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.101-114
9 Sukhanovskii Yu. P., Prushchik A. V., Vytovtov V. A., Titov A. G. Application of rainfall simulation method to study solute losses from the soil. Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal. 2022;4(388): 363-366. (In Russ) https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_4_363
10 Kudryavtsev A. Ye. Interaction between agrophysical properties and content of nutrients in arable soils of the Uymon Valley. Agrofizika = Agrophysica. 2018;2:14-21. (In Russ). https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.02.03
11 Zakharov A.M., Murzaev E.A., Komoedov A.D., Ivanov D.Yu. Theoretical background for determining the occurrence depth and size of compacted soil layer. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2023; 4(117): 14-32 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-4117-14-32

12 Mashukov Kh.Kh., Reutova T.V., Zhinzhakova L.Z. et al. Comparative analysis of thunderstorm activity, intensity of convective process and bound nitrogen content in associated precipitation. In: Global Electric Circuit: Proc. 2nd All-Russian Conf. (Borok, 05-09 October 2015) Borok: Filigran. 2015:85-86 (In Russ.) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25557075
13 Khrisanov N.I., Osipov G.K. Management of water bodies eutrophication. Saint Petersburg: Gidrometizdat. 1993. 274 p. (In Russ.)
14 Filin V.I. Yield programming: from idea to theory and technologies of crop cultivation. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2014;3(35):26-36. (In Russ). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22111832
15 Hofman G., Cleemput O. Soil and Plant Nitrogen. Paris: International Fertilizer Industry Association. 2004. 48 p. (In Eng.) URL: https://www.researchgate.net/publication/265247400_Soil_and_Plant_Nitrogen
16 Diffuse Double Layer: Concept, Properties and Shortcomings | Soil Colloids // Soil Management India. [online] URL: https://www.soilmanagementindia.com/soil-colloids/diffuse-double-layer-concept-properties-and-shortcomings-soil-colloids/1922 (accessed 13.02.2025)
17 Yasinsky N. S., Datsenko Yu. S. Regularities of formation of river flow phosphorus aimed at hydrological simulation. Prirodoobustrojstvo = Nature Management. 2018; 1: 25-33. (In Russ). https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-25-33
18 Lapa V. V., Emelyanova V. N., Leonov F. N., Rak M. V., Zolotar A. K., Shibanova I. V., Brilev M. S., Yurgel S. I., Borodin P. V. System of fertiliser application: textbook. Lapa V. V. (sci. ed.) Grodno: GSAU. 2011. 416 p. (In Russ) URL: https://elib.ggau.by//handle/123456789/1357
19 Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions. Collective monograph. Danilov-Danilyan V.I. (sci. ed.). Moscow: Russian Academy of Sciences. 2020. 512 p. (In Russ) EDN: CBLCTD
20 Yakovleva L.V. Migration of bases in sod-podzolic soils of North-West Russia. Saint Petersburg: VIZR. 2013. 106 p. (In Russ).
21 Li S., Zhuang Y., Zhang L., Du Y., Liu H. Worldwide performance and trends in nonpoint source pollution modeling research from 1994 to 2013: A review based on bibliometrics. Journal of Soil and Water Conservation. 2014;69:121A-126A. (In Eng.) https://doi.org/10.2489/jswc.69.4.121A
22 Zadonskaya O.V., Briukhanov A.Yu., Oblomkova N.S. Comparative application analysis of different methods for assessing the agricultural nitrogen and phosphorus inputs in the Narva River basin. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2022;1(110):142-155. (In Russ). https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-142-154

Об авторах	**About the authors**
Захаров Антон Михайлович, канд. техн. наук; ведущий 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, Фильтровское ш., 3) e-mail: zamsznii@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3501-	**Anton M. Zakharov,** Cand. Sc. (Engineering), leading researcher, Department of Agroecology in Plant Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634 Russia) e-mail: zamsznii@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3501-0543.

054	
Мишанов Алексей Петрович, старший 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, Фильтровское ш., 3) e-mail: amishanov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9838-5508.	**Alexey P. Mishanov,** senior 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: amishanov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9838-5508.
Мурзаев Евгений Александрович, 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, Фильтровское ш., д. 3) e-mail: murzaev.e.a@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5143-7665.	**Evgeniy A. Murzaev,** 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.
Заявленный вклад авторов А.М. Захаров – научное руководство, формулирование цели исследований, составление выводов. А.П. Мишанов – моделирование процесса, расчёт и оценка показателей, составление выводов. Е.А. Мурзаев – анализ литературных источников, формирование структуры статьи.	**Authors' contribution** A.M. Zakharov – scientific supervision, formulating the purpose of research, drawing up conclusions. A.P. Mishanov – process modeling, calculation and evaluation of indicators, drawing up conclusions. E.A. Murzaev – literature analysis, article structuring
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
Статья поступила в редакцию: 19.02.2025	**Received:** 19.02.2025
Одобрена после рецензирования: 21.04.2025	**Approved after reviewing:** 21.04.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 631.611(470); 631.314 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-83-99

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ПОЧВОЙ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛУБЯНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Андрей Васильевич Кудрявцев[1]✉, Филипп Леонидович Блинов[2], Антон Сергеевич Фирсов[3], Вячеслав Викторович Голубев[4]

Тверская государственная сельскохозяйственная академия, инженерный факультет, кафедра технологических и транспортных машин и комплексов, Тверь, Россия

[1]✉akud@tvgsha.ru, ORCID: 0000-0001-8341-0467

[2] fblinov@tvgsha.ru, ORCID: 0000-0001-9557-4901

[3] sevenrom777@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3875-2649

[4]vgolubev@tvgsha.ru, ORCID: 0000-0002-6421-6658

Аннотация. По данным Росстата на сегодняшний день зарегистрировано порядка 4,4 млн. га залежных земель, обусловленных рядом экономических проблем в сельскохозяйственном производстве. Однако разработка рабочих органов сельскохозяйственных машин, отвечающих предъявляемым требованиям при вводе залежных земель, остаётся на стадии апробации. Следовательно, проектирование и испытание инновационных рабочих органов с научно-обоснованными параметрами и режимами работы, обеспечивающих качественную обработку почвы при вводе залежных земель, является актуальной задачей. Цель исследования – оценка эффективности влияния различных вариантов обработки почвы при вводе залежных земель на изменение качественных характеристик почвенного горизонта для последующего возделывания лубяных сельскохозяйственных культур. Используя теоретические методы моделирования процесса деформации объекта обработки при взаимодействии с инновационными активными и пассивными рабочими органами, обоснованы конструктивные параметры и режимы работы ножей, цепей и дисков с учётом требований к качеству выполнения технологических процессов. Кинематическими и динамическими методами, а также проведением прочностных расчётов обоснованы основные параметры активного рабочего органа для фрезерования – с установленными ножами длиной 130 мм на дисках диаметром 660 мм, создающие на приводном валу крутящий момент 13,67 Н·м. В соответствии с методами математического планирования эксперимента выполнены лабораторно-полевые исследования. Экспериментально подтверждается, что при угловой скорости в диапазоне 90-140 $с^{-1}$, подаче на рабочий орган 0,20 м, почва с удельным сопротивлением смятию $70 \cdot 10^3$ $Н/м^3$ и глубиной обработки до 0,2 м изменяет исходное значение плотности до 1,25-1,27 $г/см^3$. Полученное значение на глубине семенного ложа – оптимальное для льна-долгунца, ярового рапса и технической конопли. Расчётные значения кинематического показателя λ=1,1-1,2, скорости агрегата 1,8-1,9 м/с, оборудованного инновационными рабочими органами, обеспечивают создание оптимальной плотности до 1,25-1,27 $г/см^3$ в сравнении с полусферическими и плоскими дисками при подготовке почвы под посев мелкосеменных культур.

Ключевые слова: ввод залежи, активный рабочий орган, обработка почвы, лубяные культуры.

Для цитирования: Кудрявцев А.В., Блинов Ф.Л., Фирсов А.С., Голубев В.В. Результаты исследования взаимодействия инновационного рабочего органа с почвой залежных земель при возделывании лубяных сельскохозяйственных культур // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 83-99 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-83-99

Research article
Universal Decimal Code 631.611(470); 631.314

RESEARCH RESULTS OF THE INTERACTION BETWEEN AN INNOVATIVE WORKING TOOL AND FALLOW SOIL IN THE CULTIVATION OF BAST FIBRE CROPS

Andrey V. Kudryavtsev[1✉], Philip L. Blinov[2], Anton S. Firsov[3], Vyacheslav V. Golubev[4]

Tver State Agricultural Academy, Faculty of Engineering, Department of Technological and Transport Machinery and Complexes, Tver, Russia

[1✉]akud@tvgsha.ru, ORCID: 0000-0001-8341-0467

[2] fblinov@tvgsha.ru, ORCID: 0000-0001-9557-4901

[3] sevenrom777@yandex.ru, ORCID: [3]0000-0003-3875-2649

[4]vgolubev@tvgsha.ru, ORCID: [4]0000-0002-6421-6658

Abstract. According to the Federal State Statistics Service, approximately 4.4 million hectares of fallow land have been registered to date. This figure can be attributed to several economic problems in agricultural production. The development of working tools of agricultural machines capable of working on fallow lands is still at the approving stage. An urgent task is to design and test innovative working tools with research-backed parameters and operating modes. These would ensure high-quality tillage when returning fallow land to circulation. The aim of the study was to check how various tillage options in this process influence the change in soil horizon quality for the later cultivation of bast fiber crops. The study applied theoretical methods of modeling the deformation of the tilled object when it interacts with innovative active and passive working tools. The study justified the design parameters and operating modes of knives, chains, and disks. The study took into account the quality requirements of technological processes. The study justified the main parameters of an active working tool for rotary tilling by kinematic and dynamic methods, and calculations of strength. The working tool had the knives 130 mm long installed on discs with the diameter of 660 mm, creating a torque of 13,67 Nm on the drive shaft. The performed laboratory and field studies complied the methods of mathematical planning of an experiment. The experiments confirmed that at an angular velocity in the range from 90 to 140 s^{-1} and "soil supply" of 0,20 m to the working tool, the soil with a specific crushing resistance of 70·103 N/m^3 and a tillage depth of up to 0,2 m changes the initial density value to 1,25-1,27 g/cm^3. The obtained value at the depth of the seedbed is optimal for flax, spring rape and technical hemp. The calculated values of the kinematic index λ = 1,1-1,2, the speed of the tractor-implement system of 1,8-1,9 m/s, equipped with innovative working tools, ensure the creation of an optimal density of up to 1,25-1,27 g/cm^3 in comparison with hemispherical and flat disks when preparing the soil for small-seed crops sowing.

Keywords: fallow land, return into circulation, active working tool, tillage, bast fiber crops.

For citation: Kudryavtsev. A.V., Blinov. Ph. L., Firsov A.S., Golubev V.V. Research results of the interaction between an innovative working tool and fallow soil in the cultivation of

bast fiber crops. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 83-99 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-83-99

Введение. В последние десятилетия Россия ускоренными темпами наращивает производство растениеводческой продукции. Вместе с тем, в большей степени реализация касается зерновых сельскохозяйственных культур. Как указывается в резолюции форума «Научное обеспечение продовольственной безопасности в условиях глобальных вызовов», проходившего 10 октября 2024 года: «…для выполнения поставленных Президентом страны задач по увеличению продукции не менее, чем на 25 процентов и её экспорта в полтора раза, требуется разработка и реализация конкретных мер по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса, в том числе на основе повышения эффективности научных исследований, содержание и результаты, которых, должны максимально учитывать нарастающие вызовы, риски и угрозы»[30].

Цель исследования – оценить эффективность влияния различных вариантов обработки почвы при вводе залежных земель на изменение качественных характеристик почвенного горизонта для последующего возделывания лубяных сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы. На основании аналитических исследований предложена модель технологических процессов и технических средств (рис. 1) для повышения урожайности возделываемых, стратегически важных сельскохозяйственных культур, обеспечивающих секторное решение актуального вопроса ввода залежных земель и ресурсосбережение, в том числе с применением элементов цифрового сельского хозяйства [1, 2, 3].

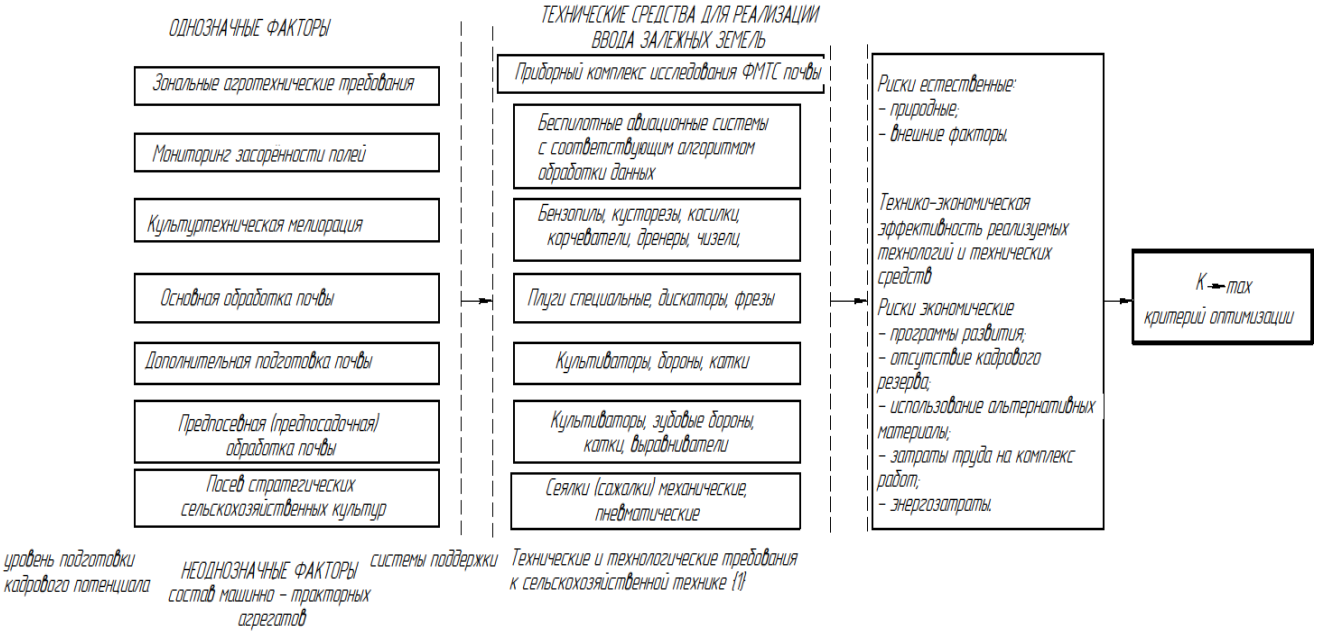


Рис. 1. Концептуальная схема исследования технологий и технических средств при вводе залежных земель

Fig. 1. A conceptual scheme for the study of technologies, machines and equipment for the return of fallow lands in circulation

[30] Материалы форума «Научное обеспечение продовольственной безопасности в условиях глобальных вызовов». М.: РАН. 2024. 36 с. [Электронный ресурс] URL: https://vniioz.ru/news/doc/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B%20%D1%84%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B0.pdf

На основании примера проектирования и использования в производственных условиях активных рабочих органов – вертикальных почвообрабатывающих фрез, косилок с различными рабочими органами (шарнирными, цепными и др.) выполнена соответствующая апробация на отдельном рабочем органе. Ротационно-дисковые активные режущие аппараты с вертикальной осью вращения применяются в машинах для скашивания в труднодоступных местах при вводе залежных земель, в газонных косилках, машинах для среза высокоурожайных сеяных трав, а также удаления высокостебельной сорной растительности на примере борщевика Сосновского, тростника, топинамбура и др. Ротационно-барабанные режущие аппараты с горизонтальной осью вращения используют в машинах для уборки кормовых культур с измельчением растений, ботвы картофеля, высокостебельных сорных растений, к которым отнесены тростник, камыш, инвазивный вид – борщевик Сосновского и перспективная на сегодняшний день сельскохозяйственная культура – мискантус Гигантский. Следовательно, на основании ранее выполненных теоретических исследований предложена инновационная конструкция рабочего органа для совмещения двух технологических процессов – скашивания наземной растительности и обработки почвы на глубину до 10-12 см (рис. 2).

Рис. 2. Инновационный рабочий орган

1 – режущий элемент для кошения; 2 – режущий элемент для обработки почвы и деформации корневой системы; 3 – элементы крепления

Fig. 2. Innovative working tool

1 – cutting element for mowing; 2 – cutting element for tillage and deformation of the root system; 3 – fixing elements

Предложенная конструкция инновационного рабочего органа реализована на комбинированной машине НФК-1,0 для введения залежных земель в сельскохозяйственный севооборот [4]. Работа предложенной конструкции осуществляется при креплении рабочего органа на энергетические средства класса 0,2-0,6 – МБ-23Н, Агромаш-30 ТК, Т – 25 А, Уралец 224 и др.

Выполнение прочностных расчётов предложенной инновационной конструкции рабочего органа, используемого при совмещении технологических процессов скашивания с измельчением корневой системы, находящейся в почве, применяется методика, рекомендуемая в [5]. Рассчитать показатель кинематического режима ротора с установленными на нём ножами (тросами, цепями, цепями с режущими элементами и др.) можно с учётом следующих показателей. Одним из показателей, характеризующих

движение рабочих органов ротационных машин, является показатель кинематического режима работы «λ».

Данный показатель определяется из выражения (1)

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V_M}, \quad (1)$$

где $V_м$ – скорость движения машины, м/с;

ω – угловая скорость ножа, $с^{-1}$.

Значение угловой скорости ножа на начальном этапе не известно из условий сформулированной задачи. Следовательно, определить его возможно по выражению (2), исходя из условия, чтобы скорость резания в момент выхода ножа из высокостебельной сорной растительности была равна или превышала минимальную скорость резания:

$$\omega \geq \frac{V_{min} \cdot Z + (2 \cdot \pi + Z) \cdot V_M}{R \cdot Z}, \quad (2)$$

где Z – количество режущих элементов на диске, шт.;

V_{min} – минимальная скорость резания, (принимается 45 м/с);

R – радиус вращения точки конца режущего аппарата, мм;

V_M – скорость движения машины, (принимается 2,5 м/с).

На основании результатов патентных исследований и анализа конструкторских решений установлено, что рекомендуемое значение диаметра ротора с ножами составляет в среднем 500-660 мм.

Расчётный показатель кинематического режима ротора составил 25,28. Для обоснования поступательной скорости перемещения режущего аппарата следует определить путь, пройденный сконструированным рабочим органом. Данный термин является «подачей на нож». Определить значение подачи h, м, т.е. пути, проходимого машиной за один ход ножа, можно по выражению (3)

$$h = \frac{V_M \cdot 2 \cdot \pi}{\omega \cdot Z}. \quad (3)$$

Следовательно, расчётное значение подачи на нож составляет 0,16 м. На следующем этапе необходимо определить конструктивные размеры ножа и выбрать значения согласно ГОСТ[31, 32]. Затем следует определить радиус диска, на котором устанавливаются ножи или иные режущие элементы.

Основным расчётным размером ножа является длина его рабочей части $l_н$, зависящая от максимальной подачи h_{max} на нож за один оборот диска. От подачи зависит продольный отгиб диском стеблей растений; поэтому, чтобы предотвратить возможность такого отгиба, необходимо выполнить условие (4)

$$h_{max} < l_H, \quad (4)$$

где h_{max} – максимальная подача за один ход ножа, мм;

l_H – длина рабочей части ножа, мм.

Принимая, что расчётная подача будет равна максимальной, следует, что длина рабочей части ножа составит $l_Н$ =60 мм. Общая длина ножа l, мм, определяется из выражения

[31] ГОСТ 158-74 Сегменты, пластины противорежущие и полосы ножевых режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов. 1974. 12 с. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200023820 (дата обращения 04.11.2024 г.)

[32] ГОСТ 28722-2018 Техника сельскохозяйственная. Косилки и косилки-плющилки. Методы испытаний. М.: Стандартинформ. 2019. 35 с. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200164526 (дата обращения 04.11.2024 г.)

$$l = l_H + l_0, \quad (5)$$

где l_0 – длина ножа, необходимая для его шарнирного соединения с диском, равная 50-70 мм.

По полученному расчётному значению общей длины выбираются размеры ножа.

Из расчётов и значений ГОСТ видно, что l – 230 мм, s (толщина ножа) – 5 мм. Радиус диска (основания) для установки рассчитанного ножа принимается не менее 250 мм. Для осуществления качественного среза и снижения количества двойных проходов, с учётом расчётной зоны перекрытия режущих элементов, следует выполнить анализ взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом. При работе двух и многодисковых косилок, оснащённых режущими устройствами или нескольких количествах проходов необходимо, чтобы траектории режущих элементов соседних дисков несколько перекрывали одна другую, чтобы не было несрезанных участков травы. Значение перекрытия режущих элементов в многодисковых косилках определяют по выражению (6) [6]

$$\Delta = 2 \cdot R \cdot \left(1 - \frac{V_M}{\omega}\right)^2 - \left(\left(1 - \frac{V_M}{\omega}\right)^4 - \left(\frac{\pi \cdot V_M}{\omega \cdot Z}\right)^{\frac{1}{2}}\right), \text{ м.} \quad (6)$$

На основании известных значений радиуса, поступательной скорости МТА, угловой скорости и количества ножей на режущих аппаратах, определим значение перекрытия. Величина перекрытия по выполненным теоретическим расчётам составила 300 мм. Данная величина приемлема для значительных сельскохозяйственных площадей – более 1,0 га. Однако она является высокой для малогабаритных косилок, агрегатируемых с мотоблоками, тракторами класса 0,6, которые проводят обработку краевых площадей полей, граничащих с лесополосами, труднодоступных участков. Следовательно, принимается, что перекрытие на участках закрытого и открытого грунтов следует снизить до двух раз и принять в пределах 150 мм.

Затем следует определить площадь, срезаемую ножом за один оборот диска. Для определения площади, срезаемой ножом за один оборот диска, используется выражение (7)

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_M \cdot R \cdot (\cos\theta_K - \cos\theta_H)}{\omega \cdot Z}, \quad (7)$$

где $\theta_к$ и $\theta_н$ – углы соответственно начала и конца резания, град., определяемые по выражению (8);

$$\theta_H = \arccos\left(\frac{h}{2 \cdot R}\right) - \left(\frac{\pi \cdot V_M}{\omega \cdot Z \cdot \left(h + \frac{2 \cdot V_M}{\omega}\right)}\right) + \pi, \quad (8)$$

где $\theta_K = 3\pi - \theta_H$.

Площадь, срезаемая ножом за один оборот диска, оснащённого изогнутой пластиной, составила 0,08 м^2. Для визуальной оценки теоретического взаимодействия режущего аппарата с обрабатываемым материалом необходимо построить траектории движения двух ножей, следующих один за другим. Используется графический метод построения траектории лезвия ножа, который заключается в следующем. Для построения траектории абсолютного движения конца лезвия ножа, неподвижную систему координат располагают следующим образом: начало координат размещают в центре ротора и за положительное направление оси X принимают направление поступательного перемещения машины, ось Y направляют вертикально вверх через центр ротора. В выбранном масштабе вычерчивается окружность радиусом R и r_0. От исходного

положения (оси ротора) следует отложить в масштабе L в направлении движения машины. Для определения L используется формула:

$$L = V_M \cdot T = V_M \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{\omega}\right) = 0{,}16, \text{ м.}$$

Отмеченное расстояние L делим, как и окружность, радиусом R на 12 одинаковых участков, точки нумеруем. Из точек на окружности проводим тонкие линии параллельно горизонтальной оси, а затем из точек окружности, отмечаем точки, по которым строится траектория (в частности циклоида).

На следующем этапе рассчитывается рабочая ширина захвата режущего аппарата, с учётом количества роторов и значения перекрытия режущих элементов при деформации корнеобитаемого слоя на глубине 100-120 мм. С учётом исходных данных, для промышленных косилок, количество дисков на косилке – 2 или 3 штуки. Также определено, что ширина захвата ротационной косилки или модернизированной фрезы составит сумму диаметров ножей с вычетом суммы их взаимных перекрытий, в 0,3 м.

Для обоснования рабочего органа ножа, установленного на режущей пластине и имеющей возможность изменения не только глубины обработки почвы, в зависимости от категории залежных земель и возраста высокостебельной сорной растительности, но и радиус расстановки почвообрабатывающих ножей, в соответствии с конструктивными особенностями (рис. 2), выполнены теоретические расчёты в соответствии с анализом его кинематики и динамики.

Теоретическое обоснование рабочего органа выполнено по материалам Чаткина М.Н., исследовавшего процесс кинематики и динамики ротационных винтовых почвообрабатывающих рабочих органов [7]. С учётом исходных данных определим крутящий момент ротора фрезы с вертикальной осью вращения с кинематической схемой, составленной по методике [7]. По классификации, предложенной Безруковым А.В., разработанная и изготовленная конструкция рабочего органа является односторонним изогнутым ножом [8].

Следовательно, можно определить кинематический режим работы по выражению (9)

$$\lambda = \frac{n1 \cdot L_{H\Phi}}{V_M}, \tag{9}$$

где $n1$ – частота вращения диска с ножами, об/мин;

$L_{H\Phi}$ – длина ножа фрезы, м;

V_M– поступательная скорость машины, м/с.

С учётом требований к работе ножа, исключая работу затылочной частью, кинематический режим работы должен быть меньше единицы. Работа предложенной конструкции ножа, установленного на рабочий орган косилки, характеризуется подачей на нож, глубиной обработки почвы, в зависимости от глубины залегания корневой системы.

Левый и правый рабочий орган для кошения с частичной деформацией почвы в период подрезания почвенной стружки во взаимодействии с почвой на глубину до 10-12 см приводит к изменению сил, а также их моментов. В том числе создаваемые моменты влияют на систему привода и непосредственно остов машины, а также механизмы агрегатирования – навесное оборудование, крепление.

Результаты. Очевидно, что наличие колебаний от крутящего момента, вызванных соответствующей частотой вращения рабочего органа, вибрация машины приводит к неравномерной деформации вследствие отклонения в сравнении с заданной глубиной

обработки почвы. Данные факторы значительно влияют на качество технологического процесса функционирования рабочего органа. Поскольку предполагается, по предварительной оценке, энергоёмкости использование пары рабочих органов, то для данного случая ширина захвата незначительная, т.е. в пределах 1,1-1,3 м, что соответственно приводит к меньшей уравновешенней системе.

При работе двух навстречу вращающихся рабочих органов, основной из задач является оценка значения неравномерной угловой скорости на валу ротора [7]. Как указывалось ранее, объектом обработки являются дерново-подзолистые почвы, засорённые борщевиком Сосновского или мелколесьем с глубиной корневой системы от 10 см. Значение твёрдости по результатам многолетних исследований составило в пределах 0,85-1,1 МПа, в то время как значение плотности почвы находится в пределах 1,7-1,9 г/см^3. Определить зависимость крутящего момента от значения углов поворачивания возможно путём предварительного определения последовательности расположения парных рабочих органов по соседним секциям, за счёт внедрения их в почвенный профиль. При этом учитывается значение рабочего угла резания и величины максимального крутящего момента на приводном валу рабочих органов.

По предварительным графическим расчётам, значение рабочего угла рабочего органа φ (град.) при максимальной глубине обработки $h\ max$ = 10 см соответствует углу поворота 170°. В данном случае крутящий момент на приводном валу определится исходя из выражения [9]

$$M_{кр} = m_н r S(q_н hb + k_{отб} hb\gamma \frac{V_0^2}{r}), \quad (10)$$

где m – количество рабочих органов, шт. $m_н$= 2;

r – радиус максимально удалённой точки рабочего органа, г =0,250 м;

S – подача на рабочий орган, S=0,020 м;

q_n – удельное сопротивление смятия почвы, $q_n = 70 \cdot 10^3$ Н/$м^3$;

h – глубина обработки; h = 0,2 м;

b – ширина рабочего органа, b = 0,04 м;

$k_{отб}$ – коэффициент отбрасывания, $k_{отб}$=0.85 $Н \cdot с^2/м^4$;

γ – плотность почвы, $кг/м^3$, $\gamma = 1700$ $кг/м^3$;

V_0 – окружная скорость рабочего органа, м/с, $V_0 = 6{,}75$ $м/с$

Подставляя значения принятых параметров в формулу (10), получим

$$M_{кр} = 13{,}67\ Н \cdot м$$

Затем, используя эмпирическую зависимость значения приводного момента за один ход, применительно для изогнутых рабочих органов и полученные значения $M_{кр}$ строим расчётную графическую зависимость (рис. 3) [10].

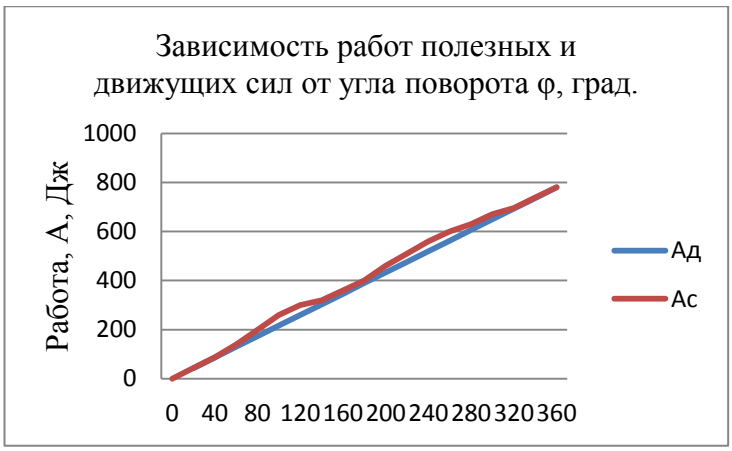


Рис. 3. Графическая зависимость работы от полезных сил сопротивления и движущих сил
Fig. 3. Graphical dependence of work on useful resistance forces and driving forces

Учитывая данные построенных графических зависимостей, путём последовательного сложения ординат диаграмм, построенных с угловым сдвигом, равным угловому шагу воздействия на почву рабочих органов β, строится суммарный график крутящего момента $M_{кр}$. Из полученной графической зависимости определяются минимальное и максимальное значения амплитуды крутящего момента на приводном валу рабочего органа. Из полученных расчётных зависимостей определено, что суммарный минимальный крутящий момент составляет $M^{\varepsilon}_{кр.min} = 27{,}34\ Н \cdot м$ *и* $M^{\varepsilon}_{кр.max} = 168{,}6\ Н \cdot м$ соответственно. Значение крутящего момента на приводном валу определится как среднее между значениями максимального и минимального крутящих моментов. Следовательно, можно определить, что

$$M_{кр.ср} = 97{,}9\ Н{\cdot}м.$$

Путём графического интегрирования диаграммы моментов крутящих, строится диаграмма полезных сил $A_с = A_с(\varphi)$. Построение диаграммы работ движущихся сил $A_д = A_д(\varphi)$ производим с допущением, что движущий момент на приводном валу, передаваемый через вал отбора мощности трактора постоянный по времени, тогда значение $M_д = const$. В таком случае полученная графическая зависимость будет иметь наклон прямой от угла поворота при φ = 0-360 град., в то время, как расчётный график по полученным значением выглядит в виде зависимости (рис. 4).

Масштаб диаграммы работ определяется из соотношения

$$\mu_A = \mu_\varphi \mu^{\varepsilon}_{кр} h_M, \qquad (11)$$

где h_M −значение полюсного расстояния, h_M=*100мм,*

откуда

$$\mu_A = 5{,}05,\ Дж/мм.$$

Определив расчётным путём значение ординаты для работы сил полезного сопротивления из ординаты работы движущей силы для каждого положения рабочего органа возможно построение диаграммы изменений кинетической энергии при различных значения поворотов $\Delta A = \Delta A(\varphi)$ (рис. 4).

Рис. 4. Зависимость изменения кинетической энергии от угла поворота рабочего органа
Fig. 4. Dependence of the kinetic energy variation on the turning angle of the working body

Выбираем масштаб построения $\mu_{\Delta T} = 1{,}01$ Дж/мм и вычисляем значения остальных ординат по формуле

$$У_{\Delta m} = \frac{У_{Ti}\mu_A}{\mu_{\Delta T}}, \text{ мм.} \quad (12)$$

Результаты расчётов сведены в таблице. По полученным данным строится зависимость изменения кинетической энергии $\Delta T = \Delta T(\varphi)$ (рис. 4).

Таблица. Кинетическая энергия на валу привода рабочих органов при различных углах поворота
Table. Kinetic energy on the drive shaft of the working bodies at different turning angles

φ, *град.*	Y_{ac}, *мм*	A_c, *Дж*	$Y_{\Delta T}$, *мм*	ΔT, *Дж*	φ, *град.*	Y_{ac}, *мм*	A_c, *Дж*	$Y_{\Delta T}$, *мм*	ΔT, *Дж*
0	0	0	0	0	180	80	399	10	10,1
20	8	46	5	5,05	200	92	454	25	25,3
40	21	101	20	2,02	220	102	505	38	38,4
60	33	162	30	3,03	240	111	555	40	40,4
80	41	207	35	35,4	260	119	591	38	38,4
100	49	242	35	35,4	280	129	646	35	35,4
120	57	283	25	25,3	300	136	677	25	25,3
140	65	323	20	20,2	320	143	717	22	22,2
160	72	359	15	15,2	340	150	447	15	15,2
					360	154	777	0	0

Следовательно, можно отметить, что при изменении значения кинетической энергии на приводном валу рабочего органа, требуется расчёт момента инерции относительно оси вращения. Для этого используем метод крутильных колебаний.

После выполнения запланированного объёма экспериментальных исследований в лабораторных условиях на почвенном канале, для выполнения расчётов по определению значений моментов инерции используется выражение:

$$J_{фб} = J_y(\frac{T_1}{T_2}), \quad (13)$$

где $J_{фб}$ *и* $J_н$ – моменты инерции рабочего органа (фреза, диск, цепи) и патрона, кг · м^2*;*

T_1 *и* T_2 – периоды крутильных колебаний для вала и рабочего органа.

В результате проведения опытов и расчетов получаем $J_{фб} = 0{,}12\ кг \cdot м^2$. Угловую скорость приводного вала можно определить из выражения

$$\omega = \sqrt{\frac{2(T_{ср} \pm \Delta T_i)}{J_{нр}}}\, u_н, \text{ мин}^{-1}, \quad (14)$$

где $T_{ср}$ – средняя кинетическая энергия механизма, Дж;

ΔT_i – изменение кинетической энергии от угла поворота, Дж;

$J_{пр}$ – приведенный момент инерции привода;

u_n – передаточное число механизмов, u_n=2.

Значение средней кинетической энергии вычисли по формуле

$$T_{ср} = \frac{J_{фб}\omega^2}{2} = 64\ Дж.$$

Из полученной диаграммы изменения угловой скорости приводного вала рабочих органов получаем минимальное и максимальное значение угловой скорости, т.е. $\omega_{min} = 90\ c^{-1}$ и $\omega_{max} = 140\ c^{-1}$. Затем определяем среднее значение угловой скорости приводного вала $\omega_{ср}$ и расчетный коэффициент неравномерности k_ω по соответствующим формулам

$$\omega_{ср} = \frac{\omega_{min} + \omega_{max}}{2} = 115,\ c^{-1},$$

$$k_\omega = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{ср}} = 0{,}43.$$

Из сравнения полученного значения k_ω с допустимым [k]=0,2 следует, что расчётное значение коэффициента k_ω превышают допустимое в 2,5 раза [10].

Таким образом, из выполненных теоретических и экспериментальных исследований работы ротационных рабочих органов установлено значительное колебание угловой скорости на валу привода, которое вызывает высокие динамические перегрузки элементов привода, непосредственно рамы и соединительного устройства, что предопределяет нарушение выполняемого технологического процесса. Одним из конструктивных решений является применение накопителя кинетической энергии для снижения эффекта дисбаланса работы ротационных рабочих органов.

Следующим этапом функционирования системы является расчёт прочности основных деталей рабочих органов с применением систем автоматизированного проектирования. Промежуточные результаты прочностных расчётов с определением эпюр напряжений позволили в системе Компас 3D-FEM отразить опасные сечения для выбора профиля ножа и материала для его изготовления.

На основании выполненных лабораторно-полевых исследований определено изменение свойств почвы на примере плотности поверхностного почвенного горизонта, определяемой по ГОСТ[33] (рис. 5). Полученные экспериментальные данные по стандартным методикам обработаны статистически с использованием программного комплекса Mathcad-Prime-3.0. По полученным данным составлено регрессионное уравнение (15)

$$\rho(D,V,\lambda) = 2{,}1 + 0{,}47V\lambda - 0{,}47V_M - 0{,}85\lambda\,, \qquad (15)$$

где ρ – плотность почвы, г/см^3;

D – расстояние до наружной точки ножей, м;

V_M – скорость перемещения, м/с;

λ – кинематический режим рабочего органа.

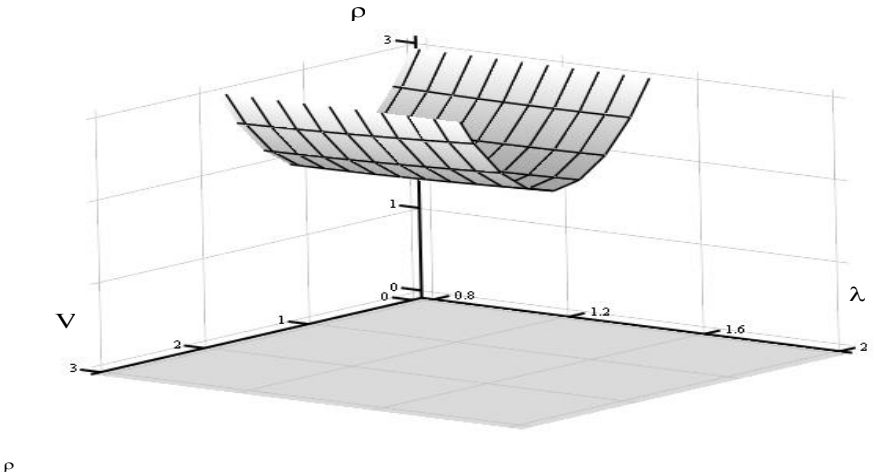


Рис. 5. График зависимости плотности поверхностного слоя почвы от режимов работы инновационного рабочего органа

Fig. 5. Graph of dependence of the surface soil layer density on the operation modes of the innovative working tool

Обсуждение. Проведённые теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что разработанный инновационный рабочий орган, совмещающий две технологические операции по скашиванию и рыхлению поверхностного горизонта почвы, положительно работает при подготовке почвы в рамках первичной культуртехнической мелиорации вводимой залежи, в том числе заросшей борщевиком Сосновского.

Установленные конструктивные недостатки предложенной конструкции, характеризующие отсутствие предохранительного устройства на приводе рабочих органов, в отличие от результатов научных исследований, отражённых в работах М.Н. Чаткина, В.Ф. Купряшкина, Н.И. Наумкина [7, 8, 9], исключены меньшей глубиной обработки почвы при реализации технологического процесса. Вместе с тем, реализация исследований осуществлена на почвах с твёрдостью меньшей, чем в работах указанных авторов, которые определяли характеристики активных рабочих органов на почвах с твёрдостью 1,65 МПа.

[33] ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Электронный ресурс] URL: https://docs.cntd.ru/document/1200094197 (дата обращения 04.11.2024 г.)

Выполненные теоретические исследования показали возможность применения дополнительных устройств для исключения выявленных недостатков его работы. При диаметре d=660 мм теоретически определена длина ножа, составляющая 130 мм, который проверен на предмет прочности. На основании качественной оценки концентраторов напряжений установлена необходимость дополнительного утолщения в зоне изгиба Г-образной пластины, что обеспечит повышение прочности рабочего органа.

Изготовленный и апробированный в лабораторно-полевых условиях рабочий орган позволил установить, на основании анализа регрессионного уравнения, что достижение оптимальной плотности почвы, которая соответствует агротехническим требованиям на посев мелкосеменных культур (лён-долгунец, яровой рапс, техническая конопля) – 1,25-1,27 г/см^3 возможно при скорости в пределах 1,0-2,0 м/с при кинематическом режиме работы λ=1,1-1,2.

Выводы. На основании выполненных аналитических исследований патентно-лицензионной информации определён сегмент рабочих органов, позволяющих осуществлять первичную культуртехническую мелиорацию для ввода залежных земель. Таким образом, установленная изогнутая пластина на нож косилки при соответствующих режимах работы позволяет осуществить рыхление почвы на глубину 100=120 мм. Как показали кинематические расчёты и экспериментальные данные, что возможно использовать разработанный рабочий орган при значении «λ» в пределах 1,1-1,2. Скорость перемещения МТА, агрегатированного с комбинированной машиной НФК-1,0, должна быть в пределах 1,8-1,9 м/с для создания оптимального значения плотности почвенного слоя, в соответствии с агротехническими требованиями.

Проведённые лабораторные исследования позволили подтвердить теоретические предпосылки возможного дисбаланса функционирования инновационного рабочего органа. Для снижения данного негативного эффекта предлагается два технических решения – применение аккумуляторов кинетической энергии или изменение угла наклона стойки в пределах 10-12° рабочего органа к поверхности горизонта в продольно-вертикальной плоскости, снизив взаимодействие с почвой в задней части рабочего органа по направлению движения МТА.

Выполненные теоретические предпосылки и полученные результаты лабораторно-полевых исследований послужили основой для проектирования макетных и опытных образцов изготовленных и апробированных совместно с ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» при проведении экспериментальных исследований в лабораторных и полевых условиях при возделывании льна-долгунца и технической конопли.

Результаты производственных испытаний отдельных моделей, опытных образцов в сравнении с серийными рабочими органами при возделывании лубяных культур подтверждены соответствующими актами внедрения на предприятиях Тверской области – УИЦ «Агротехнологический полигон» (ФГБОУ ВО Тверская ГСХА), ООО «Редкинская АПК» Конаковского района, колхоз «Путь Ленина» Кашинского района.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Трухачев В.И., Хоружий Л.И., Алексанов Д.С. и др. Зеленая экономика в контексте устойчивого развития агропромышленного комплекса: Коллективная монография в 2 томах. М.: Ай Пи Ар Медиа. 2023. Т 1. 564 с. https://doi.org/10.23682/133408

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу: монография. М.: ВИМ. 2019. 228 с. EDN: RVHGMW
3. Калинин А.Б., Смелик В.А., Теплинский И.З. Создание профилированной поверхности почвы с заданными физико-механическими параметрами при возделывании картофеля и овощей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4(60). С. 90-92. EDN: WJUMVZ
4. Кудрявцев А.В., Голубев В.В., Вавилов С.В., Туманов, И.В. Анализ режущих элементов механизированной косы по принципу бесподпорного среза при освоении залежных земель // Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: взгляд молодых ученых. Сб. науч. тр. по матер. 48-ой науч.-практ. конф. студентов и молодых учёных (Тверь, 17-19 марта 2020 г.). Тверь: ТГСХА. 2020. С. 156-158. EDN: TNITTA
5. Туманов И.В., Калинин И.С., Голубев В.В., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. Машина для удаления борщевика // Научные приоритеты в АПК: инновации, проблемы, перспективы развития. Сб. науч. тр. по матер. Межд. науч.-практ. конф. (Тверь, 22 октября 2019 г.). Тверь. ТГСХА. 2019. С. 119-124. EDN: YTCTJW
6. Класнер Г. Г., Володин Д.В. Основы теории резания лезвием // Приднепровский научный вестник. 2023. № 11(2). С. 105-108. EDN: QYDKXY
7. Чаткин М.Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов с винтовыми элементами: монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2008. 316 с. EDN: QKZLHZ
8. Безруков А. В., Наумкин Н.И., Купряшкин В.Ф. К вопросу о классификации почвообрабатывающих машин с ротационными органами как к одному из элементов преподавания специальных дисциплин // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: сб. науч. тр. Межд. науч.-техн. конф. (Саранск, 26-29 сентября 2007 г.). Саранск: ГУП РМ «Ковылкинская районная типография». 2007. С. 448-452. EDN: XYGIKT
9. Купряшкин В. Ф., Чаткин М.Н., Голованов В.В. Анализ теорий и исследований по энергетической оценке ротационных почвообрабатывающих рабочих органов // III конференция молодых ученых Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева: Научные труды (Саранск, 22-24 апреля 1998 г.) / Скотников О. И. (сост.), Платонова Л. И. (сост.), Гришаков Г. В. (отв. ред.). Часть 1. Саранск: Типография "Рузаевский печатник". 1998. 198 с. EDN: ZBBPGP
10. Булгариев Г. Г., Валиев А.Р., Пикмуллин Г.В. Анализ развития почвообрабатывающих технических средств // Машины и орудия для поверхностной обработки почвы (конструкция, теория, расчет, эксплуатация). Казань: Казанский ГАУ. 2022. С. 8-66. EDN: EJAYLS
11. Козлов И.В., Алябьев А.Ф. Исследование почвообрабатывающих дисков, совмещающих функции рабочего органа и движителя // Транспортные системы. 2020. № 3(17). С. 20-25. https://doi.org/10.46960/62045_2020_3_20

REFERENCES

1. Trukhachev V.I., Horuzhiy L.I., Aleksanov D.S. et al. Green economy in the context of sustainable development of agro-industrial complex: Collective monograph in 2 volumes. Moscow: IPR Media. 2023;1. 564 p. (In Russ.) https://doi.org/10.23682/133408

2. Izmailov A.Y., Lobachevsky Y.P., Beilis V.M., Tsench Yu.S. Innovation system of machinery and technology support of agricultural enterprises for the long term: monograph. Moscow: VIM. 2019. 228 p. (In Russ.) EDN: RVHGMW.
3. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinsky I.Z. Creation of profiled soil surface with predesigned physical and mechanical parameters for vegetables and potatoes cultivation. Izvestiya OGAU = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016;4(60):90-92. (In Russ.) EDN: WJUMVZ
4. Kudryavtsev A.V., Golubev V.V., Vavilov S.V., Tumanov I.V. Analysis of cutting elements of a mechanized scythe on the principle of a unsupported cutting during the development of fallow lands. In: Innovative approaches to the development of science and production of regions: the view of young scientists. Proc. 48th Sci. Prac. Conf. of students and young scientists (Tver, 17-19 March, 2020). Tver: TGSKhA. 2020: 156-158. (In Russ.) EDN: TNITTA
5. Tumanov I.V., Kalinin I.S., Golubev V.V., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V. Machine for removing the hogweed. In: Scientific priorities in agro-industrial complex: innovations, problems, prospects of development. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. (Tver, 22 October 2019). Tver: TGSKHA. 2019: 119-124. (In Russ.) EDN: YTCTJW
6. Klasner G.G., Volodin D.V. Fundamentals of the theory of cutting by blade. Pridneprovskiy nauchniy vestnik = Pridneprovsky Scientific Bulletin. 2023;11(2):105-108. (In Russ.) EDN: QYDKXY
7. Chatkin M.N. Kinematics and dynamics of rotary tillage working tools with screw elements: monograph. Saransk: Publishing House of Mordovia University. 2008. 316 p. (In Russ.) EDN: QKZLHZ
8. Bezrukov A.V., Naumkin N.I., Kupryashkin V.F. On the classification of tillage machines with rotary organs as one of the elements of teaching special disciplines. In: Improving the efficiency of mechanical and energy systems: Proc. Int. Sci. Tech. Conf. (Saransk, September 26-29, 2007). Saransk: Kovylkinskaya District Printing House. 2007: 448-452. (In Russ.) EDN: XYGIKT
9. Kupryashkin V. F., Chatkin M.N., Golovanov V.V. Analysis of theories and research on energy assessment of rotary tillage working bodies. In: Proceedings of III Conference of young scientists of N. P. Ogarev Mordovian State University (Saransk, April 22-24, 1998) / Skotnikov O. I. (comp.), Platonova L. I. (comp.), Grishakov G. V. (ed.). Saransk: Ruzaevsky Printer. 1998;1:198 p. (In Russ.) EDN: ZBBPGP
10. Bulgariev G. G., Valiev A.R., Pikmullin G.V. Analysis of the development of tillage equipment In: Machines and implements for surface tillage (design, theory, calculation, operation). Kazan: Kazan State Agrarian University. 2022: 8-66. (In Russ.) EDN: EJAYLS
11. Kozlov I.V., Alyabyev A.F. Investigation of tillage discs combining the functions of a working organ and a mover. Transportnye sistemy = Transport Systems. 2020;3(17):20-25. (In Russ.) https://doi.org/10.46960/62045_2020_3_20

Об авторах:	**About the authors:**
Кудрявцев Андрей Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д.7, п. Сахарово, г. Тверь, 170904, Россия	**Andrey V. Kudryavtsev,** Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, Marshal Vasilevsky Str., 7, Sakharovo Village, Tver, 170904, Russia

akud@tvgsha.ru https://orcid.org/0000-0001-8341-0467	akud@tvgsha.ru https://orcid.org/0000-0001-8341-0467
Блинов Филипп Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д.7, п. Сахарово, г. Тверь, 170904, Россия ya@melioratorbfl.ru https://orcid.org/ 0000-0001-9557-4901	**Philip L. Blinov,** Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, Marshal Vasilevsky Str., 7, Sakharovo Village, Tver, 170904, Russia ya@melioratorbfl.ru https://orcid.org/ 0000-0001-9557-4901
Фирсов Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д.7, п. Сахарово, г. Тверь, 170904, Россия sevenrom777@yandex.ru https://orcid.org/0000-0003-3875-2649	**Anton S. Firsov,** Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, Marshal Vasilevsky Str., 7, Sakharovo Village, Tver, 170904, Russia sevenrom777@yandex.ru https://orcid.org/0000-0003-3875-2649
Голубев Вячеслав Викторович д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д. 7, п. Сахарово, г. Тверь, 170904, Россия vgolubev@tvgsha.ru https://orcid.org/0000-0002-3421-6658	**Vyacheslav V. Golubev** DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, Marshal Vasilevsky Str., 7, Sakharovo Village, Tver, 170904, Russia vgolubev@tvgsha.ru https://orcid.org/0000-0002-3421-6658
Заявленный вклад авторов Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.	**Authors'contribution** All authors of this study were directly involved in its design, execution, and analytical work.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interest.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 21.01.2025	**Received:** 21.01.2025
Одобрена после рецензирования: 22.05.2025	**Approved after reviewing:** 22.05.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 631.331 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-99-117

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЛАПОВЫХ СОШНИКОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Михаил Александрович Терёхин[1]; Александр Владимирович Яшин[2✉];
Павел Алексеевич Косяков[3]; Александр Александрович Тыкушин[4],
Иван Николаевич Сёмов[5]

[1,3,4] АО «Радиозавод», г. Пенза, Россия;
[2] Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза, Россия
[5]Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

[1] m.a.terekhin@rf58.ru, https://orcid.org/0009-0002-1619-9627
[2✉] yashin.a.v@pgau.ru, https://orcid.org/0000-0002-8184-6934
[3] kosykov_pa@mail.ru
[4] a.a.tykushin@rf58.ru
[5]semiw@mail.ru

Аннотация. Основная задача лаповых сошников зерновых сеялок – равномерное распределение семян по площади рассева и по глубине. Однако в конструкции комбинированных пневматических посевных комплексов лаповые сошники чаще выполняют предпосевную культивацию почвы с внутрипочвенным внесением гранулированных минеральных удобрений. Лаповые сошники нашли широкое применение в конструкции пневматических посевных комплексов отечественного и зарубежного производства. Однако распределительные устройства большинства лаповых сошников не обеспечивают равномерного распределения минеральных удобрений по площади поля. Вследствие этого растения получают неравномерное питание, что сказывается на дружности всходов и урожайности культур в целом. Для оценки качественных показателей работы лаповых сошников комбинированного пневматического посевного комплекса разработки АО «Радиозавод» (г. Пенза), предназначенных для высева минеральных удобрений и семян ленточным способом, были проведены лабораторные исследования на почвенном канале ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ». Целью работы являлся анализ технологического процесса и определение качественных показателей работы лаповых сошников в лабораторных условиях. Особенностью конструкции испытываемых сошников является наличие сменных распределительных устройств, обеспечивающих высев в одну или две строчки. В статье представлены результаты лабораторных исследований по оценке эффективности их работы при высеве семян на различную глубину, оценке неравномерности распределения семян по площади рассева и оценке возможности работы на почвах повышенной влажности. Качественные показатели работы сошников оценивались по общеизвестным и частным методикам как расчетным способом, так и по оценке полученных всходов. Проведенные лабораторные исследования лаповых сошников показали, что они отвечают требованиям к качественному посеву при заглублении на величину от 4 до 8 см, в том числе при работе на почвах высокой влажности.

Ключевые слова: лаповый сошник, распределитель, лабораторные исследования, семена, неравномерность.

Для цитирования: Терёхин М.А., Яшин А.В., Косяков П.А., Тыкушин А.А., Сёмов И.Н. Определение качественных показателей работы лаповых сошников в лабораторных условиях // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123) С. 99-117. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-99-117

Research article
Universal Decimal Code 631.331

LABORATORY EVALUATION OF PERFORMANCE QUALITY OF DUCK FOOT COULTERS

Mikhail A. Terekhin[1]; Alexander V. Yashin[2]✉;
Pavel A. Kosyakov[3]; Alexander A. Tykushin[4],
Ivan N. Semov[5]
[1,3,4] Radiozavod Company, Penza, Russia,
[2]Penza State Agrarian University, Penza, Russia
[5]Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

[1]m.a.terekhin@rf58.ru, https://orcid.org/0009-0002-1619-9627
[2]✉yashin.a.v@pgau.ru, https://orcid.org/0000-0002-8184-6934
[3]kosykov_pa@mail.ru
[4]a.a.tykushin@rf58.ru
[5]semiw@mail.ru

Abstract. The main function of duck-foot coulters in grain seeders is the uniform distribution of seeds over the sowing area and depth. They are widely used in the design of pneumatic seeding complexes of domestic and foreign production. However, here they mostly cultivate the soil before sowing and apply granulated mineral fertilizers subsurface. The spreading devices of most duck-foot coulters do not ensure the uniform distribution of mineral fertilizers over the field area. Consequently, the plants receive uneven nutrition. This affects the sprouts vigor and crop yields in general. Laboratory studies were carried out in a soil box at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University” to evaluate the performance quality of duck foot coulters within the combined pneumatic seeding complex designed by Radiozavod Company (Penza) for joint sowing of mineral fertilisers and seeds by a strip method. The study aimed to analyze the technological process and determine the quality indicators of the duck-foot coulter performance in a laboratory environment. A peculiar feature of the tested coulter design was the presence of changeable distributors, providing seeding in one or two lines. The article presents the results of laboratory studies that estimated the efficiency of duck-foot coulters when sowing seeds at different depths, and evaluated the evenness of seed distribution over the sowing area and their workability on humid soils. The quality indicators of the coulters were assessed using common and specific methods, both by calculation and by assessing the resulting shoots. Laboratory studies of duck-foot coulters have shown that they meet the requirements for high quality sowing of seed material at a depth of 4 to 8 cm, including when working on soils with high moisture content.

Keywords: duck-foot coulter, distributor, laboratory tests, seeds, unevenness.

For citation: Terekhin M.A., Yashin A.V., Kosyakov P.A., Tykushin A.A., Semov I.N. Laboratory evaluation of performance quality of duck-foot coulters. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 99-117 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-99-117

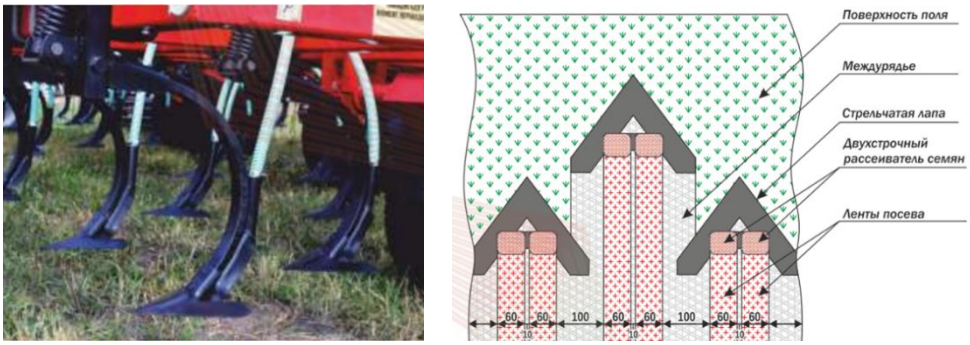
Введение. Лаповые сошники нашли широкое применение в конструкции пневматических посевных комплексов отечественного производства «Кузбасс», «Feat Agro», «Agrator», «Alcor», «Клевер» и др., а также зарубежного производства – John Deere, Case IH, Versatile и др [1, 2, 3]. Они также могут использоваться и для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений [4]. Кроме серийных лаповых сошников российскими исследователями Перетятько А.В., Козюковым С.В., Ларюшиным Н.П., Лопаревой С.Г. и др. разработано большое количество перспективных конструкций [5, 6]. При применении в конструкции посевной машины совместного высева семян и гранулированных минеральных удобрений, их высев через лаповые сошники обычно осуществляется подпочвенно-разбросным или ленточным способом. Рабочий орган посевного комплекса «Агромастер» представляет собой стрельчатую лапу, установленную на С-образной культиваторной стойке, которая крепится к раме посевного комплекса при помощи пружинной подвески (рис. 1, а). На сошнике установлен рассеиватель, предназначенный для распределения посевного материала в подсошниковом пространстве стрельчатой лапы по ширине захвата (рис. 1, б).

а) a) б) b)

Рис. 1. Общий вид лапового сошника посевного комплекса «Агромастер» (а) и схема технологии разбросного посева (б)

Fig. 1. General view of a duck-foot coulter in Agromaster sowing complex (a) and scattered sowing technology scheme (b)

При применении в конструкции посевной машины раздельного высева семян и гранулированных минеральных удобрений, через лаповые сошники обычно осуществляется высев удобрений ленточным способом. Помимо функции внесения удобрений такой лаповый сошник выполняет предпосевную культивацию почвы. Данный способ реализован, например, в отечественных пневматических посевных комплексах КПК-990DR «Feat Agro». Лаповый сошник посевного комплекса «Feat Agro» (рис. 2, а) выполнен на базе рабочего органа предпосевного культиватора серии КП с установленным устройством для распределения семян в две ленты шириной по 6 см, с расстоянием между соседними лентами 1 см (рис. 2, б).



а) a) б) b)

Рис. 2. Лаповые сошники посевного комплекса «Feat Agro» (а)
и схема высева удобрений ленточным способом (б)

Fig. 2. Duck-foot coulters of the Feat Agro sowing complex (a) and fertilizer sowing pattern with the belt method (b)

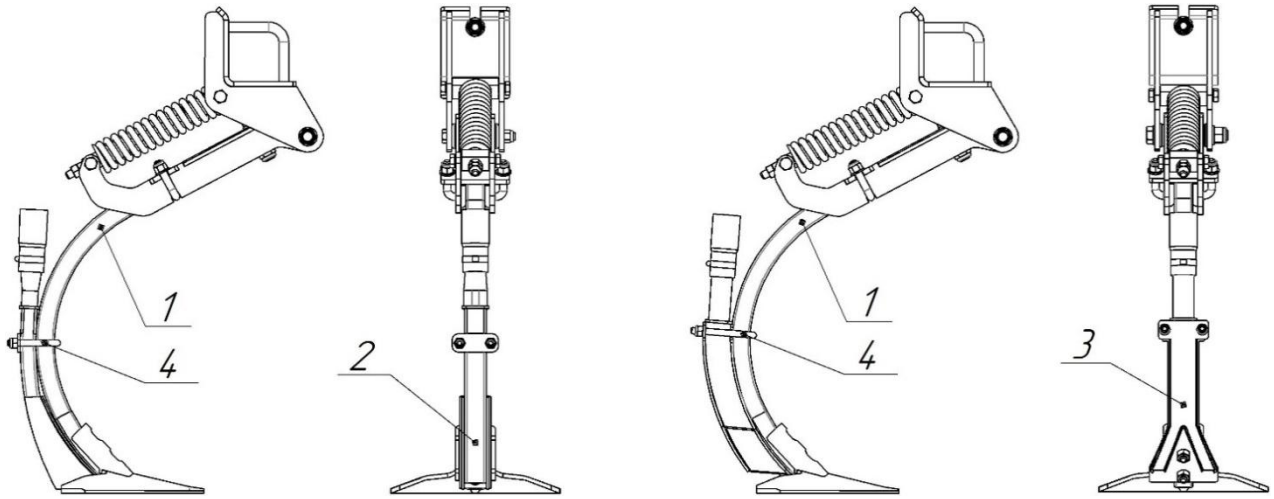
Недостаток рабочего органа, в случае его применения для раздельного внесения удобрений, заключается в следующем. При междурядье 235 мм внесение минеральных удобрений производится в две ленты шириной по 6 см, с расстоянием между лентами 1 см и полосой без удобрений 100 мм, что не соответствует расстановке сошников с междурядьем 150 мм. Около 40% рядков семян будут расположены в полосе без удобрений, вследствие чего растения будут получать неравномерное питание и всходы будут неравномерными.

С целью устранения выявленного недостатка в конструкции лапового сошника посевного комплекса КППК-ЛД предусмотрено наличие сменных распределителей, обеспечивающих возможность высева семян и минеральных удобрений ленточным способом в одну или две строчки. Таким образом при раздельном высеве гранулированных минеральных удобрений через предлагаемые лаповые сошники обеспечена возможность их адресного внесения в борозды с междурядьями 125-150 / 250-300 мм.

Лаповые сошники КППК-10-0802000 (однострочный) и КППК-10-0812000 (двухстрочный) предназначены для высева семян и гранулированных минеральных удобрений в составе комбинированных пневматических посевных комплексов серии КППК производства АО «Радиозавод» (г. Пенза)[34]. Лаповые сошники КППК-10-0802000 и КППК-10-0812000 конструктивно выполнены в виде культиваторного рабочего органа 1 (рис. 3), к задней части которого посредством хомута 4 крепится распределитель 2 или 3, взаимозаменяемые между собой[35]. В конструкции посевного комплекса КППК применением лаповых сошников со сменными распределителями 2 или 3 обеспечена возможность высева семян и минеральных удобрений ленточным способом с двумя вариантами междурядий [7].

[34] Комбинированный пневматический посевной комплекс КППК: модификации КППК-8Д, КППК-8А, КППК-8Н, КППК-8Л, КППК-8ЛД, КППК-10Д, КППК-10А, КППК-10Н, КППК-10Л, КППК-10ЛД, КППК-12Д, КППК-12А, КППК-12Н, КППК-12Л, КППК-12ЛД. Технические условия КСИЛ.271211.042ТУ. Пенза: АО «Радиозавод». 2022 г.

[35] Комбинированный пневматический посевной комплекс КППК-10ЛД. Руководство по эксплуатации КСИЛ.271211.042РЭ. Пенза: АО «Радиозавод».



а) а) б) b)

Рис. 3. Общий вид лаповых сошников КППК-10-0802000 (а) и КППК-10-0812000 (б):
1 – культиваторный рабочий орган; 2 – распределитель однострочный; 3 – распределитель двухстрочный; 4 – хомут крепежный

Fig. 3. General view of duck-foot coulters within KPPK-10-0802000 (a) and KPPK-10-0812000 (b) combined pneumatic seeding complexes: *1 – cultivator working tool; 2 – single-line distributor; 3 – double-line distributor; 4 – fastening clamp*

Испытываемые лаповые сошники работают следующим образом. При движении в заглубленном положении стрельчатая лапа поднимает пласт почвы, образуя при этом борозду. Посредством распределителя в подлаповое пространство на дно борозды укладывается высеваемый материал в одну или две строчки, который впоследствии укрывается слоем почвы, поднятой ранее стрельчатой лапой [7].

На этапе проектирования опытного образца посевного комплекса КППК-10ЛД было принято решение о проведении лабораторных исследований лаповых сошников на почвенном канале ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ» в условиях, приближенных к реальным. Для этого была разработана технологическая рама 1, позволяющая разместить лаповые сошники 2 и 3 на приводной тележке почвенного канала 4 с той же расстановкой, как и на раме посевного комплекса (рис. 4).

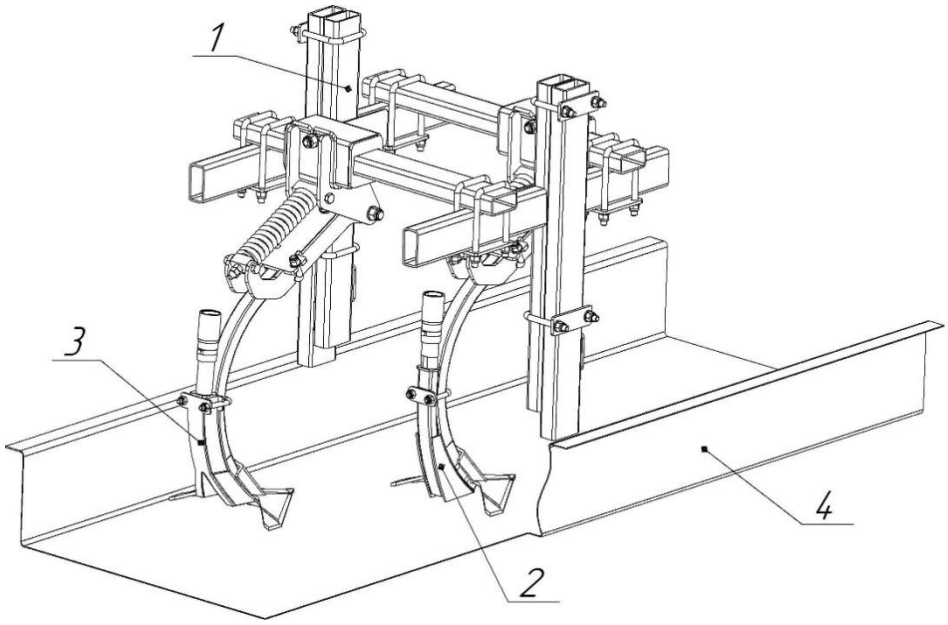


Рис. 4. Общий вид лаповых сошников КППК-10-0802000 и КППК-10-0812000,

размещенных на технологической раме тележки почвенного канала:
1 – рама технологическая; 2 – сошник КППК-10-0802000 с однострочным распределителем; 3 – сошник КППК-10-0812000 с двухстрочным распределителем; 4 – фрагмент почвенного канала

Fig. 4. General view of duck-foot coulters within KPPK-10-0802000 and KPPK-10-0812000 combined pneumatic seeding complexes, placed on the technological frame of the soil box trolley: *1 – technological frame; 2 – KPPK-10-0802000 coulter with a single-line distributor; 3 – KPPK-10-0812000 coulter with a two-line distributor; 4 – fragment of the soil box*

Цель работы – анализ технологического процесса и определение качественных показателей работы лаповых сошников в лабораторных условиях.

Материалы и методы. На основании методик и результатов исследований сошников, проводимых Мачневым А.В., Шумаевым В.В., Калабушевым А.Н., Перепятько А.В. Волошиным И.В. и другими исследователями [9, 10, 11], была разработана программа лабораторных исследований экспериментальных сошников пневматического посевного комплекса серии КППК, которая включала анализ технологического процесса и определение качественных показателей работы лаповых сошников в зависимости от конфигурации распределителя и глубины заделки высеваемого материала [8].

Исследования по определению неравномерности распределения высеваемого материала по площади ленты проводились согласно ОСТ 70.5.1-82, ГОСТ 31345-2007 и ГОСТ 28714-2007 на лабораторной установке, смонтированной на почвенном канале *1* (рис. 5) [8, 9]. Исследуемые лаповые сошники *2* и *3* монтировались на технологической раме *4*, которая в свою очередь устанавливалась на стойках *5* приводной тележки *6*. Также на стойках *5* монтировалась система высева лабораторной установки, состоящая из небольшого бункера *7*, двух высевающих аппаратов *8* катушечного типа (сеялки СЗ-3,6) и гибких семяпроводов *9*. Приводная тележка *6* приводилась в движение с помощью электродвигателя *10* посредством цепной передачи *11* и системы полиспастов, тянущих приводной трос *12*. Вал *13* высевающих аппаратов *8* приводился во вращение от электродвигателя *14* и вариатора *15* с помощью цепных передач *16*. Регулировка частоты вращения вала *13* осуществлялась с помощью частотного преобразователя *17*. Включение и отключение установки осуществлялось с пульта *18*. Оценка неравномерности распределения семян осуществлялась посредством липкого щита *19*, поверхность которого была разделена на ячейки 5×5 см. Для приближения экспериментальных условий к реальным, сошники *2* и *3* устанавливались на технологической раме *4* таким образом, чтобы плоскость движения их распределителей практически касалась поверхности рассева липкого щита, имитирующего в данном случае дно борозды.

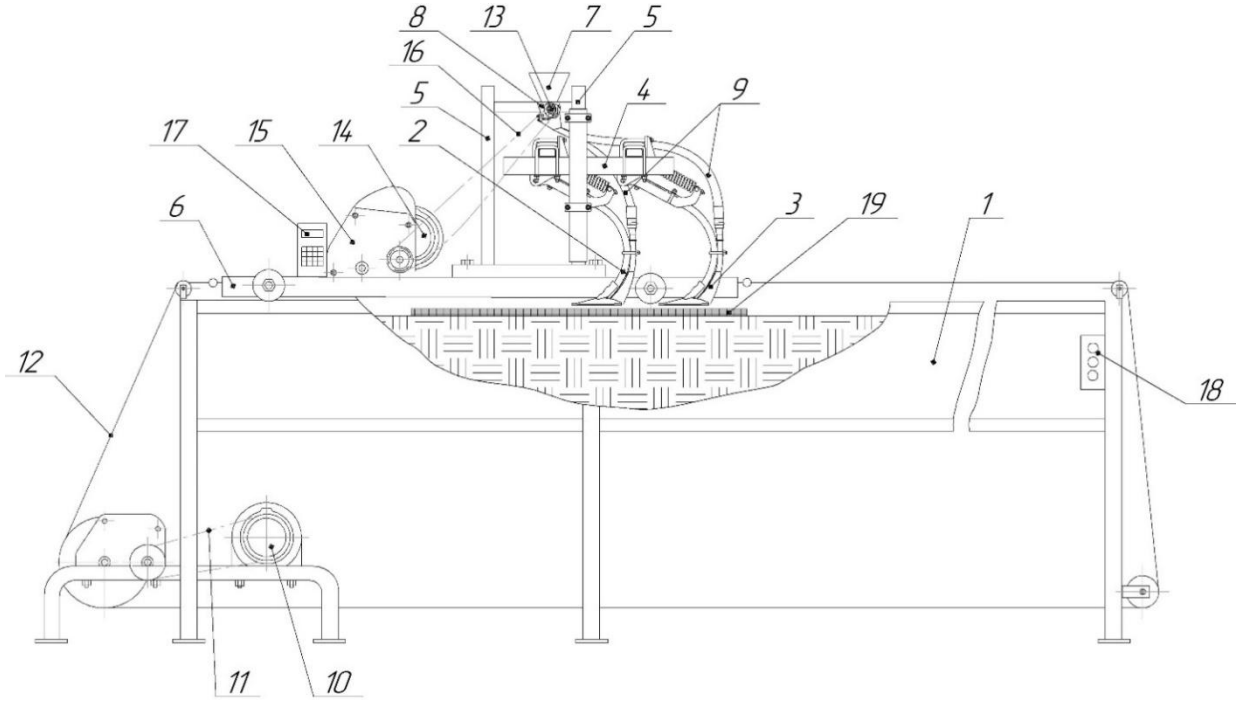


Рис. 5. Схема лабораторной установки для испытания лаповых сошников:
1 – канал почвенный; 2 – сошник КППК-10-0802000; 3 – сошник КППК-10-0812000; 4 – рама технологическая; 5 – стойки; 6 – тележка приводная; 7 – бункер; 8 – аппарат высевающий; 9 – семяпровод; 10, 14 – электродвигатель; 11, 16 – передача цепная; 12 – трос приводной; 13 – вал привода высевающих аппаратов; 15 – редуктор; 17 – частотный
преобразователь; 18 – пульт управления; 19 – поверхность рассева (липкий щит)

Fig. 5. Diagram of a laboratory setup for testing duck-foot coulters: *1 – soil box; 2 – KPPK-10-0802000 coulter; 3 – KPPK-10-0812000 coulter; 4 – technological frame; 5 – racks; 6 – driving trolley; 7 – hopper; 8 – seeding apparatus; 9 – seed line; 10, 14 – electric motor; 11, 16 – chain transmission; 12 – driving cable; 13 – drive shaft of the seeding apparatus; 15 – gearbox; 17 – frequency converter; 18 – control panel; 19 – sowing surface (sticky shield)*

Данные исследования проводились на семенах гороха. Последовательность проведения исследований была следующая. Семена гороха засыпались в бункер *7* и прокручивался вал *13* высевающих аппаратов *8* с целью их заполнения семенами. С пульта управления *18* одновременно включался привод высевающих аппаратов *8* и приводной тележки *6*. Семена из бункера *7* дозированно подавались в семяпроводы *9*, затем поступали в распределители сошников *2* и *3*, попадали на поверхность рассева *19*.

Повторность опытов была трехкратная, количество учетных квадратов – не менее 50. Условия проведения опытов были максимально приближены к реальным: норма высева семян гороха составляла 100-110 семян на погонный метр рядка, скорость перемещения сошников составляла 3 м/с (10,8 км/ч), высота установки катушечных высевающих аппаратов соответствовала высоте установки распределителей высеваемых материалов посевного комплекса и составляла 1 метр от поверхности почвы.

В соответствии с ОСТ 70.5.1-82 и методикой Н.И. Любушко за критерии неравномерности распределения семян по площади рассева были приняты статистические характеристики: среднее квадратичное отклонение распределения семян и коэффициент вариации [9, 10].

Среднее количество семян *M* на участках рассчитывалось по выражению

$$\overline{M} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot m_i}{n} \quad (1)$$

где m_i – количество семян на участках, шт.;

P_i – количество участков с m_i семенами, шт.;

n – количество участков, шт.

Среднее квадратичное отклонение определялось по выражению [9, 10]

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot (\overline{M} - m_i)^2}{n-1} \quad (2)$$

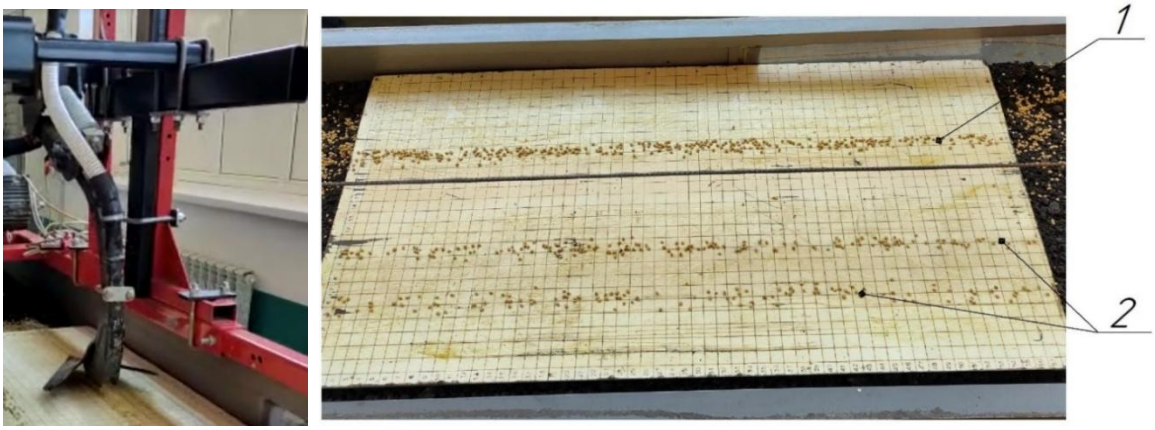
Коэффициент вариации рассчитывался по выражению [7, 8]

$$\nu = \frac{\sigma}{\overline{M}} \cdot 100\% \quad (3)$$

С целью определения возможности высева семян лаповыми сошниками на разную глубину была разработана частная методика, которая заключалась в следующем. Сошники *2* и *3* заглублялись на величину 2-12 см с шагом 1 см, после чего включался привод тележки *6* почвенного канала *1*. После прохода сошников *2* и *3* оценивалась их возможность создания борозды заданной глубины и закрытия ее слоем почвы. Данные исследования проводились без подачи семян в сошники [11].

С целью исследования распределителей лаповых сошников на предмет их забивания влажной почвой была разработана частная методика, которая заключалась в следующем. Почва в почвенном канале увлажнялась до значения 28-30%. Исследуемые сошники располагали на глубине 5 см, в их распределители подавали посевной материал – семена пшеницы, и включали привод тележки почвенного канала. После прохода сошников в слое почвы методом раскопки изучали, как посевной материал располагается в горизонте почве, а также после посева наблюдали за всходами семян [12].

Результаты исследований. Общий вид лапового сошника над поверхностью рассева представлен на рис. 6 (а); общий вид поверхности рассева после прохода исследуемых сошников – на рис. 6 (б). В результате проведенных исследований лапового сошника КППК-10-0802000 (с однострочным распределителем) получили следующие данные (табл. 1).



а) a) б) b)

Рис. 6. Общий вид сошника над поверхностью рассева (а) и общий вид поверхности рассева: *1 – после прохода сошника КППК-10-0802000 (с однострочным распределителем);*
2 – после прохода сошника КППК-10-0812000 (с двухстрочным распределителем)
Fig. 6. General view of the coulter above the scattering surface (a) and the general view of the scattering surface: *1 – after the passage of KPPK-10-0802000 coulter (with a single-line distributor); 2 – after the passage of KPPK-10-0812000 coulter (with a two-line distributor).*

Таблица 1. Результаты исследований сошника КППК-10-0802000 на неравномерность распределения семенного материала по площади рассева
Table 1. Study results of KPPK-10-0802000 coulter on the uneven distribution of seed material over the sowing area

№ участка	Количество семян, шт.	№ участка	Количество семян, шт.	№ участка	Количество семян, шт.
1	16	21	11	41	15
2	14	22	12	42	9
3	13	23	15	43	8
4	7	24	9	44	5
5	11	25	8	45	9
6	13	26	7	46	14
7	12	27	5	47	12
8	11	28	13	48	16
9	12	29	6	49	10
10	8	30	16	50	11
11	8	31	12	51	11
12	8	32	17	52	8
13	10	33	18	53	4
14	15	34	6	54	10
15	14	35	8	55	5
16	13	36	9	56	12
17	15	37	9	57	14
18	15	38	8	58	14
19	7	39	7		
20	5	40	6		

Для расчета неравномерности распределения семенного материала по площади рассева данные по количеству участков с семенами сводились в таблицу 2. Рассчитано среднее количество семян по выражению (1), среднее квадратичное отклонение по выражению (2), коэффициент вариации по выражению (3)

$$\overline{M} = \frac{4 \cdot 1 + 5 \cdot 4 + 6 \cdot 3 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 8 + 9 \cdot 5 + 10 \cdot 3 + 11 \cdot 5 + 12 \cdot 6 + 13 \cdot 4 + 14 \cdot 5 + 15 \cdot 5 + 16 \cdot 3 + 17 \cdot 1 + 18 \cdot 1}{58} = 10{,}621$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1\cdot(10{,}6-4)^2 + 4\cdot(10{,}6-5)^2 + 3\cdot(10{,}6-6)^2 + 4\cdot(10{,}6-7)^2 + 8\cdot(10{,}6-8)^2 + 5\cdot(10{,}6-9)^2}{57}} \cdot$$

$$\cdot\sqrt{\frac{3\cdot(10{,}6-10)^2 + 5\cdot(10{,}6-11)^2 + 6\cdot(10{,}6-12)^2 + 4\cdot(10{,}6-13)^2 + 5\cdot(10{,}6-14)^2 + 4\cdot(10{,}6-15)^2}{57}} \cdot$$

$$\cdot\sqrt{\frac{3\cdot(10{,}6-16)^2 + 1\cdot(10{,}6-17)^2 + 1\cdot(10{,}6-18)^2}{57}} = 3{,}56$$

$$\nu = \frac{3{,}56}{1{,}621}\cdot 100\% = 33{,}51\% \cdot$$

Таблица 2. Количество участков с семенами
Table 2. Number of plots with seeds

Количество семян на участке	Количество участков	Количество семян на участке	Количество участков
1	-	11	5
2	-	12	6
3	-	13	4
4	1	14	5
5	4	15	5
6	3	16	3
7	4	17	1
8	8	18	1
9	5	19	-
10	3	20	-

В результате проведенных исследований лапового сошника КППК-10-0812000 (с двухстрочным распределителем) получили следующие данные (табл. 3).

Таблица 3. Результаты исследований сошника КППК-10-0812000 на неравномерность распределения семенного материала по площади рассева
Table 3. Study results of KPPK-10-0812000 coulter on the uneven distribution of seed material over the sowing area

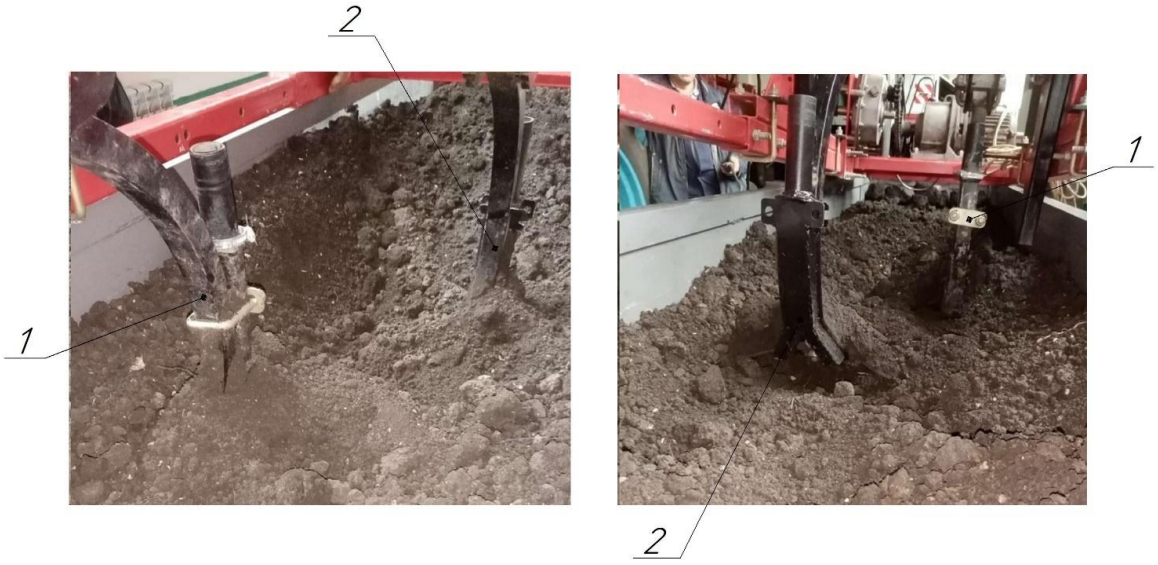
№ участка	Количество семян, шт.		№ участка	Количество семян, шт.		№ участка	Количество семян, шт.	
	1 след	2 след		1 след	2 след		1 след	2 след
1	3	4	20	3	1	39	7	6
2	9	5	21	3	6	40	5	10
3	3	7	22	4	4	41	3	8
4	8	5	23	3	7	42	2	6
5	3	3	24	2	4	43	2	6
6	4	7	25	4	9	44	10	2
7	4	7	26	5	1	45	3	5
8	3	2	27	6	5	46	10	10
9	4	3	28	3	7	47	3	7
10	2	5	29	4	3	48	6	8
11	5	3	30	4	4	49	4	4

12	5	4	31	5	4	50	2	4
13	1	6	32	3	3	51	6	5
14	3	5	33	8	3	52	3	5
15	4	7	34	9	4	53	4	4
16	5	5	35	5	6	54	4	3
17	9	6	36	5	2	55	6	6
18	4	10	37	5	5			
19	5	7	38	3	4			

Аналогично был проведен расчет неравномерности распределения семенного материала по площади для каждой из двух строчек. Среднее квадратичное отклонение правой строчки составило $\sigma = 2{,}12$, левой строчки – $\sigma = 2{,}13$. Стоит отметить, что значения неравномерности распределения высеваемого материала по площади рассева (ширине ленты) $v = 33.5\,\%$ соответствует уровню современных лаповых сошников, предназначенных для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений и не превышает значений, допускаемых агротехническими требованиями [12, 14].

Обсуждение. В результате исследования возможности высева семян лаповыми сошниками на разную глубину были получены следующие результаты. При заглублении сошников на величину 2 и 3 см наблюдалось явление раздвигания почвы стрельчатой лапой на ширину ее захвата [13, 14]. Минимальная глубина борозды, при которой осуществлялось ее равномерное закрытие почвой, составило 4 см. Оптимальное заглубление, при котором наблюдалось устойчивое образование борозды постоянной глубины, составило 8 см (рис. 7), что является наиболее приемлемым значением при проведении предпосевной культивации с одновременным внесением минеральных удобрений.

При заглублении на величину 9-12 см также наблюдался устойчивый ход сошников по глубине. Однако после их прохода борозда переднего сошника была укрыта меньшим слоем почвы, чем борозда заднего сошника, вследствие высокой гребнистости поверхности почвы в почвенном канале при проходе лаповых сошников, заглубленных на большую глубину [15, 16].



а) б)

Рис. 7. Общий вид сошников, заглубленных на величину 8 см: *а) – вид спереди;*

б) – вид сзади; 1 – сошник КППК-10-0802000 (с однострочным распределителем); 2 – сошник КППК-10-0812000 (с двухстрочным распределителем)

Fig. 7. General view of the coulters buried 8 cm deep: *a) – front view; b) – rear view; 1 –KPPK-10-0802000 coulter (with a single-line distributor); 2 –KPPK-10-0812000 coulter (with a two-line distributor)*

Результаты исследований сошников на предмет забивания распределителей влажной почвой получены следующие. На конечном участке почвенного канала, где в предыдущих исследованиях располагался липкий щит, была осуществлена раскопка борозды. Семена при этом лежали на посевном ложе, образованном стрельчатой лапой, а выходные отверстия распределителей были свободны от почвы [17]. Налипание влажной почвы наблюдалось на поверхности стрельчатой лапы и С-образной стойки. Стабильность процесса высева семян пшеницы распределителями сошников оценивалась по всходам, которые были равномерными по всей длине почвенного канала (рис. 8) [18, 19].

а) a) б) b) в) c)

Рис. 8. Общий вид всходов после посева семян пшеницы исследуемыми сошниками на глубину 5 см (слева в одну строчку, справа – в две строчки):

а) – на 7-й день после посева; б) – на 14-й день; в) – на 21-й день

Fig. 8. General view of sprouts after sowing wheat seeds by the studied coulters to a depth of 5 cm (on the left – in one line, on the right – in two lines):

a) – on the 7th day after sowing; b) – on the 14th day; c) – on the 21st day

Стоит заметить, что семена, высеваемые лаповым сошником, оснащенным однострочным распределителем, взошли несколько раньше семян, высеваемых сошником с двухстрочным распределителем, и первые 14 дней после высева опережали их по росту и развитию. Это явление связано с тем, что сошник с однострочным распределителем располагался на технологической раме тележки почвенного канала перед сошником с двухстрочным распределителем [20, 21, 22], вследствие чего семена в первом рядке были укрыты слоем почвы около 4 см, а во втором рядке – около 6 см. После двух недель роста всходы в обоих рядках выровнялись. Такая неравномерность размещения посевного материала по глубине обусловлена чрезмерной гребнистостью почвы после прохода лаповых сошников. Для устранения данного недостатка лаповых сошников в конструкции комбинированных посевных комплексов, включая КППК-10ЛД, за лаповыми сошниками устанавливается выравнивающее устройство в виде планчатого катка и пружинной бороны, вследствие чего гребнистость поверхности почвы выравнивается до значений, допускаемых агротехническими требованиями.

Выводы. Проведенные лабораторные исследования лаповых сошников КППК-10-0802000 и КППК-10-0812000 показали, что они отвечают требованиям к качественному посеву посевного материала при заглублении на величину от 4 до 8 см. За критерий неравномерности распределения семян по площади рассева был принят коэффициент вариации, который для сошника КППК-10-0802000 составил 33,5%, а для правой и левой строчек сошника КППК-10-0812000 среднее квадратичное отклонение составило 2,12 и 2,13 соответственно. Полученные значения неравномерности распределения высеваемого материала по площади рассева (ширине ленты) соответствуют уровню современных лаповых сошников, предназначенных для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений и не превышают значений, допускаемых агротехническими требованиями. Также результаты исследований подтвердили стабильность работы сошников ввиду отсутствия забивания выходных отверстий распределителей при работе на почвах высокой влажности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Припоров Е.В., Левченко Д.С. Анализ сошников сеялок ресурсосберегающих технологий посева зерновых культур // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 109. С. 379-391. EDN: TWGMKP

2. Демчук Е.В., Мяло В.В., Кем А.А., Голованов Д.А., Союнов А.С., Головин А.Ю., Прокопов С. П. Сравнительный анализ агротехнических характеристик посевных комплексов, оборудованных лаповыми сошниками // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2016. № 3(6). С. 660-662. URL: https://e-journal.omgau.ru/images/issues/2016/3/00126.pdf

3. Nukeshev S. O., Kakabaev N. A., Romanyuk N. N., Troyanovskaya I.P, Smelik V.A., Voinash S.A. Design and rationale for parametres of the seed-fertilizer seeder coulter for subsoil broadcast seeding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, 52010. https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052010; EDN: EBBSBN

4. Милюткин В.А., Шахов В.А., Асманкин Е.М., Ушаков Ю.А., Комарова Н.К., Смелик В.А. Исследования инновационных технологий, техники и жидких минеральных удобрений на основе карбамидно-аммиачной смеси при возделывании сельхозкультур // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4(96). С. 104-111. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-96-4-104-111; EDN: NNEHNM

5. Ивженко С.А., Перетятько А.В., Кунташов А.М. Лаповый сошник с направителем-распределителем семян // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2006. № 3. С. 79-81. EDN: KVLLGF

6. Лопарева С.Г., Мекшун Ю.Н., Овчинников Д.Н., Лопарев Д.В. Результаты теоретических исследований распределения семян лаповом сошником с двухплоскостным распределителем семян // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. № 2(3). С. 13-19. EDN: ZHYVOD

7. Терехин М.А., Косяков П.А., Тыкушин А.А. Лаповый сошник комбинированных пневматических посевных комплексов // Сельский механизатор. 2025. № 2. С. 12-13. https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-2-12-13-18; EDN: LEOALZ

8. Волошин И.В., Ларюшин Н.П., Кувайцев В.Н., Шумаев В.В., Ванин Д.В. Лабораторные исследования комбинированного сошника для посева семян зерновых культур // Нива Поволжья. 2018. № 2(47). С. 106-112. EDN: XRHKKT

9. Арефьев А.В., Шумаев В.В., Кшникаткин С.А. Методика проведения лабораторных исследований на равномерность распределения семян по площади рассева // Инновационные технологии в АПК: теория и практика. Сб. статей Всеросс. науч.-практ. конф. (Пенза, 01 марта 2013 г.). Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. 2013. С. 24-26. EDN: UYTYZH

10. Каде Ю.А., Богус А.Э. Методика определения равномерности распределения семян сошником пневматической сеялки с центрально-дозирующей системой // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сб. статей по матер. 71-й науч.-практ. конф. студентов по итогам НИР за 2015 год (Краснодар, 12 апреля 2016 г.) Краснодар: КубГАУ. 2016. С. 202-205. EDN: WJWFMJ

11. Сипунов В.А., Шумаев В.В. Лабораторные исследования однодискового сошника с канавками в виде эпициклоиды // Нива Поволжья. 2023. № 2(66), 3007. https://doi.org/10.36461/NP.2023.66.2.012; EDN: SNDCKG

12. Лопарев Д.В., Лопарева С.Г., Мекшун А.Ю., Мекшун Ю.Н. Результаты испытаний распределительных устройств лапового сошника стерневой сеялки // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4(40). С. 67-72. https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_67; EDN: XDVVUE

13. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В. В. Результаты лабораторных исследований комбинированного сошника для посева кормовых культур // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2020. № 23(186). С. 111-122. EDN: UVJEQL

14. Перетятько А.В. Результаты экспериментальных исследований лапового сошника для подпочвенно-разбросного посева зерновых культур // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2007. № 1. С. 83-85. EDN: VLWJVP

15. Яковлев Д.А. Беляев В.И., Прокопчук Р.Е. Сравнительная энергооценка рабочих органов посевных машин для прямого посева в условиях различного увлажнения почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 6(188). С. 144-150. EDN: PJFDLB

16. Пятаев М.В., Журавлев А.В., Чумаков В.Г. Исследование тягового сопротивления сошника для разноуровневого посева семян зерновых и внесения минеральных удобрений // АПК России. 2024. №31(4). С. 553-561. https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-553-561; EDN: UFLOFE

17. Багаутдинов Р.Ю., Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М. Результаты исследований комбинированного анкерного сошника в лабораторных условиях // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2023. № 1(65). С. 112-119. https://doi.org/10.31563/1684-7628-2023-65-1-112-119; EDN: KNITTT

18. Даманский Р.В. Обоснование рациональных параметров распределителя семян для внутрипочвенного разбросного посева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 9(239). С. 72-77. https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-239-9-72-77; EDN: KESJZI

19. Лопарева С.Г. Экспериментальные исследования двухплоскостных распределителей семян сошников стерневых сеялок // Ползуновский вестник. 2017. № 4. С. 76-80. EDN: YLWWLO20.

20. Shumaev V.V., Ovtov V.A., Kalabushev A.N., Papchev M.A. Single disc coulter with gauge wheel for pneumatic seed drill // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 953, 012019. https://doi.org/10.1088/1755-1315/953/1/012019

21. Zubarev A., Larushin N., Kukharev O. Innovative working bodies of openers for seeding grain crops // Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2020. Vol. 63(1). P. 148-152. URL: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20219969709

22. Мачнев А.В. Размещение лаповых сошников на раме сеялки // Инновационные технологии в сельском хозяйстве. Сб. матер. межрегион. науч.-практ. конф. молодых ученых (Пенза, 31 декабря 2006 г.). Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. 2006. С. 111-112. EDN: YTSFFE

REFERENCES

1. Priporov E.V., Levchenko D.S. Analysis of openers of seeders in resource saving technologies of grain planting. Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2015;109:379-391. (In Russ.) EDN: TWGMKP

2. Demchuk E.V., Myalo V.V., Kem A.A., Golovanov D.A., Soyunov A.S., Golovin A.Yu., Prokopov S. P. A comparative analysis of agro-technical characteristics of sowing complexes equipped with tine coulters. Elektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU = Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University. 2016;3(6): 660-662. (In Russ.) URL: https://e-journal.omgau.ru/images/issues/2016/3/00126.pdf

3. Nukeshev S. O., Kakabaev N. A., Romanyuk N. N., Troyanovskaya I.P, Smelik V.A., Voinash S.A. Design and rationale for parametres of the seed-fertilizer seeder coulter for subsoil broadcast seeding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 677, 52010. (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052010 EDN EBBSBN

4. Milyutkin V.A., Shakhov V.A., Asmankin E.M., Ushakov Yu.A., Komarova N.K., Smelik V.A. Research of innovative technologies, engineering and liquid mineral fertilizers based on carbamide-ammonia mixture for crop cultivation. Izvestiya OGAU = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;4(96):104-111. (In Russ.) https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-96-4-104-111 EDN: NNEHNM

5. Ivzhenko S.A., Peretyatko A.V., Kuntashov A.M. Duck-foot coulter with a seed guide and distributor. Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2006;3:79-81. (In Russ.) EDN: KVLLGF

6. Lopareva S.G., Mekshun Yu.N., Ovchinnikov D.N., Loparev D.V. The results of theoretical research on seed distribution by coulter drills with a two-layered seed distributor. British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017; 2(3):13-19. (In Russ.) EDN: ZHYVOD

7. Terekhin M.A., Kosyakov P.A., Tykushin A.A. Paw shank of combined pneumatic inoculation complexes. Sel'skii mekhanizator = Rural Specialist on Mechanization. 2025;2:12-13. (In Russ.) https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-2-12-13-18; EDN: LEOALZ

8. Voloshin I.V., Larushin N.P., Kuvaitsev V.N., Shumayev V.V., Vanin D.V. Laboratory tests of combined opener for sowing grain seeds. Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland. 2018;2(47):106-112. (In Russ.) EDN: XRHKKT

9. Arefiev A.V., Shumaev V.V., Kshnikatkin S.A. Methodology of laboratory research on the uniformity of seed distribution over the area of sowing, In: Innovative Technologies in Agro-Industrial Complex: Theory and Practice. Proc. All-Russian Sci. Prac. Conf. (Penza, 01 March 2013). Penza: Penza State Agricultural Academy. 2013:24-26. (In Russ.) EDN: UYTYZH

10. Kade Yu.A., Bogus A.E. Technique of determination of uniformity of distribution of seeds vomer of a pneumatic seeder with the central dosing system. In: Scientific Support of Agro-

Industrial Complex. Proc. 71st Sci. Prac. Conf. of students on R&D results in 2015 (Krasnodar, 12 April 2016) Krasnodar: KubGAU. 2016: 202-205. (In Russ.) EDN: WJWFMJ
11. Sipunov V.A., Shumaev V.V. Laboratory studies of a single-disc coulter with epicycloidal grooves. Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland. 2023;2(66), 3007. (In Russ.) https://doi.org/10.36461/NP.2023.66.2.012; EDN: SNDCKG
12. Loparev D.V., Lopareva S.G., Mekshun A.Yu., Mekshun Yu.N. Test results of distribution devices of spear coulter mulcher seeder. Vestnik Kurganskoi GSKhA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2021;4(40):67-72. (In Russ.) https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_67; EDN: XDVVUE
13. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Golubev V.V. Results of laboratory studies of the combined coulter for sowing forage crops. Izvestiya sel'skokhozyaistvennoi nauki Tavridy = Transactions of Taurida Agricultural Science. 2020; 23(186):111-122. (In Russ.) EDN: UVJEQL
14. Peretyatko A.V. Results of experimental studies of a duck-foot coulter for subsoil-dispersed sowing of grain crops. Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova = The Bulletin Saratov State Agrarian University in Honor of N.I. Vavilov. 2007;1:83-85. (In Russ.) EDN: VLWJVP
15. Yakovlev D.A., Belyayev V.I., Prokopchuk R.Ye. Comparative energy evaluation of the working tools of sowing machines for direct seeding under conditions of different soil moisture content. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020;6(188):144-150. (In Russ.) EDN: PJFDLB
16. Pyataev M.V., Zhuravlev A.V., Chumakov V.G. Study of draught resistance of a coulter for multi-level sowing of grain seeds and application of mineral fertilizers. APK Rossii = Agro-Industrial Complex of Russia. 2024;31(4):553-561. (In Russ.) https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-553-561; EDN: UFLOFE
17. Bagautdinov R., Mudarisov S., Farkhutdinov I. Results of the combined anchor coutler research under laboratory conditions. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2023;1(65):112-119. (In Russ.) https://doi.org/10.31563/1684-7628-2023-65-1-112-119; EDN: KNITTT
18. Damanskiy R.V. Substantiation of rational parameters of seed distributor for subsoil broadcast seeding. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2024;9(239):72-77. (In Russ.) https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-239-9-72-77; EDN: KESJZI
19. Lopareva S.G. Experimental study of two-plane distributors of seed openers stubble seeders. Polzunovskii vestnik = Polzunovskiy Vestnik. 2017; 4:76-80. (In Russ.) EDN: YLWWLO
20. Shumaev V.V., Ovtov V.A., Kalabushev A.N., Papchev M.A. Single disc coulter with gauge wheel for pneumatic seed drill // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;953, 012019. (In Eng.) https://doi.org/10.1088/1755-1315/953/1/012019
21. Zubarev A., Larushin N., Kukharev O. Innovative working bodies of openers for seeding grain crops. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2020;63(1):148-152. (In Eng.) URL: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20219969709
22. Machnev A.V. Placement of duck-foot coulters on the seeder frame. In: Innovative Technologies in Agriculture. Proc. Interreg. Sci. Prac. Conf. of young scientists (Penza, 31 December 2006). Penza: Penza State Agricultural Academy. 2006: 111-112. (In Russ.) EDN: YTSFFE

Об авторах:	About the authors:
Терёхин Михаил Александрович канд. техн. наук, ведущий инженер конструкторского отделения по гражданской продукции, АО «Радиозавод» 440039, г. Пенза, ул. Байдукова, д. 1, Россия m.a.terekhin@rf58.ru	**Mikhail A. Terekhin** Candidate of Technical Sciences, leading engineer of the Design Department for Civil Products of JSC Radiozavod 440039, Penza, Baidukova Str., 1, Russia m.a.terekhin@rf58.ru
Яшин Александр Владимирович канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, Россия yashin.a.v@pgau.ru https://orcid.org/0000-0002-8184-6934	**Alexander V. Yashin** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department “Mechanization of Technological Processes in Agriculture” Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University” 30, Botany Str., Penza, 440014, Russia yashin.a.v@pgau.ru https://orcid.org/0000-0002-8184-6934
Косяков Павел Алексеевич ведущий инженер-конструктор конструкторского отделения по гражданской продукции АО «Радиозавод» 440039, г. Пенза, ул. Байдукова, д. 1, Россия kosykov_pa@mail.ru	**Pavel A. Kosyakov** Senior Design Engineer at the Civil Engineering Department of Radiozavod JSC , 440039 Penza, Baidukova Str., 1, Russia kosykov_pa@mail.ru
Тыкушин Александр Александрович руководитель конструкторского отделения по гражданской продукции АО «Радиозавод» 440039, г. Пенза, ул. Байдукова, д. 1, Россия a.a.tykushin@rf58.ru	**Alexander A. Tykushin** Head of the Design Department for Civil Products of JSC Radiozavod , 440039, Penza, Baidukova Str., 1, Russia a.a.tykushin@rf58.ru
Сёмов Иван Николаевич канд. техн. наук, доцент кафедры «Технические системы в агробизнесе» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский ГАУ» 196601 Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе 2 semiw@mail.ru	**Ivan N. Semov** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Saint Petersburg State Agrarian University 196601 Saint Petersburg, Pushkin, Petersburg Highway 2 semiw@mail.ru
Заявленный вклад авторов М.А. Терёхин – формулирование основных направлений исследования, цели и задач, формальный анализ, проведение исследований, визуализация, создание	**Authors’ contribution** M.A. Terekhin – formal analysis, conducting research, visualization, drafting the manuscript, formulating general conclusions. A.V. Yashin – scientific leadership of research,

черновика рукописи. А.В. Яшин – научное руководство исследованием, проведение исследований, формулирование общих выводов, методология проекта, окончательная версия (доработка) рукописи и ее редактирование. П.А. Косяков – формальный анализ, проведение исследований, визуализация, анализ литературных источников для постановки цели. А.А. Тыкушин – руководство исследованием, администрирование проекта, получение финансирования. И.Н. Сёмов – анализ литературных источников, создание черновика рукописи, формулирование общих выводов	conducting research, formulating the main research directions, goals and objectives, forming general conclusions, project methodology, final version (revision) of the manuscript and its editing P.A. Kosyakov – formal analysis, conducting research, visualization, analysis of literature sources for setting the study aim. A.A. Tykushin – research management, project administration, obtaining funding. I.N. Semov – analysis of literature sources, creation of a draft manuscript, formulation of general conclusions
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в отношении публикации этой статьи	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.	All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
Статья поступила в редакцию: 24.02.2025	**Received:** 24.02.2025
Одобрена после рецензирования: 28.04.2025	**Approved after reviewing:** 28.04.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

РАЗДЕЛ 2. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Обзорная статья
УДК 631.22: 004.032.26 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-117-129

МОНИТОРИНГ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Дмитрий Анатольевич Максимов[1]
Эдуард Александрович Папушин[2]✉, Эдуард Вадимович Васильев[3]

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

[1]maximov@sznii.ru ORCID: 0000-0001-7032-3081
[2]✉ papushinea@yandex.ru ORCID: 0000-0001-7035-4654
[3]sznii6@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793

Аннотация. Переход к высокопродуктивному сельскохозяйственному производству требует тщательного анализа его воздействия на окружающую среду. Особое внимание к этому вопросу требуется в животноводстве, где в последние годы активно велась реконструкция и строительство новых ферм и комплексов. В связи с большим количеством объектов животноводства на территории РФ их мониторинг затруднителен (для примера в Центральном федеральном округе более 10000 объектов животноводства). Целью данной работы являлся анализ использования нейронных сетей и определение их функциональных возможностей для распознавания объектов животноводства. Были проанализированы нормативные, руководящие и рекомендательные документы, свободно распространяемые методики, литература и интернет-источники. Для решения задачи регулярного автоматизированного наблюдения за объемами производства, наличием необходимой инфраструктуры для хранения побочной продукции животноводства, контроля за утечками стоков, загрязнения близлежащих территорий и водных объектов, соблюдения санитарных зон, интеграции обработки большого объема разнородных пространственных данных из различных источников, необходимо применение современных технологий классификации изображений на основе нейронных сетей. Данные технологии эффективно используются для геоинформационного обеспечения кадастровых работ, обнаружения пожаров, несанкционированных опасных отходов и т.д. В ходе анализа установлено, что по архитектуре нейронных сетей для решаемой задачи наиболее подходящими являются свёрточные, входными данными которых являются изображения. Для решения задач мониторинга объектов животноводства следует использовать космические изображения с пространственным разрешением в диапазоне до 10-30 м, которое позволяет с помощью методов цифровой обработки выявить характерные особенности объектов.

Ключевые слова: животноводческие объекты, геоинформационные системы, цифровые технологии, нейронные сети

Для цитирования: Максимов Д.А., Папушин Э.А., Васильев Э.В. Мониторинг животноводческих объектов с использованием нейронных сетей // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 117-129 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-117-129

Review article
Universal Decimal Code 631.22: 004.032.26

MONITORING OF LIVESTOCK FACILITIES USING NEURAL NETWORKS

Dmitry A. Maksimov[1], Eduard A. Papushin[2]✉,Eduard V. Vasilev[3]

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

[1] sznii6@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793
[2]✉ papushinea@yandex.ru ORCID: 0000-0001-7035-4654
[3]maximov@sznii.ru ORCID: 0000-0001-7032-3081

Abstract. The transition to high-yielding agriculture requires a thorough examination of its environmental impact. Special attention to this issue is needed in animal husbandry. The recent years witnessed the active construction of new farms and complexes and the reconstruction of those in place. Their monitoring in the Russian Federation is not an easy task due to their large number. For example, the Central Federal District alone has above 10,000 livestock facilities. The study aimed to review the use of neural networks and estimate their functional ability to recognize the livestock facilities. The study examined regulatory, guidance, and advisory documents, freely available methodologies, literature and online sources. The modern image classification technologies based on neural networks help to fulfil the tasks of regular automated monitoring of production volumes; of availability of required infrastructure for storing animal by-products; of wastewater leakage control; of nearby territories and water bodies pollution; of compliance with sanitary zones; and of integration of processing of a large volume of heterogeneous spatial data from various sources. These technologies are effectively used for GIS support of cadastral survey, detection of fire, unauthorized hazardous waste, etc. The study found that as to architecture the convolutional neural networks with images as input data were most suited to solve the above problem. The monitoring of livestock facilities should use the satellite images with spatial resolution in the range up to 10-30 m. This allows identifying characteristic features of facilities by digital processing methods.

Key words: livestock facilities, geographic information systems, digital technologies, neural networks

For citation: Maksimov D.A., Papushin E.A., Vasilev E.V. Monitoring of livestock facilities using neural networks. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123):117-129 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-2123-117-129

Введение. Интенсификация сельскохозяйственного производства, призванная обеспечить потребности населения для его благополучного существования, ведёт к усилению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Особо значимую роль интенсификация играет в животноводстве, где в последние годы чётко прослеживается тенденция на увеличение производственных мощностей, ведётся строительство новых ферм и комплексов, осуществляется модернизация существующих. Эти предприятия отличает высокая концентрация поголовья на ограниченных территориях, что усиливает экологические риски, которые могут затрагивать не только места расположения объектов, но и регион в целом. Серьёзную опасность представляют образующиеся на них большие

объёмы побочных продуктов животноводства (ППЖ) и стоки, которые содержат азот, фосфор, серу и другие биогенные элементы.

Сельское хозяйство играет важную роль в Российской Федерации и поддержание экологической безопасности производства по-прежнему остается серьезной задачей. В связи с этим возрастает роль экологического мониторинга за состоянием животноводческих объектов, и данная проблема требует своего решения [1, 2]. Мониторинг производства и экологического состояния территорий в реальном времени может быть достигнут с помощью информационных технологий.

Перспективным средством контроля становятся системы геоинформационного мониторинга, использующие данные космической съемки различного разрешения, а также получаемые с беспилотных летательных аппаратов. Ценность этой информации возрастает при её анализе программными средствами, базирующимися на технологиях и методах искусственного интеллекта, которые в последние годы получили значительное распространение в мире. Интегрированные с геоинформационными системами (ГИС) нейронные сети – это мощный инструмент для решения широкого класса задач, обеспечивающий эффективную поддержку принятия решений.

Использование данного подхода актуально для оценки объектов животноводства, особенно предназначенных для переработки побочных продуктов животноводства, что при формировании единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ от сектора сельского хозяйства позволит оперативно и качественно выполнять принятые обязательства Российской Федерации по Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Киотскому протоколу и Парижскому соглашению по климату.

В последние десятилетия наблюдается растущий интерес к использованию нейронных сетей в различных областях, включая обработку и анализ пространственно привязанных геоинформационных данных. Технологии глубокого обучения и нейронные сети обладают потенциалом для автоматизации обработки пространственных данных, классификации изображений, прогнозирования и обнаружения паттернов в геоинформационных приложениях.

Оценка целесообразности применения нейронных сетей в ГИС представляет значимый интерес для научного сообщества в таких областях как экология, природопользование, обработка данных дистанционного зондирования, сельскохозяйственное производство, градостроительство, геология, общественная безопасность и др. [3, 4, 5]. Понимание перспектив и оценка эффективности использования нейронных сетей в ГИС могут привести к разработке инновационных методологий анализа пространственных данных, оптимизации процессов картографирования, прогнозирования и анализа рисков природных и антропогенных явлений.

В растениеводстве геоинформационные системы применяются для анализа сведений о посеве зерновых культур и урожайности. Нейронная сеть используется для синтеза методов и технологий выращивания зерновой культуры с учетом климатических, почвенных и других характеристик выбранной территории [4, 6].

В лесном хозяйстве с помощью нейронных сетей анализируют динамику параметров лесных ресурсов – прирост деревьев, распознают ветровалы и усохшие деревья. Обработка тематических слоев геоинформационных систем с данной информацией помогает планировать лесохозяйственные работы [7, 8].

В демографии и здравоохранении применяются прогностические нейросетевые модели. Они опираются на пространственные данные по плотности населения, медицинской статистике, загрязнению окружающей среды, представленные в виде слоёв геоинформационных систем. На основе этого анализа экспертная система может, например,

– определять вероятностную продолжительность жизни;

– выявлять взаимосвязь различных категорий заболеваемости от экологического состояния территории;

– прогнозировать вспышки эпидемий.

Применение нейросетей позволяет получить качественный прогноз, не уступающий классическим линейным регрессионным моделям [9, 10].

Обработка данных дистанционного зондирования – одна из традиционных задач, решаемых сегодня геоинформационными системами [11, 12]. В данной области нейронные сети, наряду с методами нечеткой логики, нашли наиболее широкое применение [13].

Нейронные сети все чаще используются в задаче выявления пространственно-однородных участков изображения. Эта задача является очень актуальной при разработке теоретических и методологических основ новых альтернативных систем земледелия, принципов экологически безопасного землепользования и проектов землеустройства на ландшафтной основе. Отдельные элементы ландшафта могут быть выявлены на основе анализа фрагментов изображения, их формы, цвета, взаимосвязей, неоднородности. Нейронная сеть также позволит оценить взаимосвязи отдельных элементов ландшафта.

В транспортной отрасли нейронная сеть используется дополнением к ГИС мониторинга автомобильных дорог, задачей для нее является оперативное принятие решения по оптимизации распределения транспортной нагрузки на автомобильные дороги в случае транспортного происшествия в определенном месте, повлекшего за собой скопление автомашин (пробку). Нейронная сеть использует в качестве входных данных слои ГИС с автодорогами, местоположением аварии, текущими погодными условиями и прочими характеристиками, которые влияют на скорость движения [14, 15].

С учётом вышесказанного, стоит задача разработать методику оценки объектов животноводства с использованием ГИС и нейронной сети для распознавания объектов животноводства на основе косвенных признаков. Методика должна раскрывать сбор, анализ и систематизацию следующей информации: обнаружение объектов животноводства, определение направления деятельности (КРС, свиноводство, птицеводство), расчет поголовья животных и птицы, определение образования навоза/помета и питательных элементов в них, определение геометрических размеров животноводческих объектов и их технического состояния, определение технологии переработки ППЖ, определение соответствия вместимости специализированных площадок объемам образующихся отходов на предприятии, расположение животноводческих объектов относительно помещений содержания животных и водных объектов, определение соотношения систем хранения на территории агроэкосистем. Анализ агроэкосистем должен проводиться в масштабе предприятия, группы предприятий, административного района, группы районов.

Целью данной работы является анализ использования нейронных сетей и определение их функциональных возможностей для распознавания объектов животноводства.

Материалы и методы. В работе использовались системный анализ, аналитические методы и обобщения выводов различных авторов. Были проанализированы нормативные, руководящие и рекомендательные документы, свободно распространяемые методики, литература и интернет-источники.

Проведён анализ существующих информационных аналитических программных платформ для сельскохозяйственного производства и их возможности по проведению эколого-экономической оценки агроэкосистем.

Результаты. Мониторинг объектов животноводства, включая переработку ППЖ, подразумевает сбор информации о состоянии объектов, что предусматривает проведение регулярных наблюдений за их состоянием и использованием, исходя из их целевого разрешенного назначения; обработку и хранение информации и анализ качественного состояния объектов с учетом воздействия природных и антропогенных факторов. Всё это представляет собой технологию, состоящую из комплекса методик, направленных на изучение структуры хозяйственной освоенности и природно-экологического каркаса с их временными изменениями.

Принципиальная технологическая схема организации мониторинга объектов переработки побочных продуктов животноводства (рис. 1) включает 5 блоков, функционально связанных друг с другом: блок исходных данных мониторинга; блок подготовки данных мониторинга; блок исследования территории с объектами животноводства.

Рис. 1. Принципиальная технологическая схема организации мониторинга животноводческих объектов

Fig. 1. Basic technological scheme of the organization of livestock facilities monitoring

Блок исходных данных мониторинга включает официальные статистические данные, архивные данные, актуальные пространственные данные, к которым относятся данные о хозяйственной деятельности с сайта ЕМИСС (https://www.fedstat.ru/), снимки животноводческих объектов, топографические и тематические карты, литературные и справочные данные.

К актуальным пространственным данным относятся оптико-электронные и космические снимки. Отечественные и зарубежные оптико-электронные системы, используемые для мониторинга объектов представлены в таблице 1. Одним из основных параметров оптико-электронных спутниковых систем является пространственное разрешение.

Таблица 1. Пространственное разрешение оптико-электронных спутниковых систем

Table 1. Spatial resolution of optoelectronic satellite systems

Пространственное разрешение, м				
	>10	2,5-10	1-2,5	<1
Отечественные	Канопус-В Метеор-М №2; Ресурс-Ф1М	Метеор-М №1; Монитор-Э; Ресурс-Ф; Ресурс-Ф2; Ресурс-Ф3	Аист-2Д; БКА (БелКА); Канопус-В № 1,2,3,4,5,6; РЕСУРС-ДК1; Ресурс-П-1, 2, 3;	Ресурс-П; СТИЛСАТ
Зарубежные	DMC (Великобритания); Landsat-7,8,9 (США); NigeriaSat-2 (Нигерия); SPOT-4 (Франция); Terra ASTER (США);	EROS-A (Израиль); KazEOSat-2 (Казахстан); RapidEye (Германия); KompSat-2 (Южная Корея); Resourcesat-1 (IRS-P6) (Индия);	CartoSat-1 (Индия); KazEOSat-1 (Казахстан); Spot-6, 7 (Франция); THEOS (Таиланд); TeLEOS-1 (Сингапур); ТН-1a, b, c (Китай);	ASNARO-1 (AS-1) (Япония); Beijing-3A1 (Китай); Cartosat-2C, 2D, 2E, 2F (Индия); Deimos-2 (GeoSat-2) (Испания); DubaiSat-2; EO-1 (США); GeoEye-1 (США); KompSat-3, 3A (Южная Корея); Pleiades NEO (Франция); WorldView-2 (США)

Для решения задач мониторинга объектов животноводства следует использовать космические изображения с пространственным разрешением в диапазоне до 10-30 м, которое позволяет с помощью методов цифровой обработки выявить характерные особенности объектов, например, вентиляционные системы на крышах животноводческих зданий для определения направления деятельности предприятия.

Блок подготовки данных мониторинга животноводческих объектов включает в себя предварительную обработку пространственных данных и их анализ. Блок исследования территории с животноводческими объектами включает задачи визуального и автоматического распознавания их структуры, изменений со спутниковых снимков с использованием нейронных сетей. Блок картографического обеспечения служит для визуализации мониторинга и формирования картографической базы данных.

Блок геоинформационного обеспечения предназначен для комплекса задач, направленных на подготовку, хранение, обработку и формирование отчетных материалов по результатам мониторинга животноводческих объектов.

В ходе анализа установлено, что по архитектуре нейронных сетей для решаемой задачи наиболее подходящими являются свёрточные, входными данными которых как раз являются изображения, которые могут быть получены с помощью систем наблюдения со спутников. Слои в свёрточной нейронной сети располагают нейроны в 3-х измерениях по ширине, высоте, глубине. Её архитектура, в своём простейшем представлении, представляет собой упорядоченный набор слоёв, преобразующий представление изображения, позволяющее в частности классифицировать объекты. В распространенных свёрточных нейронных сетях используются несколько различных типов слоёв (свёрточный слой, полносвязный, функция активации, слой подвыборки). Сети такой архитектуры применяются для классификации изображений, распознавания объектов, прогнозирования и других задач.

Схема работы с использованием геоинформационной системы и нейронной сети для распознавания объектов животноводства представлена на рисунке 2. На нейроны входного видимого слоя, которые соответствуют одной из характеристик объекта, подаются измеренные значения этих характеристик. Сигналы, поступившие к нейронам входного слоя, передаются на следующие скрытые слои и выходной слой, отражающие границы, углы и контуры, части объектов, преобразуют входные данные. Выходной слой генерируют скаляр или вектор, которые определяют распознаваемый образ.

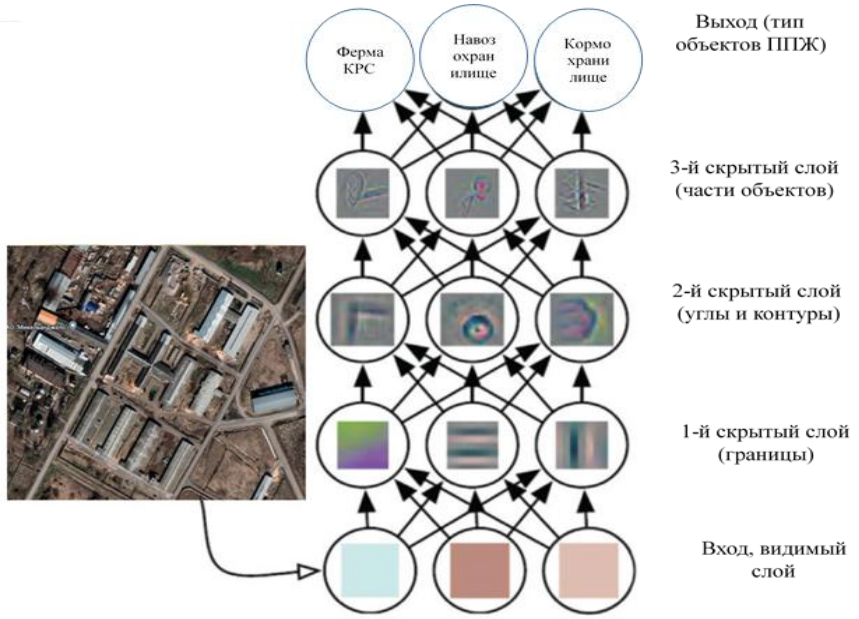


Рис. 1. Распознавание объектов животноводства с использованием нейронных сетей и данных ГИС

Fig. 2. Recognition of livestock facilities using neural networks and GIS data

Далее рассмотрены распространенные типы нейронных сетей, используемые для распознавания объектов (табл. 2).

Таблица 2. Основные типы и особенности нейронных сетей (детекторов) для распознавания и классификации объектов
Table 2. The main types and features of neural networks (detectors) for object recognition and classification

Название	Назначение	Способ обнаружения	Способ обучения	Применение	Преимущества + Недостатки -
YOLO (версии 1–8) сверточная нейронная сеть	Идентификация и определение местоположения объектов на изображении или видео	Обнаружение объектов как единая задача регрессии	Комплексная стратегия обучения	Автономные транспортные средства; робототехника; медицина	+ Высокая точность; высокая скорость; открытый исходный код
Faster R–CNN (2015 г.) быстрая региональная свёрточная нейронная сеть	Классификация и определение местоположения объектов на изображении или видео	Использует концепцию механизма внимания, который указывает последующему детектору Fast R-CNN, где искать объекты на изображении	Сквозное обучение	Автономные транспортные средства; поисково-спасательные службы; медицина;	+ Эффективность; высокая точность; высокая скорость; - сложности с небольшими объектами; высокие вычислительные требования
R–FCN (2016 г.)	Идентификация и определение местоположения объектов на изображении или видео	Используется задача регрессии ограничивающей рамки	Сквозное обучение	Автономные транспортные средства; поисково-спасательные службы; медицина;	+ Высокая скорость
SSD (2016 г.)	Идентификация и определение местоположения объектов на изображении или видео	Оценка положения и вероятности класса	Сквозное обучение	Автономные транспортные средства; робототехника; промышленная автоматизация	+ Высокая скорость; обработка объектов различных размеров и форм; точная идентификация объектов

Из рассмотренных нейронных сетей для оптического распознавания образов, классификации изображений отличается наибольшей скоростью и точностью YOLO.

Обсуждение. С интенсификацией сельскохозяйственного производства усилилось воздействие на окружающую среду (большие объемы навоза и помета вблизи крупных комплексов; необходимость транспортировки органических удобрений на большие расстояния; низкий уровень доли перерабатываемых органических отходов (по ряду субъектов доля перерабатываемых и используемых органических отходов не превышает 20-30%)), что отмечается в работах [1-2]. В связи с этим, появилась потребность в разработке новых подходов и методов решения возникающих экологических проблем, которые рассматриваются в работах [6, 11].

Для проведения объективной оценки агроэкосистем требуется большой объём информации, что говорит о необходимости расширения спектра использования цифровых технологий в данном направлении. Этот вопрос рассматривается в работах [3, 4].

В исследованиях [12-13] рассматриваются различные направления и подходы к использованию нейронных сетей.

На основе изученного материала в статье описаны распространенные нейронные сети, которые можно использовать для оценки влияния объектов животноводства на окружающую среду.

Выводы. Переход к высокопродуктивному сельскохозяйственному производству требует тщательного анализа его воздействия на окружающую среду. Вследствие большого количества объектов участвующих в процессе оценки и различных видов воздействий от них, эффективное решение данной задачи возможно на основе цифровых технологий.

Проведённый анализ показал, что на данный момент отсутствуют специализированные технические и программные средства мониторинга, оценки и прогнозирования развития экологической обстановки при сельскохозяйственном производстве. Для задач мониторинга объектов животноводства и переработки ППЖ применимы дистанционные методы мониторинга земной поверхности с использованием нейронных сетей для их классификации и идентификации.

Для решения задач мониторинга объектов животноводства следует использовать космические изображения с пространственным разрешением в диапазоне до 10-30 м, которое позволяет с помощью методов цифровой обработки выявить их характерные особенности.

Для распознавания данных объектов целесообразно использование сверточных нейронных сетей с обучением.

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. 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

3. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Хухта Х., Васильев Э.В. Информационная система для мониторинга и управления органическими отходами животноводства //

АгроЭкоИнженерия. 2021. № 4 (109). С. 94-106. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-94-105

4. Бутрова Е.В., Меденников В.И., Кокуйцева Т.В., Ковков Д.В.Теоретические основы применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2019. Т. 171. № 4. С. 53-64 EDN: JHKNFC

5. Вебер В.И., Куприц В.Ю., Мещеряков А.А., Куприн М.В. Распознавание наземных объектов на радиолокационном изображении с применением сверточной нейронной сети // Ural Radio Engineering Journal. 2022. № 6 (1). С. 93-101. https://doi.org/10.15826/urej.2022.6.1.005

6. Архипова М. Ю. Моделирование урожайности зерновых культур сельскохозяйственных регионов с использованием технологий компьютерного зрения // Экономика региона. 2022. № 18(2). С. 581-594. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-20

7. Войтов Д.Ю., Васильев С.Б., Кормилицын Д.В. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения // Лесной вестник. 2023. № 27(1). С. 60-66 https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-1-60-6

8. Lis K., Kryjak T. PointPillars backbone type selection for fast and accurate LiDAR object detection. TechRxiv. 2022. 22 p. https://doi.org/10.36227/techrxiv.21251379.v1

9. Швец Ю. Ю., Костина А. А. Автоматизация прогнозирования демографических изменений с помощью нейронных сетей в управлении социально-экономическими системами // Вестник Евразийской науки. 2025. № 17(1), 78. EDN: QPRRJM

10. Белов К.С., Харитонов А.С., Чернова С.В. На перекрестке технологий и медицины: перспективы автоматизации в медицинской практике с применением нейросетей // Инфокоммуникационные технологии. 2023. № 21(4-84). С. 89-93. https://doi.org/10.18469/ikt.2023.21.4.13; EDN: TNRJLL

11. Абедрабу А. А. Ф. Н., Носков И. В. Мониторинговое картографирование городской застройки на основе материалов дистанционного зондирования // Вестник Евразийской науки. 2023. №15(2), 4. EDN: LLVADW

12. Лаптев Н.В., Гергет О.М., Лаптев В.В., Кравченко А.А. Система обнаружения очага возгорания в лесном массиве на основе ансамбля нейронных сетей // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 63. С. 72-83. EDN: YXQUSU

13. Miao J., Hirakawa T., Yamashita T., Fujiyoshi H. 3D object detection with normal-map on point clouds // Proc. 16th Int. Joint Conf. on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications. 2021. Vol. 5. P. 569-576. https://doi.org/10.5220/0010304305690576

14. Grents A., Varkentin V., Goryaev N. Determining vehicle speed based on video using convolu-tional neural network // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 50. P. 192-200 https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.024

15. Shepelev V., Glushkov A., Almetova Z., Mavrin V. A study of the travel time of intersections by vehicles using computer vision // Proc. 6th Int. Conf. on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. 2020. P. 653-658. https://doi.org/10.5220/0009806206530658

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. 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

3. Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Huhta H., Vasilev E.V. Information system for organic livestock waste monitoring and management. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2021;4 (109):94-106. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-94-105

4. Butrova E.V., Medennikov V.I., Kokuitseva T.V., Kovkov D.V. Theoretical foundations for application of geoinformation systems in agriculture. Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIEM = Electromechanical matters. VNIIEM studies. 2019;171(4):53-64 (In Russ.) EDN: JHKNFC

5. Weber V. I., Kuprits V. Yu., Mescheryakov A. A., Kuprits M. V. Recognition of ground objects on a radar image using convolutional neural network. Ural Radio Engineering Journal. 2022;6 (1):93-101. (In Russ.) https://doi.org/10.15826/urej.2022.6.1.005

6. Arkhipova M. Yu. Modelling Crop yield in agricultural regions using computer vision technology. Ekonomika regiona = Economy of Regions. 2022; 18(2): 581-594 (In Russ.) https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-20

7. Voytov D.Yu., Vasil'ev S.B., Kormilitsyn D.V. Technology development for determining tree species using computer vision. Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin. 2023; 27 (1): 60-66. (In Russ.) https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-1-60-66

8. Lis K., Kryjak T. PointPillars backbone type selection for fast and accurate LiDAR object detection. TechRxiv. 2022. 22 p. (In Eng.) https://doi.org/10.36227/techrxiv.21251379.v1

9. Shvets Yu. Yu., Kostina A. A. Automation of forecasting demographic changes using neural networks in managing socio-economic systems. Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal. 2025;17(1), 78. (In Russ.) EDN: QPRRJM

10. Belov K.S., Kharitonov A.S., Chernova S.V. At the crossroads of technology and medicine: prospects of automation in medical practice with the use of neural networks. Infokommunikatsionnye tekhnologii = Info-Communicational Technologies. 2023;21(4-84):89-93. https://doi.org/10.18469/ikt.2023.21.4.13

11. Abedraboo A.A.F.N., Noskov I.V. Monitoring mapping of urban development based on remote sensing materials. Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal. 2023;15(2), 4. (In Russ.) EDN: LLVADW

12. Laptev N.V., Gerget O.M., Laptev V.V., Kravchenko A.A. Forest fire detection system based on neural network ensemble. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2023;63:72-83. (In Russ.) EDN: YXQUSU

13. Miao J., Hirakawa T., Yamashita T., Fujiyoshi H. 3D object detection with normal-map on point clouds. In: Proc. 16th Int. Joint Conf. on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications. 2021;5: 569-576. (In Eng.) https://doi.org/10.5220/0010304305690576

14. Grents A., Varkentin V., Goryaev N. Determining vehicle speed based on video using convolu-tional neural network. Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 50. P. 192-200 (In Eng.) https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.024

15. Shepelev V., Glushkov A., Almetova Z., Mavrin V. A study of the travel time of intersections by vehicles using computer vision. In: Proc. 6th Int. Conf. on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. 2020: 653-658. (In Eng.) https://doi.org/10.5220/0009806206530658

Об авторах	**About the authors**
Максимов Дмитрий Анатольевич 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 maximov@sznii.ru ORCID: 0000-0001-7032-3081	**Dmitrii A. Maximov,** 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 maximov@sznii.ru ORCID: 0000-0001-7032-3081
Папушин Эдуард Александрович 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 papushinea@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7035-4654	**Eduard A. Papushin,** 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 papushinea@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7035-4654
Васильев Эдуард Вадимович канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3	**Eduard V. Vasilev**, Cand. Sc. (Engineering), leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint

sznii6@ yandex.ru.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793	Petersburg, Russia sznii6@ yandex.ru.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793
Заявленный вклад авторов Все авторы внесли равный вклад в работу, в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность.	**Authors'contribution** 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.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper
Статья поступила в редакцию: 25.03.2025	**Received:** 25.03.2025
Одобрена после рецензирования: 21.05.2025	**Approved after reviewing:** 21.05.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025

Научная статья
УДК 631.86 DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-129-143

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СМЕШИВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ БИОФЕРМЕНТАЦИИ

Эдуард Вадимович Васильев[1], Александр Сергеевич Романов[2]✉, Павел Викторович Белов[3]

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

[1]sznii6@yandex.ru.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5793
[2]✉alarm.romanoff@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0004-6604-5735
[3]steelaxiom@gmail.com

Аннотация. Одной из самых актуальных проблем в сельскохозяйственном производстве является утилизация и переработка органических отходов: навоза, пищевых отходов, соломы, стеблей, веток, остатков кормов. Среди существующих способов переработки органических отходов наиболее прогрессивной технологией является их биоферментация в установках камерного и барабанного типа с получением органического удобрения. Технология биоферментации предъявляет серьезные требования к параметрам исходного сырья: влажности, соотношению углерода к азоту, плотности, кислотности,

воздухопроницаемости. Для достижения рекомендуемых значений данных параметров необходимо создавать смесь, состоящую из различных по физико-механическим свойствам и составу компонентов, ввиду чего возникает необходимость равномерного распределения компонентов внутри смеси. Добиться этого можно путем применения оборудования по смешиванию компонентов смеси. Цель исследования – анализ технологий и технических средств для смешивания компонентов органической смеси для биоферментации.

Существующие смесители имеют ряд ограничений в части их применимости, либо они используются неэффективно из-за того, что смесь для переработки в биоферментаторах может представлять собой сочетание различных органических компонентов разной влажности, плотности и состава. В результате выполненного анализа выделены наиболее важные параметры для обоснования выбора конструкции смесителя органических отходов: сложность конструкции, удельное энергопотребление, возможность работы с разнодисперсными материалами. Обоснована конструкция ленточного смесителя органических отходов горизонтального типа для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров: времени смешивания, частоты вращения вала смесителя, шага винта, угла наклона винтовой линии, ширины ленты.

Ключевые слова: экологическая безопасность, технологии переработки, биоферментатор, органические удобрения, смешивание, сыпучие смеси

Для цитирования: Васильев Э.В Романов А.С., Белов П.В. Анализ технологий и технических средств смешивания органических компонентов для биоферментации // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 2(123). С. 129-143 https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2025-2123-129-143

Research article
Universal Decimal Code 631.86

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT FOR MIXING ORGANIC COMPONENTS FOR FERMENTATION

Eduard V. Vasilev[1], Alexander S. Romanov[2✉], Pavel V. Belov[3]

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

[1]szniі6@yandex.ru.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5793
[2✉]alarm.romanoff@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0004-6604-5735
[3]steelaxiom@gmail.com

Abstract. One of the most important issues in agricultural production is the disposal and processing of organic waste. This is manure, food waste, straw, stems, twigs, and feed residues. There are available several organic waste processing methods. Fermentation in chamber and drum-type installations is the most advanced one. It produces high-quality organic fertilizers in a short time. Fermentation technology specifies strict requirements to the initial material parameters. These include moisture content, carbon-nitrogen ratio, density, acidity, and permeability to air. To achieve their recommended values, a mixture of components with different physical and mechanical

properties and composition needs to be created. The components should be evenly spread over the mixture. This could be done by special mixing equipment. The purpose of the study was to examine technologies, machines and equipment for mixing components in an organic mixture to be fermented. Existing mixers have several limitations as to their applicability. On the other hand, they may be used inefficiently because this mixture may be a combination of various organic components of different humidity, density, and composition. The performed analysis identified the most important parameters to justify the choice of an organic waste mixer design: design complexity, specific energy consumption, and the ability to work with heterogeneous materials. The study substantiated the design of a horizontal type belt mixer for further theoretical and experimental investigations. These would be aimed to determine its optimal design and such technological parameters as the mixing time, the mixer shaft speed, screw pitch, screw inclination angle, and belt width.

Key words: environmental safety, processing technologies, fermenter, organic fertilizers, mixing, loose mixtures.

For citation: Vasiliev E.V. Romanov A.S., Belov P.V. Analysis of technologies, machines and equipment for mixing organic components for fermentation. AgroEcoEngineering. 2025; 2(123): 129-143 (In Russ.) https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2025-2123-129-143

Введение. Одной из главных экологических проблем на сегодняшний день является утилизация органических отходов сельскохозяйственного производства. Сельскохозяйственные отходы — это остатки и отходы, которые возникают в процессе сельскохозяйственной деятельности. Они могут включать различные материалы, такие как растительные остатки, навоз, пищевые отходы, солома, стебли, ветки, корневища, шелуха, остатки кормов и другие подобные материалы. Переработка отходов в органическое удобрение имеет важное значение для эффективного использования ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду [1-3].

Существует ряд способов переработки органических отходов: длительное хранение, пассивное и активное компостирование, биоферментация в установках камерного и барабанного типа, термическая сушка, анаэробное сбраживание. Одной из наиболее прогрессивных технологий обращения с такими отходами является их переработка в органическое удобрение в биоферментационных установках камерного и барабанного типа. Данные технологии позволяют перерабатывать органические отходы в кратчайшие по сравнению с длительным выдерживанием и компостированием сроки (3-8 дней), при этом получать органическое удобрение с высокими качественными характеристиками ввиду низких потерь питательных веществ. В то же время затраты на переработку отходов значительно ниже по сравнению с анаэробным сбраживанием и термической сушкой [4-6].

Технология биоферментации предъявляет серьезные требования к параметрам исходного сырья: влажности, соотношению углерода к азоту, плотности, кислотности, воздухопроницаемости. В зависимости от вида органического отхода исходные параметры будут отличаться. Основные требования к смеси заключаются в параметрах влажности (50-60%) и соотношения углерода к азоту (15/1 – 25/1). Для достижения данных параметров необходимо создавать смесь, состоящую из различных по физико-механическим свойствам и составу компонентов. Особенностью биоферментации является принудительная аэрация органической смеси с целью создания оптимальных условий для жизнедеятельности содержащихся в смеси микроорганизмов, которые напрямую оказывают влияние на

протекание процесса [7]. Для равномерного разогрева смеси и снижения в ней числа анаэробных зон возникает необходимость равномерного распределения компонентов смеси в смеси [8, 9]. Добиться этого можно путем применения оборудования по смешиванию компонентов смеси для создания оптимальных условий биоферментации.

На рынке существует множество моделей смесителей, отличающихся простотой, высокой производительностью, надежностью. Однако их использование накладывает ряд ограничений в части их применимости либо приводит к их неэффективному использованию ввиду того, что смесь для переработки в биоферментаторах может представлять собой сочетание различных органических компонентов разной влажности, плотности и состава.

Цель работы – анализ технологий и технических средств для смешивания компонентов органической смеси (навоз, помет, отходы овощебаз, отходы лесопаркового хозяйства и др.) при биоферментации.

Материалы и методы. Методы исследования основаны на анализе информации, полученной из открытых источников: научные статьи, патенты. При разработке 3D-модели смесителя органических отходов использовалась система автоматизированного проектирования SolidWorks.

Результаты. Смесители сыпучих смесей должны быть универсальны, просты по устройству, эргономичны, надежны и удобны в эксплуатации и техническом обслуживании. Также смесители должны иметь возможность работы с материалами, обладающими разными физико-химическими показателями (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические показатели органических отходов
Table 1. Physical and chemical parameters of organic waste

Класс органических отходов	Физико-химические показатели			
	Влажность, %	pH	Азот, %	C/N
Лесопарковые	60-90	5,1-7,5	1-5	от 20 до 40
Отходы овощехранилищ	70-90	6-7,5	1-3	от 10 до 20
Отходы ферм КРС	60-80	7,3-7,5	1,5-2,5	от15 до 25
Куриный помет	50-70	6,5-8	3-4,5	от 5 до 10

Существует много типов смесителей в зависимости от их назначения [10-13]. Классификационная структура и основные типы смесителей для сыпучих смесей показаны на рисунке 1.

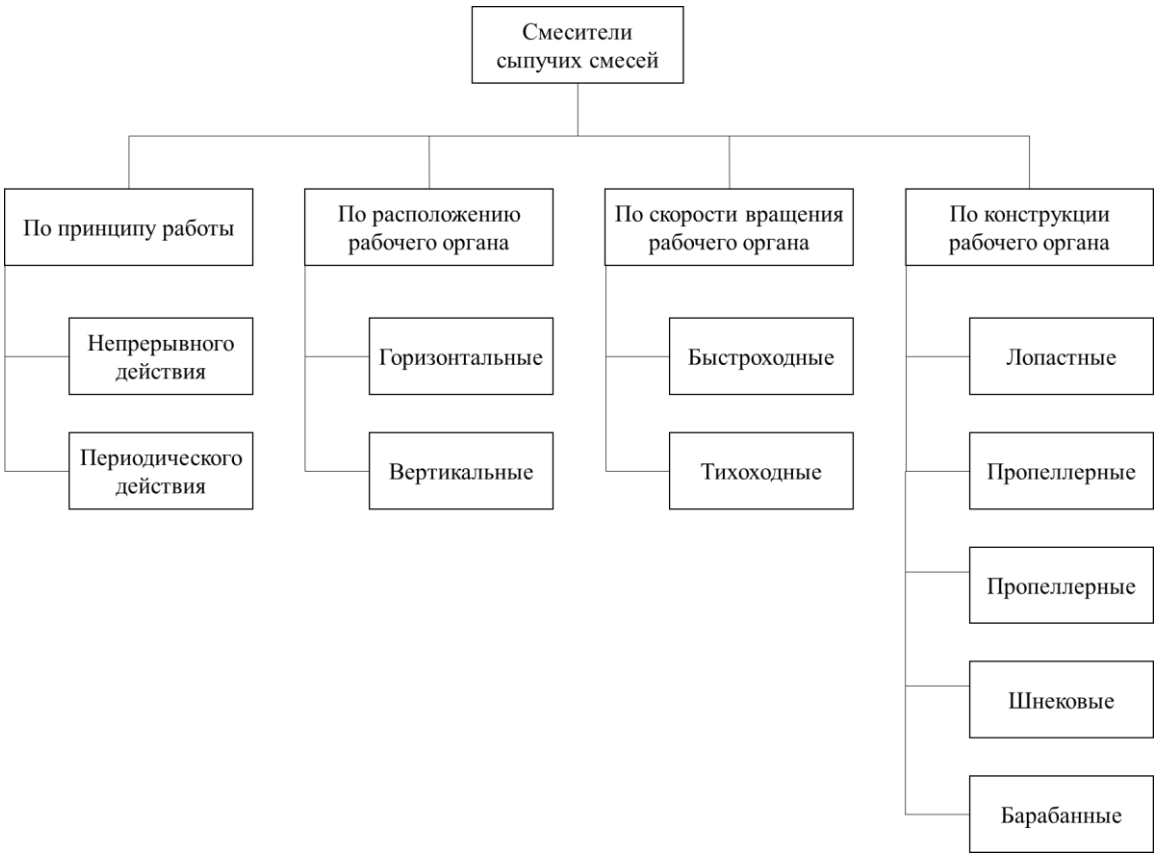


Рис. 1. Классификационная структура смесителей сыпучих смесей

Fig. 1. Classification of bulk mixers

На рынке смесителей и среди запатентованных решений существуют различные модели оборудования, которые представляют собой как собственно смесители, так и сочетают в себе функции измельчения, смешивания и раздачи (для кормов) сыпучих смесей.

Например, измельчитель-смеситель Rotochopper B-66T (рис. 2) оснащен системой измельчения с ножами и ротором, а также системой смешивания для создания однородной смеси-пасты. Данный измельчитель-смеситель позволяет перерабатывать широкий спектр сырья: деревья, железнодорожные шпалы, асфальтовую кровельную черепицу, тюки, древесную щепу и др.

Рис. 2. Измельчитель-смеситель Rotochopper B-66T

Fig. 1. Shredder Mixer Rotochopper B-66T

Многофункциональный кормораздатчик АКМ-9 (рис. 3) объединяет в себе функции кормосмесителя и кормораздатчика. Используется для приготовления корма из соломы, сена и пищевых добавок для крупного рогатого скота (КРС). Комплексный подход сокращает

затраты на приготовление и раздачу кормов. Миксер, укомплектованный мультипликатором, с двумя скоростями вращения шнека, позволяет снизить время приготовления кормовой смеси в 1,5 раза.

Рис. 3. Кормораздатчик АКМ-9
Fig. 3. Feев distributor АКМ-9

Смеситель горизонтальный серии СГ-2 (рис. 4) – это машина стационарного типа с электрифицированным приводом рабочих органов. Основные узлы СГ-2 – это рама, корпус, два вала, привод на ременной передаче и крышка. Смеситель серии СГ-2 лопастной смешивает сыпучие компоненты премиксов, комбикормов, и т.д. Данные смесители используются в строительной, химической, пищевой промышленности, особенно там, где необходимо высокое качество и производительность. На комбикормовых заводах обычно их устанавливают в линиях смешивания. Минимум энергии и максимум качества без повреждений продукта в короткий срок – преимущества данного смесителя, так как происходит эффективное разнонаправленное вращение лопастей, перекрывающих друг друга. Из-за усиленной конструкции данных смесителей их можно запускать под нагрузкой; турбулентное движение и свободное перемещение массы продукта образовывают кипящий слой, где быстро и наилучшим образом распределяются порошки, гранулы, жидкости и т.д. Смесители серии СГ обеспечивают однородность смеси независимо от размера частиц и насыпной плотности смешиваемых продуктов.

Рис. 4. Смеситель горизонтальный СГ-2
Fig. 4. Horizontal mixer СГ-2

Ленточный горизонтальный смеситель СГ-1 (рис. 5) создает однородную смесь из нескольких компонентов со стабильными характеристиками и равномерно распределенными свойствами. Применяется в химической промышленности для производства удобрений, пигментов, красителей, полимерных материалов, смол, моющих средств, химических реагентов и т.д. В пищевой промышленности требуется для производства муки, сахара, специй, кормов для животных, сухих смесей для выпечки, молочных продуктов, мясных

изделий и т.д. В сельском хозяйстве нужен для приготовления кормовых смесей, удобрений, пестицидов, гербицидов, добавок для повышения урожайности. Другие отрасли применения – фармацевтика и производство косметики, керамики, стекла, бумаги, пластмасс, металлургическая и строительная промышленности.

Рис. 5. Ленточный горизонтальный смеситель СГ-1

Fig. 5. Horizontal belt mixer СГ-1

Универсальный кормосмеситель с дозатором «Комар» (рис. 6) сочетает в себе равномерное смешивание гранулируемого состава и ввод жидких компонентов и применяется в производстве гранул и пеллет за счет продуманной конструкции лопаток. Транспортер служит для выгрузки сырья на фиксированной скорости. Дозатор с электронным блоком управления может менять скорость вращения шнека, подходит для автоматизации процесса подачи сырья в гранулятор или пеллетайзер.

Рис. 6. Универсальный кормосмеситель с дозатором «Комар»

Fig. 6. Universal feed mixer with Komar dispenser

Смеситель-измельчитель для приготовления кормов (рис. 7) используется в технологических линиях приготовления кормов для животных. Он состоит из корпуса 1, в котором находится шнек 2 и установленный на его ступице двухлучевой нож 3, а также лопатки 4 для смешивания с возможностью их поворота относительно радиальной плоскости в зависимости от физико-механических свойств смешиваемого и измельчаемого материала. Смесь циркулирует вокруг лопатки, что способствует перемешиванию [14].

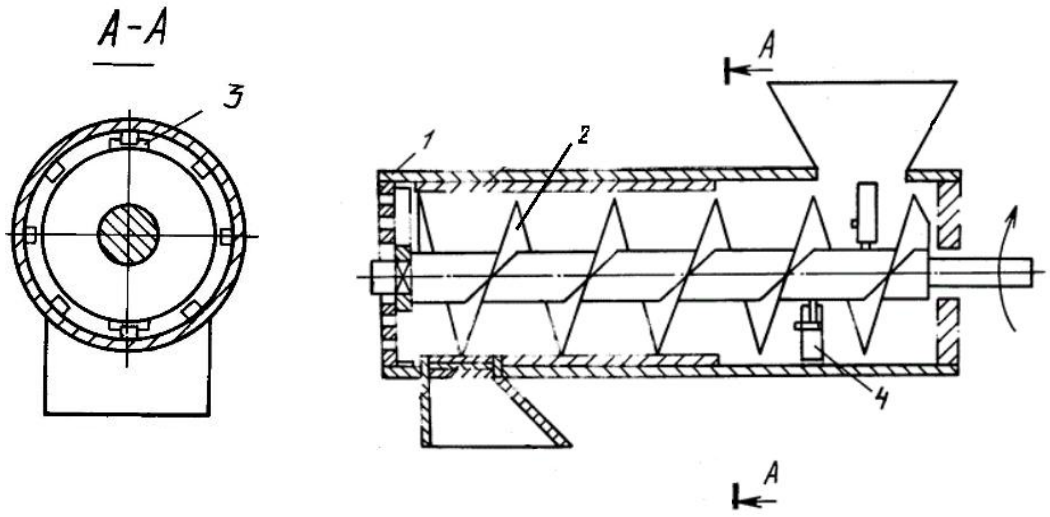


Рис. 7. Смеситель-измельчитель для приготовления кормов:
1 – корпус; 2 – шнек; 3 – двухлучевой нож; 4 – лопатки
Fig. 7. Mixer-chopper for feed preparation:
1 – case; 2 – auger; 3 – double-beam knife; 4 – blades

Существует горизонтальный смеситель для смешивания сыпучих компонентов (рис. 8). Области применения: сельское хозяйство, пищевая, химическая и другие отрасли промышленности [15].

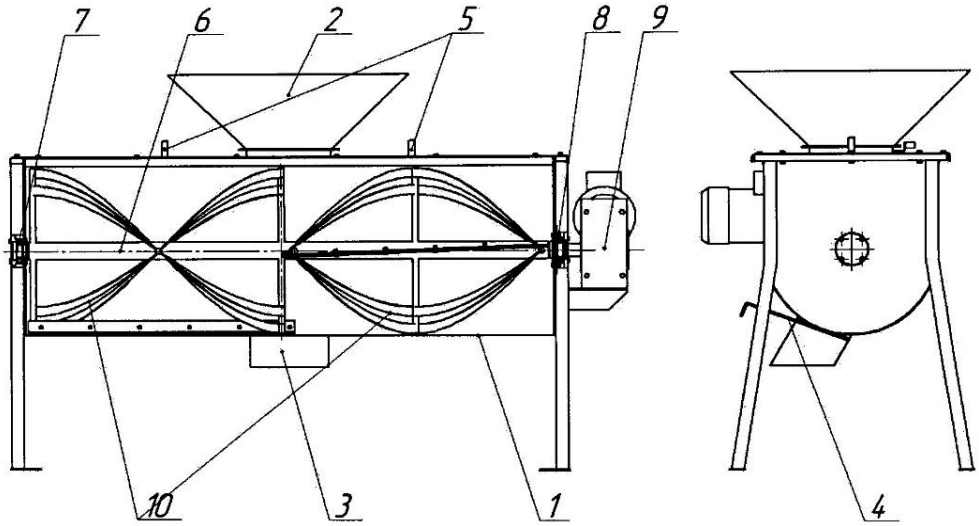


Рис. 8. Горизонтальный смеситель
1 – камера; 2 – загрузной патрубок; 3 – выгрузной патрубок; 4 – заслонка;
5 – патрубок для ввода дополнительных добавок; 6 – вал; 7 – подшипниковая опора;
8 – подшипниковая опора; 9 – привод; 10 – смешивающие секции
Fig. 8. Horizontal mixer
1 – chamber; 2 – inlet pipe; 3 – outlet pipe; 4 – flap;
5 – pipe for introducing additional additives; 6 – shaft; 7 – bearing support;
8 – bearing support; 9 – drive; 10 – mixing sections

Горизонтальный смеситель имеет смесительную камеру U-образной формы с загрузочным патрубком и выгрузным патрубком, рабочий орган, представляет собой вал, на котором

последовательно закреплены под углом относительно друг друга две одинаковые смешивающие секции, при этом каждая смешивающая секция представляет собой два симметричных относительно оси вала набора ленточных рабочих лопастей, каждый из которых состоит из двух взаимно противоположно навитых ленточных спиралей, одна из которых внешняя и навита по большему диаметру, другая – внутренняя и навита по меньшему диаметру.

Преимуществами данного агрегата являются сокращение времени, повышение эффективности перемешивания компонентов корма, а также повышение производительности и снижение удельных энергозатрат.

Для приготовления смеси из стебельчато-вязких компонентов существует устройство, состоящее из горизонтального ковшеобразного корпуса 1, внутри корпуса 1 находится перемешивающий орган, в виде вала 2 с лопастями 3, с треугольными лопатками 4 на концах. Вал перемешивающего органа – прямоугольный (рис. 9).

Агрегат используется в сельском хозяйстве, где необходимо приготовление смесей и растворов, в основном, в животноводстве, также используются и в строительстве [16].

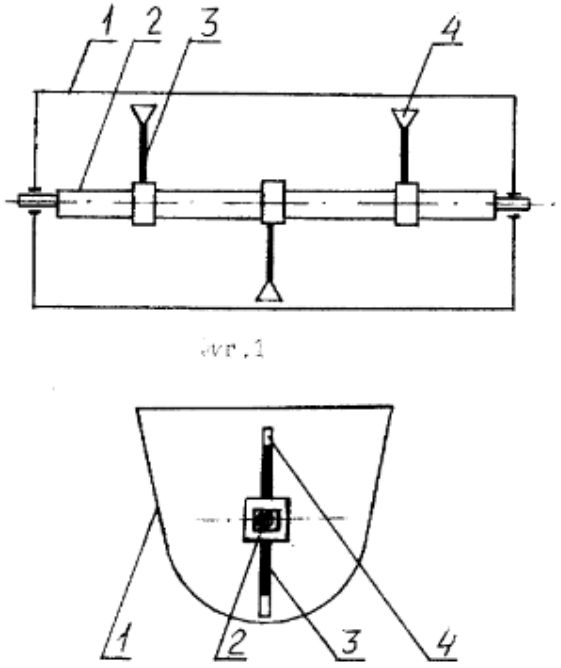


Рис. 9. Устройство для приготовления смеси из стебельчато-вязких компонентов:
1 – корпус; 2 – вал; 3 – лопасти; 4 – треугольные лопатки
Fig. 9. Device for preparing a mixture of stalked-viscous components:
1 – case; 2 – shaft; 3 – blades; 4 – triangular blades

Обсуждение. Сведем рассмотренные смесители в общую таблицу 2, в которой приведены наиболее важные параметры для обоснования выбора конструкции смесителя органических отходов: сложность конструкции, удельное энергопотребление, возможность работы с разнодисперсными материалами.

Таблица 2. Количественно-качественный анализ оборудования по смешиванию сыпучих компонентов
Table 2. Quantitative and qualitative analysis of equipment for mixing bulk components

Наименование	Параметры оборудования

оборудования	Сложность конструкции	Удельное энергопотребление	Работа с разнодисперсными материалами
Измельчитель-смеситель Rotochopper B-66T	+++++	-	++++
Кормораздатчик АКМ-9	++++	ВОМ	++
Смеситель горизонтальный СГ-2	+++	0,25 кВтч/м^3	+++
Ленточный горизонтальный смеситель СГ-1	+	0,5 кВтч/м^3	+++
Универсальный кормосмеситель с дозатором «Комар»	++	0,47 кВтч/м^3	+++
Смеситель-измельчитель для приготовления кормов	+	-	+
Горизонтальный смеситель для смешивания сыпучих компонентов	++	-	+++
Устройство для приготовления смеси из стебельчато-вязких компонентов	+	-	++
Примечание: + обобщенная оценка для сравнительного анализа - информация по энергопотреблению для ряда оборудования отсутствует в открытых источниках.			

Для переработки органических отходов в биоферментаторе в качестве устройства, позволяющего смешивать компоненты смеси, наилучшим образом подходит стационарный ленточный смеситель горизонтального типа с возможностью выгрузки готовой смеси. К преимуществам применения такого смесителя в приготовлении компостной смеси можно отнести возможность смешивать различные материалы с разной дисперсностью, простоту конструкции, большую патентную базу полезных моделей и изобретений. Также по данным производителей данный тип смесителя является наименее энергозатратным по сравнению с лопастным смесителем того же объема: мощность двигателя ленточного смесителя с рабочим объемом 0,36 м^3 составляет 3 кВт, а мощность двигателя лопастного смесителя с рабочим объемом 0,36 м^3 составляет 5,5 кВт[36].

Взяв в качестве прототипа ленточный смеситель, разработана 3D-модель экспериментального образца смесителя органических отходов вместимостью до 0,3 м^3 (рис. 10), состоящего из рамы 1, мотор-редуктора 2, вала со шнеками 3 и корпуса 4. Принцип

[36] Смесители горизонтальные | Курский Завод Грануляторов [Электронный ресурс]. URL: https://kurskie-granulyatory.ru/catalog/smesiteli-gorizontalnye/ (дата обращения 20.01.2025)

действия ленточного смесителя основан на разнонаправленной навивке наружного и внутреннего шнека. При вращении вала 3 создаются разнонаправленные потоки, что обеспечивает равномерное смешивание компонентов смеси. Загрузка смеси в корпус 4 осуществляется вручную, выгрузка осуществляется через задвижку, расположенную с торцевой части корпуса смесителя (на рисунке не показана).

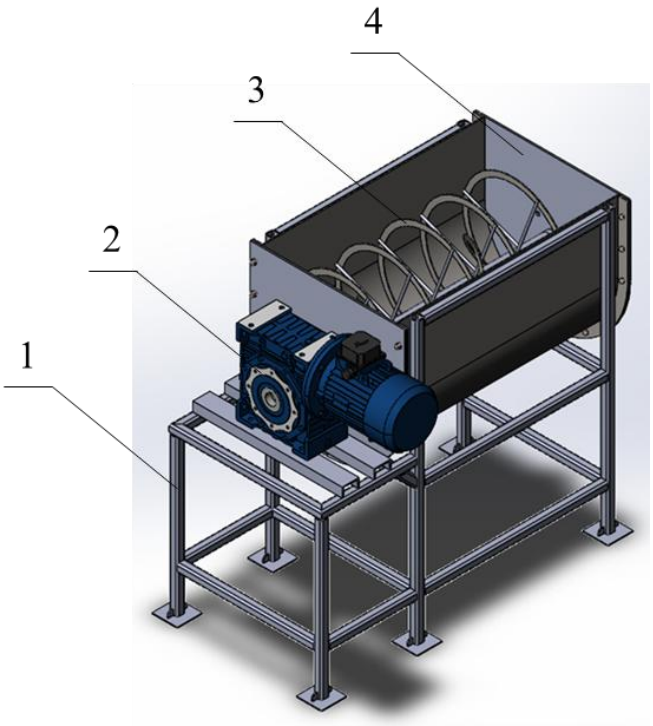


Рис. 10. 3D-модель экспериментального образца смесителя органических отходов:
1 – рама; 2 – мотор-редуктор; 3 – вал со шнеками; 4 – корпус
Fig.10. 3D model of an experimental prototype of the organic waste mixer:
1 – frame; 2 – gear motor; 3 – shaft with screws; 4 – case

Вместимость бункера смесителя подобрана с учетом дальнейшей переработки органических отходов в биоферментаторе с полезным объемом барабана 1 м^3 и условия ежедневной загрузки/выгрузки 1/3 объема загружаемых в барабан отходов при непрерывном режиме работы биоферментатора. При времени рабочего цикла для смешивания компонентов 15 минут и при загрузке бункера смесителя (плотностью смеси 650 кг/м^3) на 75% от общего объема расчетная производительность смесителя составит 0,6 т/ч.

Выводы. В результате проведенного анализа технологий и технических средств для смешивания компонентов сыпучих смесей было отмечено, что наиболее перспективным устройством, позволяющим смешивать компоненты смеси для их дальнейшей биоферментации, является ленточный смеситель. Данный вид смесителя отличается простотой конструкции, позволяет смешивать различные виды материалов и является наименее энергозатратным по сравнению с аналогами: мощность двигателя ленточного смесителя составляет 3 кВт, а мощность двигателя лопастного смесителя составляет 5,5 кВт при одинаковом рабочем объеме бункера 0,36 м^3.

Для переработки отходов в биоферментаторе с полезным объемом барабана 1 м^3 разработана модель экспериментального образца смесителя органических отходов вместимостью до 0,3 м^3, с расчетной производительностью 0,6 т/ч. Данный смеситель позволит повысить эффективность биоферментации за счет улучшения доступности

кислорода для микроорганизмов, содержащихся в смеси и оказывающих наиболее сильное влияние за разложение органических материалов, благодаря предварительному перемешиванию отходов и, тем самым, снижая количество анаэробных зон в смеси. В дальнейшем планируется обосновать конструктивно-технологические параметры смесителя органических отходов (время смешивания, частоту вращения вала смесителя, шаг винта, угол наклона винтовой линии, ширину ленты) для качественного приготовления смеси различных органических компонентов разной влажности, плотности и состава.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фисунова Л.В. Вишневская А.В. Анализ возможностей утилизации и переработки сельскохозяйственных отходов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 5(97). С. 232-236. EDN: NBLYUV

2. Кузнецова Н.А., Зинич Л.В. Вторичная переработка отходов как фактор устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий // Фундаментальные исследования. 2021. № 11. С. 120-124. https://doi.org/10.17513/fr.43132

3. Агапкин А.М., Махотина И.А. Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 212-225. https://doi.org/10.36107/spfp.2021.221

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

5. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Анализ технологий переработки отходов животноводства в различных природно-климатических условиях России // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 3(116). С. 110-124. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123

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

7. Романов А.С., Васильев Э.В. Аэродинамический расчет системы воздуховодов автономного биоферментатора камерного типа // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2(115). С. 35-45. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-35-45.

8. Романов А.С. Определение теплового режима работы биоферментатора камерного типа // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 2(119). С. 82-92 https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-2119-82-91

9. Колдин М.С., Криволапов И.П. Определение теплофизических характеристик компостируемого материала в процессе биоферментации // Наука и образование. 2022. Т. 5, № 1. EDN: BNYDEL

10. Ведищев С.М., Завржнов А.И., Прохоров А.В., Ложкина Е.Б. Обзор и анализ конструкций смесительных устройств // Наука в центральной России. 2022. № 58(4). С. 91-101. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-91-101

11. Благов Д. А., Митрофанов С. В., Панферов Н. С., Мельничук Д. С. Технические особенности кормосмесителей для приготовления полносмешанного рациона // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 107–111. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp107-111

12. Савиных П.А., Турубанов Н.В., Зырянов Д.А. Обоснование конструкционно-технологических параметров ленточного смесителя // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 3(19). С. 76-80. EDN: VCGRZN

13. Ульянов, В. М., Паршина М. В., Батирова В. А. Производительность двухспирального смесителя концентрированных кормов // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 3(55). С. 46-55. EDN: XNUMTU

14. Игнатенков В.Г., Морозов В.В., Волошин Ю.И., Игнатенков Г.И. Смеситель-измельчитель для приготовления кормов. Патент № 2277836 РФ, заявл. 23.04.2004: опубл. 20.06.2006. Бюл. № 17. URL: https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2006FULL/2006.06.20/DOC/RUNWC2/000/000/002/277/836/DOCUMENT.PDF

15. Сергеев А.Г., Гаринова Т.А., Ступин И.В. Горизонтальный смеситель. Патент № 125884 РФ, заявл. 02.10.2012: опубл. 20.03.2013. Бюл. № 8. URL: https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2013FULL/2013.03.20/DOC/RUNWU1/000/000/000/125/884/DOCUMENT.PDF

16. Цегельник А.П., Бурлаков Ю.В., Петрягин И.Н., Изаак Б.И. Устройство для приготовления смеси из стебельчато-вязких компонентов. Патент № 2940 РФ, заявл. 04.05.1995: опубл. 16.10.1996.

REFERENCES

1. Fisunova L.V., Vishnevskaya A.V. Analysis of the possibilities of utilization and processing of agricultural waste. Izvestiya OGAU = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022; 5(97): 232-236. (In Russ.) EDN: NBLYUV

2. Kuznetsova N.A., Zinich L.V. Secondary waste processing as a factor of sustainable development of agricultural enterprises. Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research. 2021. No. 11. pp. 120-124. (In Russ.) https://doi.org/10.17513/fr.43132

3. Agapkin A.M., Makhotina I.A. Agricultural waste processing: organic fertilizer market and organic food production. Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya = Storage and Processing of Farm Products. 2021; 3: 212-225. (In Russ.) https://doi.org/10.36107/spfp.2021.221

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

5. Shalavina E.V., Vasilev E.V., Papushin E.A. Analysis of technologies for processing animal waste in different natural and climatic conditions of Russia. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2023; 3(116): 110-124. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123

6. Romanov A.S., Vasiliev E.V. Analysis of livestock’s by-products processing intensive technologies at the alternative energy sources introducing. Tekhnika i Tekhnologii v Zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock. 2022; 4(48):90-97. (In Russ.) https://doi.org/10.51794/27132064-2022-4-90; EDN: TZJNNS

7. Romanov A.S. Vasliev E.V. Aerodynamic calculation of an air ducting system for an autonomous chamber type biofermenter. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2023; 2(115): 35-45. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-35-45
8. Romanov A.S. Determining the thermal operating mode of a chamber fermenter. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2024; 2(119): 82-92 (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2713- 2641-2024-2119-82-91. (In Russ.)
9. Koldin M.S., Krivolapov I.P. Determination of thermophysical characteristics of composted material in the process of biofermentation Nauka i obrazovanie = Science and Education. 2022;5 (1), 110. (In Russ.) EDN: BNYDEL
10. Vedishchev S.M., Zavrazhnov A.I., Prokhorov A.V., Lozhkina E.B. Overview and analysis of mixing device designs. Nauka v tsentral'noi Rossii = Science in the central Russia. 2022;58(4):91-101. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-91-101
11. Blagov D.A., Mitrofanov S.V., Panfyorov N.S., Mel'nichuk D.S. Technical features of feed mixers for the preparation of a fully mixed diet. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;12:107–111. (In Russ.) http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp107-111
12. Savinykh P.A., Turubanov N.V., Zyryanov D.A. Substantiation of the design and technological parameters of the belt mixer. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva = Bulletin of the All-Russian Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry. 2015; 3(19):76-80. (In Russ.) EDN: VCGRZN
13. Ulyanov V.M., Parshina M.V., Batirova V.A. Productivity of a double spiral mixer for concentrated feeds. Vestnik agrarnoy nauki Dona = Don Agrarian Science Bulletin. 2021;3(55): 46-55. (In Russ.) EDN: XNUMTU
14. Ignatenkov V.G., Morozov V.V., Voloshin Yu.I., Ignatenko G.I. Mixer-shredder for feed preparation. Patent No. 2277836 Russian Federation. 2006. (In Russ.) Available at: https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2006FULL/2006.06.20/DOC/RUNWC2/000/000/002/277/836/DOCUMENT.PDF
15. Sergeev A.G., Goryunova T.A., Stupin I.V. Horizontal mixer. Patent No. 125884 Russian Federation. 2013. (In Russ.) Available at: https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2013FULL/2013.03.20/DOC/RUNWU1/000/000/000/125/884/DOCUMENT.PDF
16. Tsegelnik A.P., Burlakov Yu.V., Petryagin I.N., Izaak B.I. A device for preparing a mixture of stalked-viscous components. Patent No. 2940 Russian Federation. 1996. (In Russ.)

Об авторах	**About the authors**
Васильев Эдуард Вадимович канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3 sznii6@yandex.ru.ru	**Eduard V. Vasilev**, Cand. Sc. (Engineering), leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia sznii6@yandex.ru.ru ORCID: 0000-0002-5910-5793

ORCID: 0000-0002-5910-5793	
Романов Александр Сергеевич младший научный сотрудник, отдел анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3 alarm.romanoff@yandex.ru ORCID: 0009-0004-6604-5735	**AlexanderS. Romanov** junior researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia alarm.romanoff@yandex.ru ORCID: 0009-0004-6604-5735
Белов Павел Викторович аспирант, отдел анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш. 3 steelaxiom@gmail.com	**Pavel V. Belov** post-graduate student, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 196634 Filtrovskoje Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia steelaxiom@gmail.com
Заявленный вклад авторов Все авторы внесли равный вклад в работу, в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность.	**Authors' contribution** 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
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	**Conflict of interests** The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper
Авторы прочитали и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
Статья поступила в редакцию: 17.02.2025	**Received:** 17.02.2025
Одобрена после рецензирования: 21.04.2025	**Approved after reviewing:** 21.04.2025
Принята к публикации: 27.05.2025	**Accepted for publication:** 27.05.2025