

Разработка комбинированного сошника для повышения эффективности бинарных посевов

Д. Т. Халиуллин✉, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машины и оборудование в агробизнесе»

И. Х. Гайфуллин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе»

Р. М. Шакиров, аспирант кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе»

ФГБОУ ВО Казанский ГАУ

420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 65

✉ damirtag@mail.ru

Резюме. В рамках решения задачи повышения эффективности кормопроизводства исследовали возможность совершенствования технологии бинарных посевов за счет разработки нового комбинированного сошника. Целью работы является разработка и обоснование конструкции комбинированного сошника, позволяющего реализовать ресурсосберегающую технологию кормопроизводства на основе бинарных посевов. Обоснована принципиальная схема устройства, основным элементом которого является вращающийся гибкий шнек, обеспечивающий дозированную подачу удобрений. Установлено, что производительность туконаправителя линейно зависит от частоты вращения (n) и диаметра шнека (D): при постоянной $n = 200 \text{ мин}^{-1}$ производительность при $D = 60 \text{ мм}$ в 5,3 раза выше, по сравнению с производительностью при $D = 20 \text{ мм}$. Выявлено существенное влияние типа удобрения на производительность: максимальный показатель – при работе с карбамидом (120 кг/ч при 140 мин^{-1}), минимальный – с гранулированным помётом (40,8 % от уровня карбамида). Установлено, что потребляемая мощность привода не превышает 1,37 кВт, что подтверждает возможность привода от ходовых колес. Доказана высокая энергоэффективность конструкции: увеличение диаметра шнека с 20 мм до 60 мм при $n = 150 \text{ мин}^{-1}$ снижает удельную энергоёмкость с 5,6 Вт·ч/кг до 2,8 Вт·ч/кг. Увеличение частоты вращения с 30 мин^{-1} до 270 мин^{-1} повышает износ тукопровода диаметром 20 мм в 4,4 раза, а увеличение диаметра до 60 мм снижает износ на 25 % при $n = 150 \text{ мин}^{-1}$. В результате обсуждения определены рациональные параметры работы устройства: диаметр шнека – 40 мм, а частота вращения – $100\text{...}200 \text{ мин}^{-1}$. Такие параметры обеспечивают компромисс между производительностью, энергозатратами и долговечностью. Сделан вывод об эффективности предложенной конструкции и подтверждении теоретической возможности повышения равномерности распределения удобрений на 15...20 %, что приведет к потенциальному увеличению урожайности на 10...15 %.

Ключевые слова: комбинированный сошник, гибкий шнек, бинарные посева, минеральные удобрения, кормопроизводство, ресурсосберегающие технологии, урожайность.

Для цитирования: Халиуллин Д. Т., Гайфуллин И. Х., Шакиров Р. М. Разработка комбинированного сошника для повышения эффективности бинарных посевов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 1 (73). С. 177-183. doi:10.18286/1816-4501-2026-1-177-183

Development of a combined opener to increase the efficiency of binary seeding

D. T. Khaliullin✉, I. Kh. Gaifullin, R. M. Shakirov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan State Agrarian University»

420015, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, K. Marx st., 65 ✉ damirtag@mail.ru

Abstract. In an effort to improve forage production efficiency, we investigated the possibility of improving binary seeding technology by developing a new combination coulter. The aim of the study was to develop and validate the design of a combination coulter that would enable the implementation of a resource-saving forage production technology based on binary seeding. We developed a schematic diagram of the device, the main element of which is a rotating flexible auger that provides a metered supply of fertilizer. We found that the fertilizer guide's performance is linearly dependent on the rotational speed (n) and the auger diameter (D): the difference between performance at $D = 20 \text{ мм}$ and $D = 60 \text{ мм}$ reaches 5.3 times at $n = 200 \text{ мин}^{-1}$. Fertilizer type significantly impacted performance: the highest performance was achieved with urea (120 кг/ч at 140 мин^{-1}), while the lowest was achieved with granulated manure (40.8% of the urea level). The drive power consumption was calculated to be no more than 1.37 kW, confirming the feasibility of using the ground wheels as a drive. The design's high energy efficiency was demonstrated: increasing the auger diameter from 20 to 60 mm at $n = 150 \text{ мин}^{-1}$ reduced the specific energy consumption from 5.6 to 2.8 Wh/kg. Increasing the rotational speed from 30 to 270 мин^{-1} increased wear on a 20 mm diameter fertilizer line by 4.4 times, while increasing the diameter to 60 mm reduced wear by 25% at 150 мин^{-1} . As a result of the discussion, rational operating parameters were determined: an auger diameter of 40 mm and a rotational speed of $100\text{--}200 \text{ мин}^{-1}$, providing a compromise between productivity, energy consumption, and durability. A conclusion was reached on the effectiveness of the proposed design and the theoretical possibility of increasing the uniformity of fertilizer distribution by 15–20%, increasing yields by 10–15%, and saving fertilizers up to 25.5 kg/ha was confirmed.

Keywords: combined coulter, flexible auger, binary seeding, mineral fertilizers, forage production, resource-saving technologies, crop yield.

For citation: Khaliullin D. T., Gaifullin I. Kh., Shakirov R. M. Development of a combined opener to increase the efficiency of binary seeding // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2026.1 (73): 177-183 doi:10.18286/1816-4501-2026-1-177-183

Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

Введение

Повышение эффективности кормопроизводства представляет собой стратегическую задачу национального масштаба, от решения которой напрямую зависит устойчивое развитие животноводства и обеспечение продовольственной безопасности страны [1, 2]. В условиях современных вызовов, включающих климатические изменения [3] и необходимость импортозамещения [4], особую значимость приобретает поиск инновационных решений, позволяющих радикально повысить продуктивность кормовой базы при одновременном снижении ресурсоемкости ее создания [5]. Особое место в этом направлении занимает технология бинарных посевов, демонстрирующая принципиальные преимущества перед традиционными одновидовыми агроэкосистемами. Однако широкое внедрение таких посевов сдерживается техническими ограничениями существующей посевной техники, что создает существенный барьер для реализации потенциала этих высокопродуктивных агроценозов [6].

Анализ конструкций современных сеялок показывает их принципиальную неспособность обеспечить точное выполнение агротехнических требований при бинарных посевах [7]. Основная проблема заключается в том, что существующие машины спроектированы для работы с монокультурами и не учитывают специфику многокомпонентных систем. Одним из технических ограничений при возделывании бобово-злаковых агроценозов остается несовершенство систем для локального внесения удобрений. Существующие технические средства не могут обеспечить точное размещение минерального питания в корнеобитаемом слое почвы и тем самым реализовать главное агрономическое преимущество локального внесения – возможность снижения норм расхода на 30...50 %. Эта приводит к значительным потерям питательных веществ, их низкой эффективности использования и, как следствие, не позволяет культурам в полной мере реализовать свой природный потенциал продуктивности [8, 9, 10].

Целью данной работы являлась разработка и обоснование конструкции комбинированного сошника, позволяющего реализовать ресурсосберегающую технологию кормопроизводства на основе бинарных посевов.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели разработана схема и выполнено теоретическое обоснование конструкции комбинированного сошника. При этом

использовали методы патентного поиска, сравнительного анализа и инженерного проектирования.

Особенностью предложенной новой конструкции комбинированного сошника является одновременное формирование семенного ложа и локальное внесение удобрений на заданную глубину. Принципиальная схема разработанного устройства представлена на рисунке 1.

Принцип работы комбинированного сошника основан на последовательном выполнении технологических операций. Стрельчатая лапа подрезает почвенный пласт и рыхлит его, создавая зону для последующего размещения семян и удобрений. Через направлятель семена поступают на уплотненное скатной пластиной ложе. Параллельно этому процессу удобрение транспортируется по туконправителю к месту заделки. Принудительную подачу и дозирование удобрений обеспечивает вращающийся гибкий шнек, привод которого осуществляется от опорно-приводных колес сеялки через механический редуктор. Регулирование передаточного отношения редуктора позволяет изменять частоту вращения гибкого шнека и, соответственно, норму внесения, независимо от скорости движения агрегата.

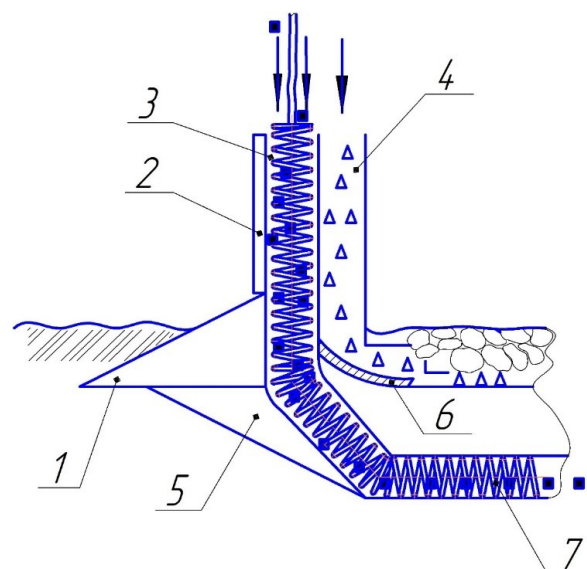


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированного сошника:

1 – лапа, 2 – стойка, 3 – туконправитель, 4 – направлятель семян, 5 – двухгранный клин в виде ножа, 6 – скатная пластина, 7 – гибкий шнек

Производительность туконправителя, кг/ч зависит от гибкого шнека как основного рабочего органа и определяется по формуле [11]:

$$Q = 60 \frac{\pi D^2}{4} S n \psi \rho \quad (1)$$

где $\pi D^2/4$ – площадь поперечного сечения тукпровода, м²; D – диаметр гибкого шнека, м; S – шаг гибкого шнека, м; n – частота вращения гибкого шнека, мин⁻¹; ψ – коэффициент заполнения; ρ – насыпная плотность удобрений, кг/м³.

Привод гибкого шнека включает механический редуктор с регулируемым передаточным отношением. Потребляемую мощность Вт рассчитывают для каждого заданного режима работы по формуле (2) [12]:

$$N = \frac{Q L \omega g k}{3600}, \quad (2)$$

где L – длина транспортирования, м; ω – коэффициент сопротивления движению, учитывающий трение материала о стенки тукпровода и внутреннее трение частиц; g – ускорение свободного падения, м/с²; k – количество тукпроводов, шт.

Удельную энергоёмкость, Вт·ч/кг, рассчитывают как отношение потребляемой мощности к производительности туконаправителя [13]:

$$E = N/Q. \quad (3)$$

Для прогнозирования влияния внутрипочвенного локального внесения удобрений на продуктивность агроценозов используют модель, учитывающую как повышение коэффициента эффективности удобрений за счет размещения в слоях почвы с лучшей обеспеченностью влагой, так и улучшение равномерности распределения питательных веществ [14]:

$$\Delta Y = \frac{N Y_0 (K_3 \Gamma P)}{100} \quad (4)$$

где ΔY – прибавка урожайности, т/га; Y_0 – исходная урожайность, т/га; K_3 – коэффициент эффективности удобрений; Γ – коэффициент глубины внесения; P – коэффициент равномерности распределения.

Формула (4) позволяет прогнозировать агрономическую эффективность технологии, но для комплексной оценки её рентабельности необходимо также учесть экономию самих удобрений. Локализация удобрений в почве не только повышает их доступность для растений, но и минимизирует непродуктивные потери (например, за счет улетучивания, вымывания и т.д.). Экономию ресурсов от применения данной технологии можно оценить по формуле [20]:

$$\mathcal{E} = N \cdot (K_{п1} - K_{п2}) / 100, \quad (5)$$

где \mathcal{E} – экономия удобрений, кг/га; N – норма внесения удобрений, кг/га; $K_{п1}$ – потери при поверхностном внесении, %; $K_{п2}$ – потери при глубоком локальном внесении, %.

Для сравнительного анализа транспортных характеристик и оценки универсальности рабочего органа методом теоретического моделирования были рассмотрены пять типовых видов удобрений: карбамид, аммиачная селитра, нитроаммофоска, суперфосфат и гранулированный помёт. Моделирование

основывалось на учёте экспериментально определённых для каждого материала значений насыпной плотности и коэффициента заполнения рабочей камеры. В результате для каждого удобрения были получены индивидуальные зависимости производительности от частоты вращения шнека, что составило основу для последующего сравнительного анализа.

Посевной агрегат шириной захвата 1,2 м оснащен четырьмя сошниками для локального внутрипочвенного внесения удобрений. При этом доза, обеспечиваемая одним сошником, определяется агротехническими требованиями для выбранной культуры и удобрения.

Результаты

В соответствии с поставленной задачей была определена производительность туконаправителя с различными диаметрами тукпровода и построена зависимость производительности Q от частоты вращения гибкого шнека n при различных значениях его диаметра D (рис. 2).

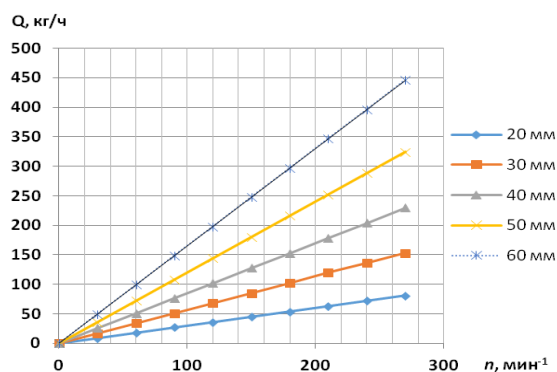


Рис. 2. Зависимость производительности туконаправителя от частоты вращения гибкого шнека при его различных диаметрах

Анализ зависимостей выявил значительное влияние диаметра гибкого шнека на производительность системы – разница между показателями при использовании гибких шнеков диаметром 20 мм и 60 мм достигает 5,3 раза при их одинаковой частоте вращения – 200 мин⁻¹. Полученные данные позволяют определить рациональные параметры работы туковысевающего аппарата для различных видов удобрений и норм их внесения. Достаточная производительность достигается при использовании гибкого шнека диаметром 40 мм с частотой вращения в пределах 100...200 мин⁻¹. Этот режим, находясь в зоне высокой энергоэффективности, полностью удовлетворяет агротехническим требованиям и подтверждает корректность выбранных конструктивных параметров разработанного комбинированного сошника.

Исследуемые удобрения демонстрируют значительный разброс реологических свойств, что непосредственно отражается на их транспортных характеристиках (рис. 3).

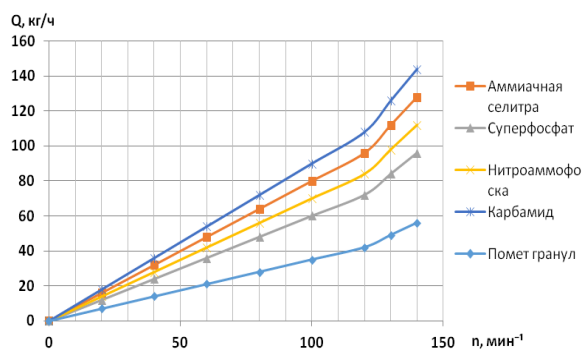


Рис. 3. Зависимости производительности туконаправителя от частоты вращения гибкого шнека при работе с различными удобрениями

Как видно из представленной на рис. 3 теоретической зависимости, производительность линейно возрастает с увеличением частоты вращения рабочего органа. Максимальная производительность туковысевающего аппарата достигается при работе с карбамидом (0,2837...120 кг/ч в диапазоне 1...140 мин⁻¹) благодаря его оптимальной сыпучести. При использовании аммиачной селитры производительность снижается на 6,7 % из-за её склонности к слеживанию [15, 16]. Нитроаммофоска обеспечивает стабильный высев, но из-за гигроскопичности общая производительность составляет 82 % от уровня карбамида. Для суперфосфата производительность в наибольшей степени зависит от гранулометрии из-за полидисперсного состава [17,18]. Наименьший показатель – 40,8 % от уровня карбамида зафиксирован для гранулированного помёта, что объясняется его адгезионными свойствами и хрупкостью гранул [19].

Расчет по формуле (2) показал, что потребляемая мощность привода не превышает 1,37 кВт. Полученное значение подтверждает возможность эффективной работы разработанного сошника от привода ходовых колес сеялки. Рассчитанная мощность демонстрирует энергетическую эффективность конструкции и достаточность стандартного механического привода сеялки для реализации технологического процесса.

Оценка удельной энергоёмкости по формуле (3) показала ее существенное снижение с ростом диаметра гибкого шнека, что свидетельствует о выигрыше в энергоэффективности предлагаемой конструкции (рис. 4).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что на удельную энергоёмкость оказывают влияние как частота вращения гибкого шнека, так и его диаметр. Увеличение частоты вращения с 30 мин⁻¹ до 270 мин⁻¹ при диаметре 20 мм приводит к снижению удельной энергоёмкости с 6,8 Вт·ч/кг до 4,4 Вт·ч/кг. Увеличение диаметра шнека с 20 мм до 60 мм при частоте вращения 150 мин⁻¹ приводит к снижению удельной энергоёмкости с 5,6 Вт·ч/кг до 2,8 Вт·ч/кг. Это следует учитывать при проектировании и оптимизации механизмов с гибкими шнеками, стремясь к достижению оптимального баланса

между производительностью и энергоэффективностью.

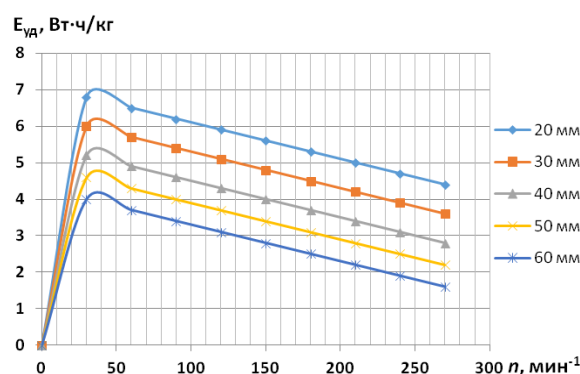


Рис. 4. Зависимость удельной энергоёмкости от частоты вращения гибкого шнека при его различных диаметрах

Для прогнозирования долговечности и оптимизации рабочих режимов шнекового транспортера исследована зависимость интенсивности износа от его основных геометрических и кинематических параметров (рис. 5).

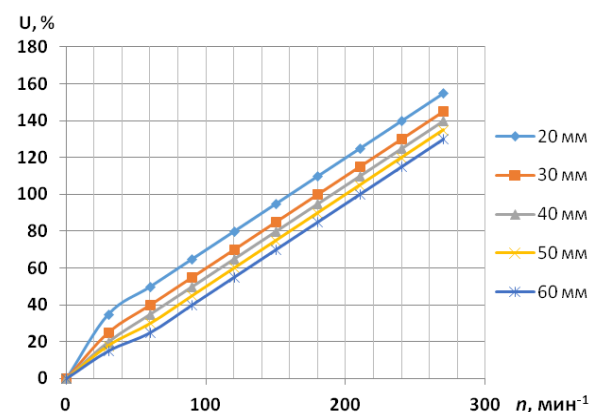


Рис. 5. Зависимость интенсивности износа рабочего органа от частоты вращения и диаметра гибкого шнека

Анализ графической зависимости позволяет установить, что интенсивность износа шнекового туконаправителя демонстрирует прямую пропорциональность частоте вращения шнека и обратную пропорциональность диаметру тупопровода. Наблюдаемый значительный рост износа (до 4,4 раза для тупопровода диаметром 20 мм при увеличении частоты вращения с 30 мин⁻¹ до 270 мин⁻¹) и его снижение с увеличением диаметра (например, с 95 % до 70 % при 150 мин⁻¹ для диаметров 20 мм и 60 мм соответственно) указывают на определяющую роль кинематических и геометрических параметров в процессе изнашивания. Таким образом, для существенного снижения интенсивности износа (более чем в 3,5 раза для тупопровода диаметром 40 мм) приоритетной стратегией является минимизация частоты вращения рабочего органа.

Обсуждение

Представленные результаты теоретического исследования подтверждают работоспособность и эффективность предложенной конструкции комбинированного сошника. Полученные зависимости производительности от частоты вращения и диаметра гибкого шнека (рис. 2) находятся в полном соответствии с классической теорией шнековых транспортеров [11] и подтверждают возможность регулирования нормы внесения в широком диапазоне, что является основным требованием для адаптации к различным агротехнологиям.

Выявленная значительная разница в транспортных характеристиках различных видов удобрений (рис. 3) объясняется их физико-механическими свойствами. Наибольшая производительность при работе с карбамидом связана с его высокой сыпучестью и стабильностью гранул. Снижение производительности при использовании аммиачной селитры и нитроаммофоски, отмеченное в наших расчетах, согласуется с данными литературных источников об их склонности к слеживанию и гигроскопичности [15, 16]. Низкий показатель для гранулированного помета, вероятно, связан не только с адгезией, но и с разрушением гранул в рабочем органе, что указывает на необходимость дополнительных экспериментальных исследований по работе с органическими удобрениями. Полученные данные подчеркивают важность учета типа удобрения при настройке режимов работы сеялки.

Важным преимуществом разработанной конструкции является ее высокая энергоэффективность. Рассчитанная потребляемая мощность (1,37 кВт) является низкой относительно аналогов и подтверждает возможность привода от ходовых колес. График изменения удельной энергоёмкости (рис. 4) наглядно показывает, что увеличение диаметра гибкого шнека является более эффективным способом снижения энергозатрат на единицу продукции, чем увеличение частоты его вращения. Это важный инженерный вывод для оптимизации конструкции.

Анализ зависимости интенсивности износа (рис. 5) выявил основное противоречие между производительностью и долговечностью. Минимизация частоты вращения, будучи приоритетом для снижения износа ограничивает производительность. Таким образом, оптимальные параметры шнека (диаметр 40 мм, частота вращения 100...200 мин⁻¹), выбранные на основе анализа рисунков 2 и 4, представляют собой компромиссное решение, обеспечивающее приемлемую производительность, высокую энергоэффективность и умеренный уровень износа.

Прогноз прибавки урожайности и экономии удобрений, сделанный на основе моделей (4) и (5), носит предварительный характер и требует подтверждения в полевых экспериментах. Однако он качественно согласуется с известными данными о преимуществах локального внесения удобрений [9, 20]. Основным ограничением данного исследования является его теоретико-расчетный характер. Для

окончательного подтверждения эксплуатационных и агрономических преимуществ необходимы изготовление опытного образца и его лабораторные и полевые исследования.

Заключение

Теоретически обоснована и разработана схема комбинированного сошника с активным гибким шнеком, обеспечивающим одновременный посев семян и стабильное локальное внесение различных типов удобрений на глубину до 15 см. Установлено, что производительность туконатора линейно зависит от частоты вращения шнека и в значительной степени (с изменением до 5,3 раза) – от его диаметра. Для удовлетворения агротехническим требованиям рациональными параметрами предлагаемого устройства являются диаметр гибкого шнека 40 мм и частота его вращения 100...200 мин⁻¹.

Расчёты подтвердили низкую энергоёмкость конструкции: потребляемая мощность не превышает 1,37 кВт, а увеличение диаметра гибкого шнека является наиболее эффективным способом снижения удельных энергозатрат. Установлено, что увеличение частоты его вращения с 30 мин⁻¹ до 270 мин⁻¹ приводит к увеличению износа в 4,4 раза для туконатора диаметром 20 мм, в то время как увеличение диаметра гибкого шнека с 20 мм до 60 мм при 150 мин⁻¹ снижает относительный износ с 95 % до 70 %. Таким образом, приоритетной стратегией для кардинального снижения износа (более чем в 3,5 раза для диаметра гибкого шнека 40 мм) является оптимизация режима работы за счёт минимизации частоты вращения рабочего органа, что подтверждается результатами моделирования.

Применение нового сошника обеспечит возможный прирост урожайности на 10...15 % за счет повышения равномерности распределения удобрений.

Литература

1. Украинцева И. В. Роль отрасли животноводства в обеспечении продовольственной безопасности страны // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 95-4. С. 105-107. doi: 10.18411/trnio-03-2023-190
2. Khaliullin D. T., Belinsky A. V., Gayfullin I. Kh. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations // Iop Conference Series Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1212. P. 12055. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055
3. Ксенофонов М. Ю., Ползиков Д. А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования. 2020. № 3(180). С. 82-92.
4. Голубев А. В. Агропродовольственное импортозамещение через призму устойчивости сельского хозяйства // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 8. С. 2-8. doi: 10.31442/0235-2494-2022-0-8-2-8.

5. Болодурина И. П., Соловьев С. А., Акимов С. С. Разработка системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 2. С. 36-44. doi:10.14529/ctcr200204.

6. Зеленская Г. М., Зеленский Н. А. Роль бинарных посевов в накоплении влаги и сохранении плодородия почвы // Вестник Донского ГАУ. 2023. № 1(47). С. 28-36.

7. Designing the Sowing Unit of a Seeder with an Anchor Furrow Opener / I. D. Badretdinov, S. G. Mudarisov, E. R. Khasanov et al. // International Review on Modeling and Simulations. 2022. Vol. 15. No. 6. P. 388-395. doi: 10.15866/iremos.v15i6.22260.

8. Гапонов Н. В., Анишко М. Ю., Мисникова Н. В. Питательность зерносеменной массы бинарных ценозов узколистного люпина с овсом // Кормопроизводство. 2025. № 3. С. 17-21. doi: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21.

9. Шпанев А. М. Влияние минеральных удобрений на пространственное размещение сорных растений в посевах ярового ячменя // Плодородие. 2022. № 2(125). С. 8-12. doi 10.25680/S19948603.2022.125.02.

10. Review and analysis of existing designs of seeding machines / A. I. Kim, M. V. Doudkin, V. V. Rogovsky [et al.] // Bulletin of D. Serikbayev EKTU. 2022. No. 4. P. 130-139. doi 10.51885/1561-4212_2022_4_130.

11. Теоретическое обоснование параметров сошника сеялки / Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 3. С. 178-185. doi 10.36508/RSATU.2023.42.41.023.

12. Коэффициент трансформации ведущего крутящего момента встроенного колесного редуктора - дифференциала транспортно-технологических машин АПК / Ю. Ф. Казаков, Ю. Н. Батманов, Д. Л. Кириллов, В. Н. Батманов // Вестник Чувашского ГАУ. 2024. № 1(28). С. 160-167. doi 10.48612/vch/fueh-npmr-4gku.

13. Методика расчета и проектирование дозатора-распределителя почвы / И. Х. Гайфуллин, Д. Т. Халиуллин, М. Н. Калимуллин и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. Т. 18. № 1(69). С. 45-51. doi 10.12737/2073-0462-2023-45-51.

14. Обоснование и определение параметров бороздообразователя картофелесажалки / М. Н. Калимуллин, Д. Т. Халиуллин, И. Х. Гайфуллин, Р. Р. Хамитов // Вестник Казанского ГАУ. 2022. Т. 17, № 3(67). С. 84-89. doi: 10.12737/2073-0462-2022-88-93

15. Завалин А. А., Шафран С. А. Об эффективности использования аммиачной селитры и карбамида // Агрехимический вестник. 2024. № 6. С. 3-7. doi: 10.24412/1029-2551-2024-6-001

16. Технология возделывания ячменя в органическом земледелии в условиях лесостепи Поволжья / А. Х. Куликова, Г. В. Ермолаева, А. А. Пятова и др. //

Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3(71). С. 86-92. doi: 10.18286/1816-4501-2025-3-86-92

17. Артемьев А. А., Хвостов Е. Н. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы на фоне разных доз удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(67). С. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-6-12.

18. Еряшев А. П., Гурьянов А. М. Изменение продуктивности лугов при коренном улучшении на основе использования биологического азота // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3(63). С. 33-40. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-33-40.

19. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помета и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии 2021. № 1(53). С. 46-54. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54.

20. Сравнительная агрономическая и экономическая эффективность традиционной и биологизированной технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Среднего Поволжья / Г. В. Ермолаева, Е. А. Борисов, А. Х. Куликова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2(66). С. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-6-12

References

1. Ukraintseva I. V. The Role of the Livestock Industry in Ensuring Food Security of the Country // Trends in the Development of Science and Education. 2023. No. 95-4. P. 105-107. doi: 10.18411/trnio-03-2023-190

2. Khaliullin D. T., Belinsky A. V., Gayfullin I. Kh. Ways to Increase the Efficiency of Using Agricultural Machinery in Performing Technological Operations // Iop Conference Series Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1212. P. 12055. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055

3. Ksenofontov M. Yu., Polzikov D. A. On the Impact of Climate Change on the Development of Agriculture in Russia in the Long-Term Perspective // Problems of Forecasting. 2020. No. 3 (180). P. 82-92.

4. Golubev A. V. Agri-food Import Substitution through the Prism of Agricultural Sustainability // Economics of Agricultural and Processing Enterprises. 2022. No. 8. P. 2-8. doi: 10.31442/0235-2494-2022-0-8-2-8

5. Bolodurina I. P., Soloviev S. A., Akimov S. S. Development of a Decision Support System to Increase Dairy Farming Productivity // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Control, Radio Electronics. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 36-44. doi: 10.14529/ctcr200204

6. Zelenskaya G. M., Zelensky N. A. The Role of Binary Crops in Moisture Accumulation and Soil Fertility Maintenance // Bulletin of the Don State Agrarian University. 2023. No. 1(47). P. 28-36.

7. Designing the Sowing Unit of a Seeder with an Anchor Furrow Opener / I. D. Badretdinov, S. G. Mudarisov,

E. R. Khasanov, et al. // International Review on Modeling and Simulations. 2022. Vol. 15. No. 6. P. 388-395. doi: 10.15866/iremos.v15i6.22260

8. Gaponov N. V., Anishko M. Yu., Misnikova N. V. Nutritious value of grain silage mass of binary cenoses of narrow-leaved lupine with oats // Forage production. 2025. No. 3. P. 17-21. doi: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21

9. Shpanev A. M. Influence of mineral fertilizers on the spatial distribution of weeds in spring barley crops // Fertility. 2022. No. 2(125). P. 8-12. doi: 10.25680/S19948603.2022.125.02

10. Review and analysis of existing designs of seeding machines / A. I. Kim, M. V. Doudkin, V. V. Rogovsky, et al. // Bulletin of D. Serikbayev EKTU. 2022. No. 4. P. 130-139. doi: 10.51885/1561-4212_2022_4_130

11. Theoretical substantiation of seeder coulter parameters / D. M. Yumaev, G. K. Rembalovich, M. Yu. Kostenko, et al. // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 1. No. 3. P. 178-185. doi: 10.36508/RSATU.2023.42.41.023

12. The transformation ratio of the leading torque of the built-in wheel reducer - differential of transport and technological machines of the agro-industrial complex / Yu. F. Kazakov, Yu. N. Bat'manov, D. L. Kirillov, V. N. Bat'manov // Bulletin of the Chuvash State Agrarian University. 2024. No. 1 (28). P. 160-167. doi: 10.48612/vch/fueh-npmr-4gku

13. Methodology for calculating and designing a soil dispenser-distributor / I. Kh. Gaifullin, D. T. Khaliullin, M. N. Kalimullin, et al. // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2023. Vol. 18. No. 1 (69). P. 45-51. doi: 10.12737/2073-0462-2023-45-51

14. Justification and determination of the parameters of the furrow former of the potato planter / M. N.

Kalimullin, D. T. Khaliullin, I. Kh. Gaifullin, R. R. Khamitov // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2022. T. 17. No. 3(67). P. 84-89. doi: 10.12737/2073-0462-2022-88-93

15. Zavalin A. A., Shafran S. A. On the effectiveness of using ammonium nitrate and urea // Agrochemical Bulletin. 2024. No. 6. P. 3-7. doi: 10.24412/1029-2551-2024-6-001

16. Technology of barley cultivation in organic farming in the forest-steppe conditions of the Volga region / A. Kh. Kulikova, G. V. Ermolaeva, A. A. Pyatova, P. P. Smirnov // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. No. 3 (71). P. 86-92. doi: 10.18286/1816-4501-2025-3-86-92

17. Artemyev A. A., Khvostov E. N. Yield and grain quality of winter wheat against the background of different doses of fertilizers // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 3 (67). P. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-6-12.

18. Eryashev A. P., Guryanov A. M. Change in meadow productivity with radical improvement based on the use of biological nitrogen // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 3 (63). P. 33-40. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-33-40

19. Zubkova T. V., Vinogradov D. V. Properties of organomineral fertilizer based on chicken manure and its application in spring rapeseed technology // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No. 1 (53). P. 46-54. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54

20. Comparative agronomic and economic efficiency of traditional and biologized technologies for cultivating agricultural crops in the Middle Volga region / G. V. Ermolaeva, E. A. Borisov, A. Kh. Kulikova // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 2 (66). P. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-6-12