


4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-200-206

УДК 631.331

Сравнительная оценка энергетической эффективности технологий возделывания сои


Е.С. Зыкин , доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

С.П. Албутов, инженер

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

 evg-zykin@yandex.ru

Резюме. Работа посвящена изучению энергетической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур с учетом параметров почвенной среды и теоретическому обоснованию факторов, существенно влияющих на оценочный коэффициент. Структурный анализ и анализ технологий, реализуемых набором известных технических средств, позволили выявить не только рациональность используемых технологий и средств, но и выявить недостатки наиболее близких аналогов. В частности, не всегда удается реализовать предлагаемую новую прогрессивную технологию без нарушения отдельных требований, которые соблюдаются в традиционных технологиях. Анализ известных литературных источников позволил выявить и сформировать эвристические идеи и технологии, на основе которых разработаны новые способы гребневой возделывания и соответствующие технические средства. С учетом требований к реализации технологий возделывания выявлена их взаимосвязь, которая обусловлена необходимостью достижения главных целей – увеличению урожайности выращиваемой продукции и снижению ее себестоимости. При этом следует обеспечить уменьшение металлоемкости и тягового сопротивления технических средств, максимально возможное число технологических операций с высоким качеством их выполнения, а также сохранение и повышение плодородия почв. Выявлено, что минимизацию энергетических затрат и повышение энергоэффективности гребневой технологии возделывания с одновременным увеличением урожайности пропашных культур возможно обеспечить при соблюдении ряда факторов, в частности, правильной организации севооборота, оптимизацией количества и вида реализуемых операций, а также режимов их выполнения. Теоретические и практические исследования по выбору необходимого числа и вида технологических операций показали, что использование разработанной методики оценки технологий выращивания сельскохозяйственных культур, основанной на соотношении энергии, полученной в результате производства продукции, и энергии, затраченной на её производство, разработанной с учетом результатов исследований известных учёных, позволили сделать вывод о том, что энергия, расходуемая на выращивание продукции, в основном зависит от количества потребленного жидкого топлива, затраченных трудовых ресурсов, массы семенного материала, удобрений и химических средств защиты растений. Разработанная и запатентованная гребневая технология возделывания пропашных культур позволяет не менее чем на 855 МДж уменьшить энергетические затраты за возделывание сои и не менее чем на 1,09 единиц повысить коэффициент энергетической эффективности этой технологии в сравнении с традиционной технологией возделывания сои.

Ключевые слова: гребневая технология, возделывание, прикатывание, посев, пропашные культуры, каток, сеялка


Для цитирования: Зыкин Е.С., Курдюмов В.И., Албутов С.П. Сравнительная оценка энергетической эффективности технологий возделывания сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 200-206. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-200-206

Comparative assessment of the energy efficiency of soybean cultivation technologies

E. S. Zykin , **V. I. Kurdyumov**, **S. P. Albutov**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, 1

 evg-zykin@yandex.ru

Abstract. This paper examines the energy efficiency of agricultural crop cultivation technologies, taking into account soil parameters, and provides a theoretical justification for the factors that significantly influence the evaluation coefficient. Structural analysis and analysis of technologies implemented using a range of known technical means allowed us to identify not only the rationale for the technologies and means used but also the shortcomings of their closest analogues. In particular, it is not always possible to implement a proposed new progressive technology without violating certain requirements observed in traditional

technologies. An analysis of known literary sources allowed us to identify heuristic ideas and technologies, based on which new raised-bed cultivation methods and corresponding technical equipment were developed. Taking into account the requirements for implementing cultivation technologies, their interrelationships were identified, which are determined by the need to achieve the main goals—increasing the yield of cultivated products and reducing their cost. At the same time, it is necessary to ensure a reduction in metal consumption and traction resistance of technical equipment, the maximum possible number of technological operations with high quality execution, and the preservation and improvement of soil fertility. It has been established that minimizing energy costs and increasing the energy efficiency of raised-bed cultivation while simultaneously increasing the yield of row crops can be achieved by observing a number of factors, in particular, proper crop rotation, optimization of the number and type of operations performed, and their implementation modes. Theoretical and practical studies on selecting the required number and type of technological operations have shown that the use of the developed methodology for assessing crop cultivation technologies, based on the ratio of energy obtained from product production to the energy expended in its production, developed taking into account the research results of renowned scientists, allowed us to conclude that the energy expended on growing products primarily depends on the amount of liquid fuel consumed, labor expended, the mass of seed material, fertilizers, and chemical plant protection products. The developed and patented ridge technology for cultivating row crops allows for a reduction in energy costs for cultivating soybeans by at least 855 MJ and an increase in the energy efficiency coefficient of this technology by at least 1.09 units compared to traditional soybean cultivation technology.

Key words: ridge technology, cultivation, rolling, sowing, row crops, roller, seeder.

For citation: Zykin E. S., Kurdyumov V. I., Albutov S. P. Comparative assessment of the energy efficiency of soybean cultivation technologies // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 200-206 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-200-206

Введение

После 2000-х годов в мировой сельскохозяйственной практике и, в том числе, на территории Российской Федерации, активно пропагандируют не только энерго- и ресурсосбережение при обработке почвы и посеве, применение комбинированных широкозахватных почвообрабатывающе-посевных агрегатов, но и переход на минимальную и нулевую технологии возделывания сельскохозяйственных культур [1, 2, 3].

Кроме того, широко внедряются и рекламируются почвозащитные технологии возделывания культур, направленные на сохранение плодородия почвы.

Практическая реализация нулевой технологии подразумевает замещение операций механического рыхления почвы и уничтожения сорных растений опрыскиванием с использованием химических препаратов [4, 5, 6].

Применение комбинированных широкозахватных почвообрабатывающе-посевных агрегатов в значительной степени позволяет не только уменьшить переуплотнение плодородного слоя почвы и распыление почвы движителями тракторов и сельскохозяйственных машин, но и минимизировать испарение почвенной влаги [7, 8, 9].

В настоящее время не всегда удается реализовать предлагаемую новую прогрессивную технологию без нарушения отдельных требований, которые соблюдаются в традиционных технологиях. Также при реализации гребневых технологий возделывания сельскохозяйственных культур до настоящего времени отсутствуют серийно-выпускаемые специальные машины, позволяющие обеспечить лучшие, по сравнению с массово используемыми технологиями, значения показателей энергосберегающей и почвозащитной технологий возделывания пропашных культур без применения экологически небезопасных химических средств защиты растений. В

частности, гребни почвы формируют как до, так и после посева, но при этом технологические операции осуществляют с разрывом во времени [10, 11, 12].

Цель исследования – изучение и теоретическое обоснование необходимого числа и вида операций разработанной гребневой технологии возделывания пропашных культур и ее энергетическая оценка.

Материалы и методы

Несомненно, разработка и масштабное внедрение в производство комбинированных машин способствует значительному уменьшению материальных, человеческих и природных ресурсов [13, 14, 15]. Применение зарубежных комбинированных машин, с одной стороны, уменьшает трудоемкость и время выполнения технологических операций, а с другой стороны, - увеличивает эксплуатационные затраты на реализацию технологии из-за высокой стоимости таких машин. Кроме того, такие машины агрегируют с энергонасыщенными тракторами, так как на их раме эшелонировано сосредоточен набор рыхлящих, посевных и заделывающих рабочих органов, заимствованных от однооперационных машин и агрегатов [16, 17].

С учетом начавшегося в 2014 г. масштабного импортозамещения во многих отраслях промышленности на территории Российской Федерации, которое активно продолжилось в 2022 г., можно заключить, что задача разработки, исследования и внедрения в производство отечественных сельскохозяйственных почвообрабатывающих и посевных машин с меньшим набором рабочих органов, но выполняющих большее количество различных технологических операций, приобретает наибольшую актуальность.

Исходя из приведенных выше доводов сформулируем основные требования для разработки эффективных многофункциональных технических средств обработки почвы и посева пропашных культур по гребневой технологии (рис. 1).



Рис. 1. Требования к разработке средств механизации возделывания пропашных культур

Анализ представленных на рис. 1 требований позволил заключить, что их взаимосвязь обусловлена достижением главных целей – увеличением урожайности выращиваемой продукции и снижением ее себестоимости, уменьшением металлоемкости и тягового сопротивления технических средств,

обеспечением максимально возможного числа технологических операций и высокого качества их выполнения, а также сохранением и повышением плодородия почв.

Минимизацию энергетических и материальных затрат и повышение энергоэффективности гребневой технологии возделывания с одновременным увеличением урожайности пропашных культур возможно обеспечить при соблюдении множества факторов, в частности, правильной организации севооборота, оптимизацией количества и вида реализуемых операций, а также режимов их выполнения (рис. 2).

Рациональное осмысление эмпирических фактов и технологий возделывания пропашных культур на постоянных гребнях почвы и гребнях почвы, формируемых до посева, позволило систематизировать полученные ранее данные и гипотезы, а также выявить, что практическая реализация таких технологий требует не только значительного шлейфа специализированных почвообрабатывающих машин, но и широкого применения пестицидов.

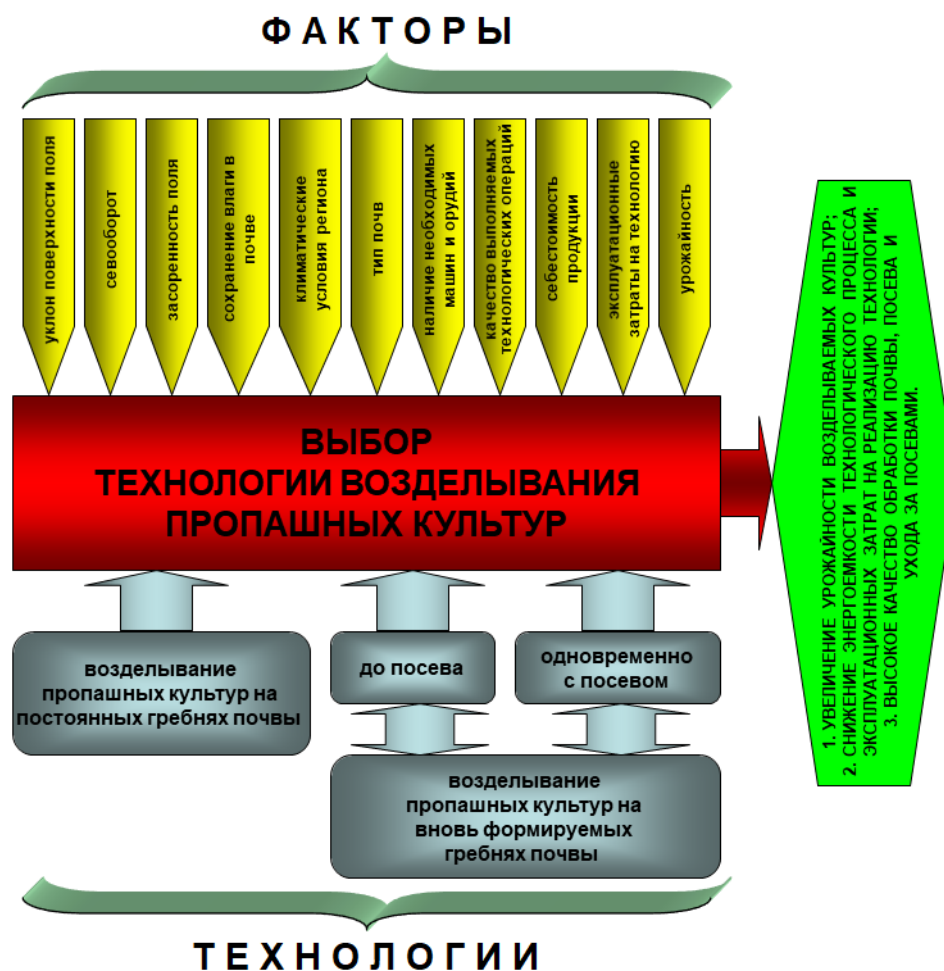


Рис. 2. Технологии и факторы, влияющие энергетическую эффективность технологии возделывания сельскохозяйственных культур

Известно, что типичными операциями по подготовке поля во многих агроклиматических зонах Российской Федерации являются осенняя зяблевая вспашка или дискование почвы в осенний период года и закрытие влаги в почве боронами в весенний

период. В дальнейшем, при необходимости, уничтожают сорняки и рыхлят почву, а посев выполняют пропашными сеялками, оснащенными прикатывающими катками различных конструкций. Уход за посевами при этом выполняют контактно – пропашными

культиваторами и бесконтактно – опрыскивателями [18].

Обеспечить максимальные показатели качества энергосберегающей и почвозащитной технологий возделывания пропашных культур возможно, применяя разработанные на кафедре «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ и запатентованные безгербицидные гребневые технологии возделывания пропашных культур, новизна которых подтверждена патентами Российской Федерации на изобретение № 2716117, № 2762407 и № 2758517 [19, 20, 21]. Их сущность заключается в том, что при достижении влажности почвы в пределах 20...25% после весеннего закрытия влаги боронами разработанным почвообрабатывающе-посевным агрегатом за один проход выполняют операции рыхления почвы, подрезания сорняков, формирования уплотненного посевного ложа и укладки на него семян, создания гребня почвы над строчками посева и уплотнения гребней (рис. 3).

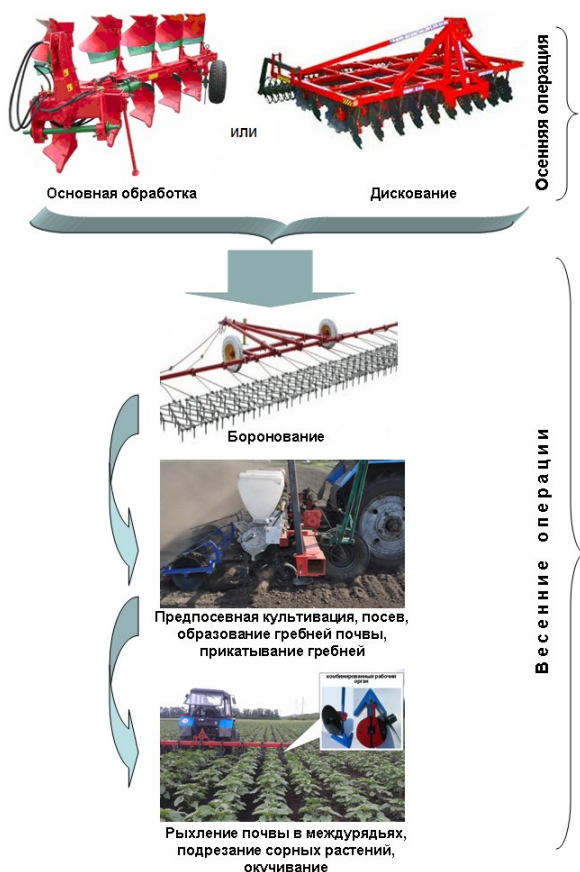


Рис. 3. Предлагаемая технология возделывания пропашных культур

В дальнейшем, при безгербицидном уходе за посевами пропашных культур одновременно специализированными рабочими органами, монтируемыми на грядилках пропашного культиватора, выполняют не только подрезание корневой системы сорняков в основных междурядьях, но и уничтожение сорняков в защитных зонах возделываемой культуры

путем горизонтального смещения в защитные зоны сухой почвы из основных междурядий.

Выполнение посевных операций без разрыва во времени позволило не только минимизировать потери почвенной влаги и улучшить условия для прорастания семян, но и максимально уменьшить число задействованных технических средств, а также затраты материальных и трудовых ресурсов.

Смещение почвы без оборота пласта в горизонтальной плоскости из основных междурядий на сорняки, расположенные в защитных зонах, позволяет предварительно замедлить их рост и в дальнейшем окончательно прекратить их вегетацию. Кроме того, при этом исключается применение дорогостоящих химических средств защиты растений, уменьшаются эксплуатационные издержки и себестоимость продукции.

Результаты

Выделение существенных связей между исследуемым объектом и внешней средой, обобщение результатов проведенных ранее учеными эмпирических исследований, позволило выявить общие закономерности и формализовать параметры, по которым можно адекватно оценить энергетическую эффективность той или иной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Основным оценочным показателем служит коэффициент энергетической эффективности $k_{\text{ЭЭ}}$. Его определяют как отношение энергии $\mathcal{E}_{\text{п}}$, накопленной в урожае готовой продукции, к суммарной энергии $\mathcal{E}_{\text{ппр}}$, затраченной на его производство [18]:

$$k_{\text{ЭЭ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{п}}}{\mathcal{E}_{\text{ппр}}} \quad (1)$$

где « $\mathcal{E}_{\text{п}}$ – энергия готовой продукции растениеводства, МДж; $\mathcal{E}_{\text{ппр}}$ – энергия на производство продукции растениеводства, МДж» [18].

В случае, когда $k_{\text{ЭЭ}}$ превышает единицу, технологию можно считать энергетически эффективной.

Общее содержание энергии, накопленной в урожае,

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = \mathcal{E}_{\text{оп}} + \mathcal{E}_{\text{пп}} = Y_{\text{оп}} k_{\text{оп}} q_{\text{оп}} + Y_{\text{пп}} k_{\text{пп}} q_{\text{пп}}, \quad (2)$$

где « $Y_{\text{оп}}$ – урожайность основной продукции, кг/га; $k_{\text{оп}}$ – коэффициент пересчета основной продукции на сухое вещество; $q_{\text{оп}}$ – содержание энергии в 1 кг сухого вещества основной продукции, МДж/кг; $Y_{\text{пп}}$ – урожайность побочной продукции, кг/га; $k_{\text{пп}}$ – коэффициент пересчета побочной продукции на сухое вещество; $q_{\text{пп}}$ – содержание энергии в 1 кг сухого вещества побочной продукции, МДж/кг» [18].

Выявим показатели, оказывающие основное влияние на энергозатраты при реализации технологий в растениеводстве:

$$\mathcal{E}_{\text{ппр}} = \sum_{i=1}^n (H_{\text{Тго}} \alpha_{\text{Т}}) + \sum_{i=1}^n (H_{\text{Тгт}} \alpha_{\text{Т}}) + \sum_{i=1}^n (e T_{\text{р}}) + \alpha_{\text{с}} H_{\text{с}} + \frac{\alpha_{\text{у}} H_{\text{у}} k_{\text{исп}}}{T_{\text{у}}} + \frac{\alpha_{\text{х}} H_{\text{х}} k_{\text{исп}}}{T_{\text{х}}} \quad (3)$$

где i – число технологических операций; $H_{то}$ – количество израсходованного топлива, кг/га; α_T – энергосодержание топлива, МДж/кг; $H_{тт}$ – количество топлива, затраченного при переездах, кг/га; e – энергетический эквивалент человеческого труда, МДж/(чел.ч); T_p – трудоемкость технологической операции, чел.ч/га; α_c – энергетический эквивалент семенного материала, МДж/кг; H_c – норма высева семян, кг/га; α_y – энергетический эквивалент удобрений, МДж/кг; H_y – норма внесения удобрений, кг/га; $k_{исп}$ – коэффициент использования вещества культурными растениями; T_y – период действия удобрений (последствие), лет; α_x – энергетический эквивалент химических средств защиты растений, МДж/кг; H_x – норма внесения химических средств защиты растений, кг/га; T_x – период действия химических средств защиты растений, лет» [18].

Практическая реализация разработанной методики позволила адекватно оценить энергетическую эффективность предлагаемой гребневой технологии возделывания сои с учетом всех обоснованных выше факторов (таблица).

Таблица. Энергетическая эффективность технологии возделывания сои

Энергозатраты при существующей технологии		Энергозатраты при предлагаемой технологии		Коэффициент энергетической эффективности $k_{эз}$	
$\mathcal{E}_{гп}$, МДж/га	$\mathcal{E}_{ппр}$, МДж/га	$\mathcal{E}_{гп}$, МДж/га	$\mathcal{E}_{ппр}$, МДж/га	существующая технология	гребневая технология
16812	6753	21115	5898	2,49	3,58

Проанализировав приведенные в таблице данные, можно заключить, что разработанная и запатентованная гребневая технология возделывания пропашных культур позволяет на 855 МДж уменьшить энергетические затраты за возделывание сои и на 1,09 единицы повысить коэффициент энергетической эффективности технологии.

Обсуждение

Предварительные поисковые теоретические и практические исследования, основанные также на известных научных трудах ученых [22] по выбору необходимого числа и вида технологических операций предпосевной подготовки поля, гребневого посева и ухода за посевами пропашных культур показали, что экономически целесообразно посев выполнять на вновь формируемых гребнях почвы одновременно с заделкой семян в почву, а уход за посевами выполнить механизировано. Это позволит значительно уменьшить материальные затраты и себестоимость продукции, а также повысить энергетическую эффективность технологии.

Использование разработанной методики оценки технологии выращивания сельскохозяйственных

культур, основанной на соотношении энергии, полученной в результате производства продукции, и энергии, затраченной на её производство, а также учитывающей результаты исследований известных учёных [22], позволило сделать вывод о том, что энергия, расходуемая на выращивание продукции, в основном зависит от затрат энергии на жидкое топливо, трудовые ресурсы, семенной материал, удобрения и химические средства защиты растений.

Заключение

Приведенные теоретические выкладки по определению коэффициента энергетической эффективности возделывания сои при выполнении операций серийными орудиями – осенней зяблевой вспашки и весеннего закрытия влаги, а также весенних и летних операций разработанными орудиями – рыхления почвы, подрезания сорняков, высева семян на предварительно сформированное плотное посевное ложе с одновременным образованием почвенного гребня над сточками посева, а также безгербицидного уничтожения сорняков в основных междурядьях и в защитных зонах растений сои позволили установить, что разработанная и запатентованная гребневая технология возделывания пропашных культур позволяет не менее, чем на 855 МДж уменьшить энергетические затраты за возделывание сои и не менее, чем на 1,09 единицы повысить коэффициент энергетической эффективности предлагаемой технологии в сравнении с традиционной технологией возделывания сои.

Литература

1. Милюткин В. А. Буксман В. Э. The highly efficient unit for in-soil fertilizer application extender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC «Evrotehnika») technology No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XIV Международной научной конференции. 2017. С. 488-493.
2. Bogus A. E., Kuzmenko A. D. Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of sub-surface dense sowing / A.E. Bogus, // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. P. 00040. doi: 10.1051/e3sconf/201912600040
3. Обеспеченность рынка специализированной техники гидравлическими распределителями российского производства / С.Б. Карякин, Е.А. Максимов, А.В. Коломейченко и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 1(69). С. 68 – 74. doi:10.12737/2073-0462-2023-68-74
4. Babitskiy, L. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines / L. Babitskiy, V. Moskalevich, A. Belov // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042
5. Некоторые вопросы о теплообеспеченности в системе «почва – растение – воздух» / И. И. Максимов, А. Р. Валиев, Е. П. Алексеев и др. // Вестник

Казанского ГАУ. 2024. № 4 (76). С. 81–87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87

6. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A.K. Subaeva, A.A. Zamaidinov, V.I. Kurdyumov et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. 9(15). P. 1945–1955

7. Результаты сравнительных испытаний блочно-модульных культиваторов / Н. К. Мазитов, Л. З. Шарифиев, Р. Л. Сахапов и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 3. С. 54–56.

8. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43–47.

9. Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Нурмиев А.А.. Анализ влияния энергоёмкости технологической операции на оптимальные значения основных параметров трактора «БЕЛАРУСЬ» // Вестник Казанского ГАУ. 2025. № 2(78). С. 113–124. doi: 10.12737/2073-0462-2025-113-124

10. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.

11. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12–20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303

12. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 121–126.

13. Strekalov, S. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system / S. Strekalov, L. Strekalova // E3S Web of Conferences. - ICMTMTE, 2019. – Vol. 126. P. 00018. doi: 10.1051/e3sconf/201912600018

14. Мазур В. В. Оценка эффективности применения комбинаций рабочих органов культиватора для возделывания кукурузы // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 37–41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41

15. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н.В. Степных, Е.В. Нестерова, А.М. Заргарян и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 97–102. doi: 10.53859/02352451_2022_36_3_97

16. Belousov S.V., Samurganov E.E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. - ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01062. doi: 10.1051/e3sconf/202019301062

17. Совершенствование методики проектирования почвозащитных технологий на склоновых агроландшафтах / С. И. Чучкалов, В. В. Алексеев, И. И.

Максимов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 3 (71). С. 111–116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

18. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. 320 с.

19. Патент 2716117 Российская Федерация, МПК А01С7/00. Способ гребневого посева пропашных культур / В. И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.П. Албутов, О. А. Дмитриев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2019127620; заявл. 30.08.2019; опубл. 05.03.2020, Бюл. № 7.

20. Патент 2762407 Российская Федерация, МПК А01С7/04, А01С21/00. Способ гребневого посева пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина, С.П. Албутов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2021102018; заявл. 28.01.2021; опубл. 21.12.2021, Бюл. № 36.

21. Патент 2758517 Российская Федерация, МПК А01В79/02, А01В49/02. Способ гребневого возделывания пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина, С.П. Албутов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2021104874; заявл. 25.02.2021; опубл. 29.10.2021, Бюл. № 31.

22. Гордеев А.С., Огородников Д. Д., Юдаев И.В. Энергосбережение в сельском хозяйстве. СПб.: Издательство «Лань». 2014. 400 с.

References

1. V. A. Milyutkin, V. E. Buksman. “The highly efficient unit for in-soil fertilizer application xtender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC “Evrotekhnik”) technology: No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge.” Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex: Proceedings of the XIV International Scientific Conference. 2017. pp. 488–493.

2. A. E. Bogus, A. D. Kuzmenko. “Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of subsurface dense sowing.” E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. R. 00040. doi: 10.1051/e3sconf/201912600040

3. Availability of the specialized equipment market with Russian-made hydraulic distributors / S. B. Karyakin, E. A. Maksimov, A. V. Kolomeichenko, et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2023. No. 1 (69). P. 68–74. doi: 10.12737/2073-0462-2023-68-74

4. Babitskiy, L. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines / L. Babitskiy, V. Moskalevich, A. Belov // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042

5. Some issues on heat supply in the soil-plant-air system / I. I. Maksimov, A. R. Valiev, E. P. Alekseev, et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2024. No. 4 (76). P. 81–87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87

6. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I.

Kurdyumov et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. 9(1S). P. 1945-1955

7. Results of comparative tests of block-modular cultivators / N. K. Mazitov, L. Z. Sharafiev, R. L. Sakhapov, et al. // Tractors and agricultural machinery. 2013. No. 3. P. 54-56.

8. Modern technologies and special equipment for potato growing / A. Yu. Izmailov, N. N. Kolchin, Ya. P. Lobachevsky, et al. // Agricultural machinery and technology. 2015. No. 3. P. 43-47.

9. Khafizov K. A., Khafizov R. N., Nurmiev A. A. Analysis of the influence of the energy intensity of the technological operation on the optimal values of the main parameters of the BELARUS tractor // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2025. No. 2 (78). P. 113-124. doi: 10.12737/2073-0462-2025-113-124

10. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.

11. Actual problems and priority directions for the development of potato growing / A. V. Korshunov, E. A. Simakov, Yu. N. Lysenko, et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. No. 3. P. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303

12. Review of working bodies of row-crop cultivators and development of new ones in the concept of ecological farming / A.I. Filippov, E.V. Zayats, S.V. Stukanov, et al. // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 4. P. 121-126.

13. Strekalov, S. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system / S. Strekalov, L. Strekalova // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. R. 00018. doi: 10.1051/e3sconf/201912600018

14. Mazur V. V. Evaluation of the efficiency of using combinations of cultivator working bodies for cultivating corn // Agroinzheneriya. 2022. Vol. 24. No. 4. P. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41

15. Use of digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data / N.V. Stepnykh, E.V. Nesterova, A.M. Zargaryan, et al. // Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36. No. 3. P. 97-102. doi: 10.53859/02352451_2022_36_3_97

16. Belousov S.V., Samurganov E.E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01062. doi: 10.1051/e3sconf/202019301062

17. Improving the methodology for designing soil conservation technologies on slope agricultural landscapes / S. I. Chuchkalov, V. V. Alekseev, I. I. Maksimov et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2023. No. 3 (71). P. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

18. Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Technology and means of mechanization of ridge cultivation of row crops: monograph. Ulyanovsk: Vega-MC, 2017. 320 p.

19. Patent 2716117 Russian Federation, IPC A01C7/00. Method of ridge sowing of row crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.P. Albutov, O.A. Dmitriev; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2019127620; appl. 30.08.2019; published 05.03.2020, Bulletin No. 7.

20. Patent 2762407 Russian Federation, IPC A01C7/04, A01C21/00. Method for ridge sowing of row crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.A. Lazutkina, S.P. Albutov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2021102018; declared 28.01.2021; published 21.12.2021, Bulletin. No. 36.

21. Patent 2758517 Russian Federation, IPC A01B79/02, A01B49/02. Method for ridge cultivation of row crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.A. Lazutkina, S.P. Albutov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2021104874; declared 25.02.2021; published 29.10.2021, Bulletin No. 31.

22. Gordeev A.S., Ogorodnikov D.D., Yudaev I.V. Energy saving in agriculture. St. Petersburg: Lan Publishing House. 2014. 400 p.