



## Технические средства и технологии обработки почвы и внесения минеральных удобрений

Юлия Сергеевна Ценч<sup>1</sup>,

доктор технических наук, член-корреспондент  
Российской академии наук,  
главный научный сотрудник,  
e-mail: vimasp@mail.ru;

Иван Вадимович Сидоров<sup>2</sup>,

кандидат сельскохозяйственных наук,  
младший научный сотрудник,  
e-mail: nit123@yandex.ru

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Гжельский государственный университет, Московская обл., Российская Федерация

**Реферат.** Совершенство техники для внесения минеральных удобрений и химических средств защиты растений является важным условием их эффективности и безопасного применения. (*Цель исследования*) Провести ретроспективный анализ развития технических средств для внесения минеральных удобрений и химической защиты растений. (*Материалы и методы*) Изучили монографии, оригинальные и обзорные научные публикации, техническую документацию с использованием хронологического, генетического и описательного методов. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что формирование направлений развития техники для применения минеральных удобрений связано с постепенным освоением разных типов внесения, а опрыскивателей как важнейшего технического средства защиты растений – по мере внедрения разных принципов распыления жидкости. При этом границы между типами и группами сельскохозяйственных машин становятся все более условными. Представили материал о вкладе отечественных ученых и специалистов (А.П. фон Пошмана, А.Е. Зайкевича, Ф.М. Соловья) в совершенствование техники химизации. Выявили присущее как разбрасывателям минеральных удобрений, так и опрыскивателям увеличение параметров ширины захвата, рабочей скорости и производительности по мере углубления химизации. (*Выводы*) Развитие техники для применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений происходило от примитивных приспособлений и машин к автоматизированным и автоматическим адаптивным техническим средствам точного земледелия, основанным на широком внедрении цифровых и роботизированных устройств, возможностей искусственного интеллекта. В ближайшей перспективе технический уровень этих групп машин будет связан не столько с коренными конструкционными изменениями, сколько с внедрением идеологии точного земледелия.

**Ключевые слова:** химизация сельского хозяйства, агроинженерия, минеральные удобрения, пестициды, сельскохозяйственная техника, история техники.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Сидоров И.В. Технические средства и технологии обработки почвы и внесения минеральных удобрений. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №1. С. 64-71. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-64-71. EDN: GPMAEF.

Scientific article

## Machinery and Technologies For Soil Tillage and Mineral Fertilizer Application

Yulia S. Tsench<sup>1</sup>,

Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian  
Academy of Sciences, chief researcher,  
e-mail: vimasp@mail.ru;

Ivan V. Sidorov<sup>2</sup>,

Ph.D.(Agri.), junior researcher,  
e-mail: nit123@yandex.ru

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>Gzhel State University, Moscow Region, Russian Federation

**Abstract.** The advancement of equipment used for the application of mineral fertilizers and chemical plant protection products is a key prerequisite for their efficient and safe use. (*Research purpose*) To conduct a retrospective analysis of the development of technical means for the application of mineral fertilizers and chemical plant protection products. (*Materials and methods*) Monographs, original and review scientific publications, and technical documentation were studied using chronological, genetic-

historical, and descriptive methods. (*Results and discussion*) The study shows that the evolution of fertilizer application machinery is associated with the gradual adoption of different application methods, while the evolution of sprayers, as key technical means of plant protection, has progressed alongside the introduction of various liquid spraying principles. At the same time, the boundaries between types and groups of agricultural machines have become increasingly blurred. The contribution of domestic scientists and specialists (A.P. von Poshman, A.E. Zaikevich, F.M. Solovey) to the advancement of chemical application technology is highlighted. A common trend identified for both mineral fertilizer spreaders and sprayers is the increase in working width, operating speed, and productivity accompanying the intensification of agricultural chemicalization. (*Conclusions*) The development of equipment for the application of mineral fertilizers and chemical plant protection products has evolved from primitive devices and machines to automated and adaptive technical systems within the framework of precision agriculture, driven by the widespread adoption of digital and robotic technologies and artificial intelligence. In the near future, the technical advancement of these machine groups will be determined less by fundamental design changes and more by the implementation of the precision agriculture paradigm.

**Keywords:** agricultural chemicalization, agroengineering, mineral fertilizers, pesticides, plant protection products, agricultural machinery, history of technology.

■ **For citation:** Tsench Yu.S., Sidorov I.V. Machinery and technologies for soil tillage and mineral fertilizer application. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N1. 64-71 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-64-71. EDN: GPMAEF.

**Х**имизация и механизация как направления интенсификации сельского хозяйства неразрывно связаны. Технический уровень машин для внесения любых химических средств является одним из ключевых факторов эффективности их применения. Несмотря на значительные различия основные машины химизации (туковые и комбинированные сеялки, разбрасыватели минеральных удобрений, опрыскиватели) сходны по единой структуре рабочего процесса и задачам технологического процесса на разных этапах развития химизации. В то же время задействованные на внесении различных химических средств технические средства имеют видовую специфику, что отразилось на характере их эволюционного развития.

**Цель исследования** – ретроспективный анализ развития технических средств для внесения минеральных удобрений и химической защиты растений.

**Материалы и методы.** При подготовке статьи использовались монографии, оригинальные и обзорные научные публикации, техническая документация. Обработка полученных данных проведена с применением историко-научных (хронологического, генетического и описательного) методов.

**Результаты и обсуждение.** Развитие техники химизации началось с однооперационных машин, некоторые из них и в ближайшем будущем сохранятся в машинно-тракторном парке страны в силу ценовой доступности, освоенности в производстве и большого числа имеющихся образцов [1]. Однако по мере развития сельского хозяйства стабильно увеличивается востребованность комбинированных и универсальных технических средств, граница между которыми все чаще условна. Как комбинирование, так и универсализация ограничиваются агротехническими сроками выполнения работ и пределами усложнения конструкции, уста-

новленными инженерными и экономическими возможностями. Эволюция комбинированных и универсальных машин происходит в направлении от создания семейств унифицированных машин к техническим средствам, построенным по модульному принципу с возможностью быстрой смены разнообразных рабочих органов (примеры – энергетическое средство самоходной машины химизации ЭСВМ-7 и современное самоходное шасси «Туман»).

Давнее стремление конструкторов и инженеров оптимизировать число операций (в том числе связанных с химической обработкой) служит агроинженерной предпосылкой к целостному пониманию химизации сельского хозяйства. Наглядной иллюстрацией начиная с 1950-х годов является выполнение удобрительными машинами задач по защите растений (гербицидной обработки). Разрабатывались сеялки с одновременным внесением как удобрений, так и гербицидов, модернизировались культиваторы-растениепитатели. Также имеет место встречная тенденция использования машин по защите растений для внесения удобрений [2]. С развитием жидких и гелевых форм агрохимикатов стало возможным использовать для подкормки опрыскиватели и применявшиеся ранее для фумигации почвы инъекторы (в старых изданиях – инжекторы) [3-6]. Тем самым границы между разными группами сельскохозяйственных машин становятся все более условными, происходит их сближение.

Развитие наземных машин для внесения минеральных удобрений происходит по четырем направлениям – эволюционным линиям, появление которых тесно связано с постепенным освоением разных типов внесения (*табл.1*). Появившиеся в начале XX в. авиационные средства (летательные аппараты) представляют самостоятельную ветвь,

Аспект	Содержание
Совершенствование форм (эволюционные линии)	<p><i>Линия разбрасывателей:</i> тележечный разбрасыватель – туковая сеялка – центробежный разбрасыватель – штанговый разбрасыватель (распределитель)</p> <p><i>Линия посевных и посадочных машин:</i> универсальная сеялка – комбинированная туковая сеялка – посадочные машины с туковывсевающими аппаратами</p> <p><i>Линия растениепитателей по жидким удобрениям:</i> гербицидно-аммиачная машина, подкормщик, опрыскиватель, иньектор</p> <p><i>Линия летательных аппаратов:</i> с неподвижным крылом (самолет), винтокрылые (вертолет, дрон)</p>
Автономность	Прицепное орудие – навесное орудие – самоходная машина – автовождение
Перспективы	<p>Сокращение доли центробежных разбрасывателей в пользу штанговых</p> <p>Увеличение внутривспашечного внесения</p> <p>Повышение точности и избирательности дозирования</p> <p>Улучшение обработки границ поля</p> <p>Дальнейшая цифровизация мониторинга и автоматизация операций</p> <p>Цифровые исполнительные системы</p> <p>Применение беспилотной авиации</p>

хотя могут быть рассмотрены как особый аналог самоходного разбрасывателя.

Линия разбрасывателей является старейшей и восходит к первым отечественным проектам машин для внесения удобрений и извести – к так называемой «навозной тележке» А.П. фон Пошмана (1758-1829). По задумке создателя, машина предназначалась для внесения минеральных удобрений, получаемых сжиганием в переносной печи растений, земли и извести. А.П. фон Пошман также сформулировал первые агротехнические требования к удобрительным машинам. Однако сведения о практическом воплощении опередившего время проекта нами обнаружены не были, что объясняется крайне редким применением в России XIX в. минеральных удобрений и не востребоваанностью механизации в рамках крепостного строя.

В середине XIX в. после появления трудов Ю. Либиха в Европе происходит переход от теоретических исследований к реальному массовому производству и применению минеральных удобрений на полях. Родиной специальных туковых сеялок и приспособлений следует считать Великобританию. Первая английская туковая сеялка для внесения сухих удобрений была создана неким Салмсом в середине XIX в. и представляла собой также типичный разбрасыватель без распределительных устройств. В конце XIX в. важным новшеством стало появление цепного туковывсевающего аппарата, а в первой трети XX в. закрепляется разделение машин для внесения минеральных удобрений на туковые сеялки и разбрасыватели (рис. 1).

Наиболее простым вариантом разбрасывателей являются центробежные, до сих пор преобладающие при поверхностном внесении удобрений за счет большой ширины разбрасывания при сравнительно небольших размерах, несложной конструкции,



Рис. 1. Тукокоразбрасыватель TR-1 системы Б.В. Дмитриева (середина 1930-х годов), спроектированный специально для изготовления в хозяйствах

Fig. 1. TR-1 fertilizer spreader of the B.V. Dmitriev system (mid-1930s), designed for on-farm manufacture

надежности рабочего органа и ценовой доступности [7, 8]. Однако наиболее перспективным направлением в области внесения твердых туков остается разработка штанговых машин, обеспечивающих более высокое качество внесения.

Советский опыт показал, что новые конструкторские решения должны подкрепляться созданием в хозяйствах достаточных складских мощностей, гарантирующих строгое соблюдение условий хранения средств химизации. Установлено, что качество химикатов на всей цепочке от завода до склада в хозяйстве оказывает большое влияние не только на эксплуатацию, но и на традиции конструирования [9]. Так, при создании туковых разбросных сеялок зарубежные фирмы применяли звездчатые, шнековые, просеивающие и другие высевающие аппараты, предназначенные только для удобрений с хорошей сыпучестью. В СССР же приоритет отдавался цепным и тарельчатым аппаратам, способным работать и с малосыпучими удобрениями, пре-

обладавшими в отечественном ассортименте. Однако такие аппараты не всегда обеспечивают уменьшение нормы высева, что отрицательно влияет на экономичность и экологичность производства [10]. Наряду с механическими высевальными системами в современной сельскохозяйственной технике все активнее применяются пневматические.

До появления специальных туковых сеялок в Европе вносить удобрения пытались зерновыми разбросными сеялками, что ознаменовало начало механизации с помощью посадочных и посевных машин. Однако ложечные и ячеистые аппараты обычных сеялок забивались удобрениями и не обеспечивали равномерного высева.

Дальнейшее развитие эволюционная линия посадочных и посевных машин получила с появлением комбинированных сеялок в последней трети XIX в. [11]. На пути дальнейшего внедрения удобрений возникли две ключевые проблемы: поиск более эффективной альтернативы разбрасыванию и совмещение операции внесения химиката с его заделкой. Решение их в значительной степени является заслугой отечественных ученых, среди которых особое место занимает имя харьковского агронома и химика А.Е. Зайкевича (рис. 2).

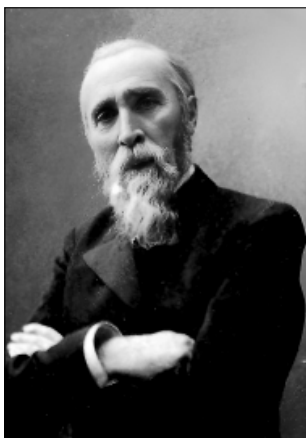


Рис. 2. Профессор Харьковского университета А.Е. Зайкевич (1842-1931)

Fig. 2. Prof. A.E. Zaykevich (1842-1931), Kharkiv University

В 1880-х годах под руководством А.Е. Зайкевича проводились опыты по совмещению посева сахарной свеклы с внесением суперфосфата. Было установлено, что одновременное внесение удобрений с семенами одной сеялкой оказалось менее эффективным, чем высева тука и семян двумя сеялками по отдельности последовательно на разную глубину [12]. Второй способ оказался экономичнее (доза удобрений двукратно сократилась) и несколько выгоднее по урожаю корнеплодов и итоговому количеству сахара с гектара. Можно уверенно утверждать, что формирование научных основ механизированного местного внесения удобрений связа-

но с Россией (хотя аналогичные эксперименты предпринимались и за рубежом). Намного позже, уже во второй половине XX в., линию посевных и посадочных машин, способных вносить минеральные удобрения, дополнили картофелепосадочные машины второго (1947-1958 гг.) и последующих поколений. Также для внесения растворов минеральных удобрений были приспособлены высаживающие аппараты рассадопосадочных машин.

Третья эволюционная линия связана с применением различных почвообрабатывающих машин [13]. В ряде случаев дает результат такой агрономический прием, как совмещение вспашки с внесением удобрений. Еще до Великой Отечественной войны ташкентский завод «Ташсельмаш» им. К.Е. Ворошилова (один из первенцев советского сельхозмашиностроения) освоил выпуск туковых сеялок СУЖ для навески на плуг ТПУ-3 Ростсельмаша. Распространение приема подкормки привело к применению для внесения удобрений в середине 1930-х годов культиваторов, получивших название «растениепитатели» [14]. За создание семейства подобных машин в 1941 г. ветеран ВИМ Ф.М. Соловей (рис. 3) был удостоен Сталинской премии. К концу 1950-х годов появились отечественные конструкции одновременно навесной сеялки и культиватора-растениепитателя технических культур. Развитие техники почвозащитной обработки привело к созданию таких машин, как плоскорез, которые также приспособили для удобрения почвы.



Рис. 3. Изобретатель семейства культиваторов-растениепитателей Ф.М. Соловей (1903-1991)

Fig. 3. F.M. Solovey (1903-1991), inventor of a family of cultivator-fertilizer implements, known as so-called "plant feeders"

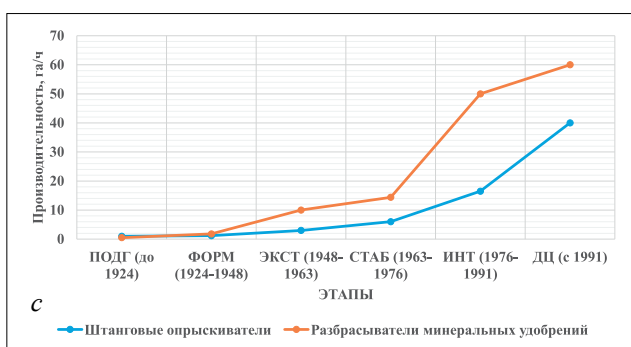
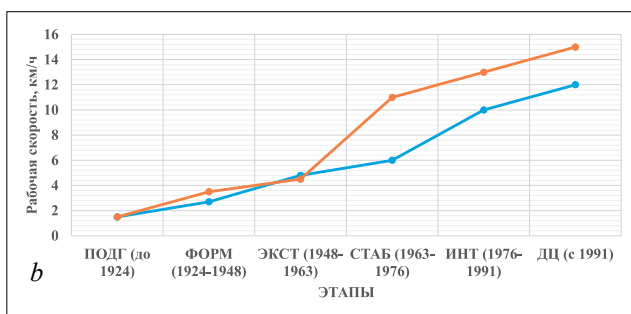
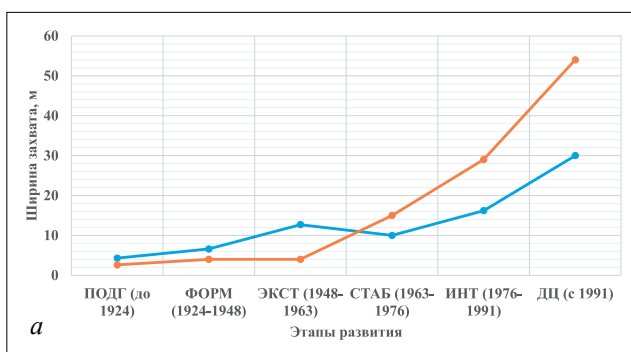
В химической защите растений наиболее значимым приемом остается опрыскивание [15]. По результатам ретроспективного анализа нами были выделены две эволюционные линии развития опрыскивателей в зависимости от принципа распыления жидкости (табл. 2).

Таблица 2		Table 2	
ЭВОЛЮЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ / EVOLUTIONARY ASPECTS OF AGRICULTURAL SPRAYER DEVELOPMENT			
Аспект	Содержание		
Совершенствование форм (эволюционные линии)	Линия штанговых опрыскивателей: персональные (безранцевые и ранцевые) – полустационарные (тачечные, бочечные) – экипажные и авиационные		
	Линия вентиляторных опрыскивателей		
Автономность	Прицепное орудие – навесное орудие – самоходная машина – автовождение		
Перспективы	Повышение равномерности и точности опрыскивания Гибкое дозирование Улучшение обработки границ поля Переход на ультрамалообъемное опрыскивание (УМО) Широкое внедрение электростатического опрыскивания Увеличение применения беспилотных летательных аппаратов на опрыскивании Широкое внедрение различных инновационных систем Развитие цифровизации мониторинга и автоматизации операций		

Как самый старый тип следует рассматривать штанговые опрыскиватели. Уже к началу XX в. сформировались такие их разновидности, как персональные (перемещаемые и обслуживаемые исключительно одним человеком), полустационарные (нетранспортабельные без использования носилок, тачек и т.п.) и экипажные – смонтированные на повозке. Значительно позже (приблизительно к середине 1940-х годов) были разработаны первые вентиляторные опрыскиватели. По соотношению достоинств и недостатков два типа опрыскивателей во многом аналогичны штанговым и центробежным разбрасывателям [16]. В то же время в связи с появлением комбинированных машин разграничение штанговых и вентиляторных опрыскивателей стало менее явным.

Ограниченность возможностей коренного улучшения опрыскивания стимулировала изыскание в конце 1980-х годов альтернативных способов внесения пестицидов [17, 18]. Был изучен и получил высокую оценку ученых способ местного применения гранулированных препаратов. Однако этот прием не был широко внедрен из-за отсутствия серийного производства сложной специализированной техники. В тот же период появилось контактно-смачивающее опрыскивание (КСО), вопреки названию предполагающее доставку пестицида на растение рабочим органом в виде штанги с пропитанными химикатом пористыми эластичными элементами. В СССР данная технология внесения испытывалась в конце 1980-х годов, однако не получила дальнейшего развития по организационным причинам.

При рассмотрении становления и развития техники химизации сельского хозяйства в России был проведен ретроспективный анализ и оценка эволюции таких рабочих параметров, как ширина захвата, рабочая скорость и производительность на примере разбрасывателей минеральных удобрений и штанговых опрыскивателей (рис. 4). Более подробно периодизация этапов развития технических средств химизации представлена в [19].



Этапы развития: ПОДГ – подготовительный; ФОРМ – формирующий; ЭКСТ – экстенсивный; СТАБ – стабилизационный; ИНТ – интенсивный; ДЦ – децентрализованный

Рис. 4. Изменение ширины захвата (а), рабочей скорости (б) и производительности (с) разбрасывателей туков и штанговых опрыскивателей

Fig. 4. Changes in working width (a), operating speed (b), and productivity (c) of mineral fertilizer spreaders and boom sprayers

Первый график (рис. 4а) отражает неуклонное возрастание ширины захвата у обеих групп машин с течением времени. При этом на подготовительном, формирующем и экстенсивном этапах штанговые опрыскиватели опережали разбрасыватели минеральных удобрений, что объясняется более ранним массовым внедрением защитных работ. Широкозахватные разбрасыватели стали создавать позже по мере развития инфраструктуры, увеличения объемов применения удобрений и совершенствования энергосредств на стабилизационном и интенсивном этапах. Такие машины востребованы и на децентрализованном этапе, особенно в крупных хозяйствах – основных производителях сельхозпродукции.

На рисунке 4б показано изменение рабочей скорости, определяемой возможностями мобильного энергетического средства. Использование конной тяги на операциях удобрения и химической защиты, характерное для подготовительного этапа, продолжилось на формирующем: для более энергоемких операций были необходимы на тот момент еще немногочисленные тракторы. Коренной рост рабочей скорости произошел только после Великой Отечественной войны по мере насыщения хозяйств энергосредствами и обеспечения повышенной мощности новых конструкций. Впоследствии, как видно по более пологому участку графика, интенсивность увеличения рабочих скоростей машин внесения удобрений снизилась: приоритетной стала не столько скорость, сколько ее поддержание.

В защите растений высокая скорость принципиальна также не для всех видов работ либо оправдана только при подходящих свойствах обрабатываемого участка и большом опыте механизаторов.

Параметр производительности технических средств для внесения удобрений и обработки полей агрохимикатами зависит от ширины захвата и значения доступных рабочих скоростей. Изменение производительности на разных этапах показано на рисунке 4с. В дальнейшем изменение данного параметра у всех групп машин будет связано не столько с коренными конструкционными измене-

ниями, сколько с фактором внедрения идеологии точного земледелия, в рамках которой вместо обработки площадей по усредненным показателям оказывается точечное целевое химическое воздействие. К важным факторам относится также интеллектуализация техники.

Сельское хозяйство вслед за промышленностью движется от орудийной и машинной техники к минимизации вовлеченности человека в рабочие процессы. Наиболее ярким примером служит переход к беспилотным системам, уже сегодня выполняющим мониторинг и авиационно-химические работы, а в ближайшем будущем – и наземные операции внесения агрохимикатов и пестицидов [20]. Другой тенденцией в эволюции оборудования для внесения удобрений и средств защиты растений является широкое использование новых материалов (полимеров вместо дерева и металла) и форм энергии (чисто механические конструкции дополняются электрифицированными), повышение энерго- и ресурсоэффективности.

**Выводы.** Техника химизации сельского хозяйства прошла путь от примитивных приспособлений и машин к автоматизированным и автоматическим адаптивным техническим средствам точного земледелия, основанным на широком внедрении цифровых и роботизированных устройств, искусственного интеллекта. К настоящему времени развитие технических средств характеризуется дальнейшим внедрением комбинированных и универсальных машин, существенным усложнением конструкций, увеличением ширины захвата, повышением производительности, рабочей скорости, точности обработки, оперативности информационного обмена.

Эволюционными факторами перечисленных изменений являются социально-экономические условия, природные особенности России (большие пространства, разнообразие почвенно-агрохимических условий, изобилие недоизученной вредной фауны и пр.), природа используемых химических средств, уровень развития промышленности и сельского хозяйства, а также взаимоотношения в системе «человек-техника».

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воденко К.В., Шейхова М.С., Сафонова С.Г., Бреусова Е.А. Материально-техническая база отечественного АПК: проблемы и перспективы в условиях цифровизации // *Московский экономический журнал*. 2021. N7. С. 221-228. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10443.
2. Шапиро Е.А., Труфляк Е.В., Карпенко В.Д. Методика настройки и организация работы наземных штанговых опрыскивателей // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. 2025. N208. С. 334-356. DOI: 10.21515/1990-4665-208-033.
3. Алдошин Н.В. Внесение жидких органических удобрений в технологиях минимальной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2025. N10(340). С. 27-30. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-10-27-30.
4. Сидоров С.А., Миронов Д.А., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Оценка износостойкости и ресурса двухслойных упрочненных почворезущих рабочих органов в различных почвенных условиях // *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30. N4. С. 699-710. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.

5. Милюткин В.А., Шахов В.А., Асманкин Е.М. и др. Исследования инновационных технологий, техники и жидких минеральных удобрений на основе карбамидо-аммиачной смеси при возделывании сельхозкультур // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. N4(96). С. 104-111. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-104-111.
6. Милюткин В.А., Иванов В.А., Попов А.В. Перспективные инновационные техника и технологии для внесения жидких азотных минеральных удобрений КАС // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. N1. С. 38-47. EDN: COBVCN.
7. Панферов Н.С., Костенко М.Ю., Тетерин В.С. и др. Разработка центробежного рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. N6. С. 47-53. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-47-53.
8. Панферов Н.С., Тетерин В.С., Митрофанов С.В. и др. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений // *Техника и оборудование для села*. 2021. N12(294). С. 18-24. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.
9. Монастырский Д., Куликова М.А., Волчек А. Повышение эффективности сельскохозяйственного производства за счет эффективного применения гранулированных удобрений // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024. N7(145). DOI: 10.60797/IRJ.2024.145.176.
10. Астахов В.С., Иванчиков Г.О. К вопросу совершенствования способов и машин для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. N2. С. 151-155. EDN: AQEGYN.
11. Булавицев Р.А., Головин С.И., Полохин А.М. и др. Эффективность использования минеральных удобрений в качестве подкормки озимой пшеницы // *Вестник аграрной науки*. 2024. N1(106). С. 71-76. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2024.1.71.
12. Уткин А.А. Системы удобрения сахарной свёклы // *Сахар*. 2024. N1. С. 20-28. DOI: 10.24412/2413-5518-2024-1-20-28.
13. Алдошин Н.В., Золотарев А.С., Квас С.А. Известкование почв – путь к повышению эффективности растениеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. N4. С. 35-41. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-35-41.
14. Васильев А.А., Лисунов О.В., Богиня М.В., Олейникова Е.Н. Совершенствование рабочих органов культиватора для локального внесения минеральных удобрений // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2022. N1(45). С. 20-29. DOI: 10.48136/2222-0364\_2022\_1\_20.
15. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // *Агроинженерия*. 2021. N1(101). С. 26-35. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.
16. Щеголихина Т.А. Производство штанговых опрыскивателей в России // *АгроФорум*. 2022. N4. С. 28-29. EDN: JVCQJE.
17. Лысов А.К., Корнилов Т.В. Развитие технологий и средств механизации для защиты растений в Российской Федерации // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N4. С. 100-108. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-100-108.
18. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8 (278). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
19. Ценч Ю.С., Сидоров И.В. Этапы развития технологий и технических средств для внесения удобрений и защиты растений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N3. С. 14-22. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
20. Лысов А.К., Павлюшин В.А. Фитосанитарное проектирование агроэкосистем и дистанционное зондирование // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. N5. С. 101-112. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-101-109.

## REFERENCES

1. Vodenko K.V., Sheykhova M.S., Safonova S.G., Breusova E.A. Material and technical base of the domestic agro-industrial complex: problems and prospects in the context of digitalization. *Moscow Economic Journal*. 2021. N7. 221-228 (In Russian). DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10443.
2. Shapiro E.A., Truflyak E.V., Karpenko V.D. Setup procedure and the organization of the work of ground rod sprayers. *Polythematic Online Scientific Journal of KubSAU*. 2025. N208. 334-356 (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-208-033.
3. Aldoshin N.V. Application of liquid organic fertilizers with minimum tillage technologies. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2025. N10(340). 27-30 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2025-10-27-30.
4. Sidorov S.A., Mironov D.A., Tsench Yu.S., Mironova A.V. Assessment of durability and service life of two-layer hardened earth cutters in various soil conditions. *Engineering Technologies and Systems*. 2020. Vol. 30. N4. 699-710 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710
5. Milyutkin V.A., Shakhov V.A., Asmankin E.M. et al. Research of innovative technologies, engineering and liquid mineral fertilizers based on carbamide-ammonia mixture for crop cultivation. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022. N4(96). 104-111 (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-104-111.

6. Milyutkin V.A., Ivanov V.A., Popov A.V. Advanced engineering and technology for application of liquid nitrogen chemical fertilizer carbamide-ammonia mixture based. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2022. N1. 38-47 (In Russian). EDN: COBBCN.
7. Panferov N.S., Kostenko M.Yu., Teterin V.S. et al. Design of a centrifugal working unit of a mineral fertilizer spreader. *Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 24. N6. 47-53 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-47-53.
8. Panferov N.S., Teterin V.S., Mitrofanov S.V. et al. Trends in the development of machines fitted with centrifugal working bodies for surface application of solid mineral fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N12(294). 18-24 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.
9. Monastirskii D., Kulikova M.A., Volchek A. Improving the efficiency of agricultural production through the effective use of granular fertilizers. *International Research Journal*. 2024. N7(145). (In Russian). DOI: 10.60797/IRJ.2024.145.176.
10. Astakhov V.S., Ivanchikov G.O. On the improvement of methods and machines for the differentiated application of solid mineral fertilizers. *Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*. 2023. N2. 151-155 (In Russian). EDN: AQEGYN.
11. Bulavintsev R.A., Golovin S.I., Polokhin A.M. et al. Effectiveness of using mineral fertilizers as feeding for winter wheat. *Bulletin of Agrarian Science*. 2024. N1(106). 71-76 (In Russian). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2024.1.71.
12. Utkin A.A. Sugar beet fertilization systems. *Sugar*. 2024. N1. 20-28 (In Russian). DOI: 10.24412/2413-5518-2024-1-20-28.
13. Aldoshin N.V., Zolotarev A.S., Kvas S.A. Soil liming as a way to increase crop production efficiency. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N4. 35-41 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-35-41.
14. Vasilyev A.A., Lisunov O.V., Boginya M.V., Oleynikova E.N. Improving the working bodies of cultivator for local application of mineral fertilizers. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022. N1(45). 20-29 (In Russian). DOI: 10.48136/2222-0364\_2022\_1\_20.
15. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eschin A.V. Development prospects for methods and technical means of farm crop protection. *Agricultural Engineering*. 2021. N1(101). 26-35 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.
16. Schegolikhina T.A. Rod sprayers production in Russia. *AgroForum*. 2022. N4. 28-29 (In Russian). EDN: JVCQJE.
17. Lysov A.K., Kornilov T.V. Advancements in plant protection technologies and mechanization in the Russian Federation. *Agricultural Machinery and Technologies*. Vol. 18. N4. 100-108 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-100-108.
18. Akhalaya B.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S. et al. Combined unit with a universal working body for surface tillage. *Technique and Equipment for Rural Area*. 2020. N8 (278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
19. Tsench Yu.S., Sidorov I.V. Stages of technologies and technical means development for fertilization and plant protection. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N3. 14-22 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
20. Lysov A.K., Pavlyushin V.A. Phytosanitary design of agroecosystems and remote sensing. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2022. Vol. 19. N5. 101-112 (In Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-101-109.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – общее руководство, постановка задач исследования, научное редактирование текста статьи;

Сидоров И.В. – анализ предметной области, написание текста и формулирование выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – overall supervision, formulation of the research objectives, scientific editing of the manuscript;

Sidorov I.V. – subject area analysis, manuscript drafting, and formulation of conclusions.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.12.2025

25.02.2026