УДК 631.331:633.15

РАЗРАБОТКА КУКУРУЗНОЙ СЕЯЛКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЛЯН ЭНЬЦЯН, КОНГ ЦЗЯЛИ, В. С. АСТАХОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 15.07.2026)

В связи с проблемами низкой точности посева, высокого уровня пропусков и повторного высева, характерными для традиционных технологий возделывания кукурузы, разработана многофункциональная сеялка прямого посева, совмещающая в одном технологическом проходе операции разрезания и измельчения пожнивных остатков, внесения минеральных удобрений, открытия посевной борозды, точного высева семян и прикатывания почвы. Актуальность разработки обусловлена необходимостью адаптации посевной техники к работе как на равнинных, так и на холмистых рельефах, а также потребностью в снижении производственных затрат и повышении общей эффективности посевных операций.

На основе анализа физических свойств семян кукурузы и агротехнических требований к посеву с применением программного комплекса SolidWorks выполнено проектирование и параметрическая оптимизация ключевых узлов машины: наклонного дискового высевателя, измельчителя пожнивных остатков и сошника. Для каждого узла проведён детальный теоретический анализ силовых взаимодействий, обоснованы конструктивные параметры и выполнена проверка прочностных характеристик. Теоретический анализ и расчёты устанавливают следующие оптимальные параметры: диаметр высевающего диска – 280 мм, угол наклона диска к горизонтали – 45°, угол конусности – 25°, диаметр семенных ячеек – 14 мм, шаг между ячейками – 300 мм. При данных параметрах достоверность заполнения ячеек достигает 99,7 %, а центростремительное ускорение составляет 0,74 м/с², что исключает самопроизвольный выброс семян. При частоте вращения вала измельчителя 250 об/мин линейная скорость резки стеблей составляет 6,59 м/с, что соответствует рекомендуемому диапазону и обеспечивает степень измельчения пожнивных остатков не менее 95 %. Результаты расчёта прочности вала подтверждают, что суммарное напряжение в критическом сечении составляет 85,4 МПа, что значительно ниже допустимого значения 260 МПа; угол закручивания и прогиб вала также не превышают нормативных значений – конструкция безопасна и надёжна в эксплуатации.

Разработанная сеялка обеспечивает стабильный однозерновой высев, гибкую регулировку нормы внесения удобрений и глубины заделки семян применительно к различным агрофонам. Совмещение нескольких технологических операций в едином агрегате позволяет существенно повысить производительность посевного агрегата, сократить число проходов техники по полю, снизить себестоимость производства и уменьшить уплотнение почвы. Машина обладает высокой практической ценностью и широкими перспективами применения в условиях различных почвенно-климатических зон.

Ключевые слова: *кукурузная сеялка, наклонный дисковый высеватель, щелевое устройство, точный высев.*

Due to problems with low seeding accuracy, high rates of skips and repeated seeding, characteristic of traditional corn cultivation technologies, a multifunctional direct-seeding seeder was developed. This seeder combines the operations of cutting and crushing crop residues, applying mineral fertilizers, opening the seed furrow, precision seeding, and soil compaction in a single pass. The relevance of this development is driven by the need to adapt seeding equipment to work on both flat and hilly terrain, as well as the need to reduce production costs and improve the overall efficiency of seeding operations. Based on an analysis of the physical properties of corn seeds and agronomic requirements for sowing, the SolidWorks software package was used to design and parametrically optimize key machine components: an inclined disc seed drill, a crop residue chopper, and a coulter. A detailed theoretical analysis of force interactions was conducted for each component, design parameters were substantiated, and strength characteristics were tested. The theoretical analysis and calculations established the following optimal parameters: seeding disc diameter of 280 mm, disc inclination angle to the horizontal of 45°, taper angle of 25°, seed cell diameter of 14 mm, and cell spacing of 300 mm. With these parameters, the cell filling rate reaches 99.7 %, and the centripetal acceleration is 0.74 m/s², which eliminates the spontaneous ejection of seeds. At a chopper shaft speed of 250 rpm, the linear cutting speed of the stems is 6.59 m/s, which is within the recommended range and ensures a minimum 95 % reduction in crop residue. Shaft strength calculations confirm that the total stress in the critical section is 85.4 MPa, significantly below the permissible value of 260 MPa. The twist angle and shaft deflection also comply with regulatory limits, ensuring safe and reliable operation.

The designed seeder ensures consistent single-grain seeding, flexible adjustment of fertilizer application rates, and seed placement depth for various agricultural conditions. Combining several technological operations in a single unit significantly increases the productivity of the seeding unit, reduces the number of machine passes across the field, lowers production costs, and minimizes soil compaction. The machine offers high practical value and broad application potential across a variety of soil and climate zones.

Key words*: corn seeder, inclined disc seed drill, alkaline seeding unit, precision seeding.*

Введение

Кукуруза является важной продовольственной, кормовой и технической культурой. Общий валовой сбор зерна в стране в 2022 году достиг 1373,3 млрд кг, однако урожайность кукурузы по-прежнему не в полной мере удовлетворяет внутренний спрос. Традиционная технология посева с оборотом пласта, несмотря на экономические преимущества, нарушает жизнедеятельность почвенных организмов, снижает биологическую активность почвы, усиливает её эрозию и дефляцию. Прямой посев в необработанную почву на пожнивных остатках позволяет снизить ущерб от ветровой и водной эрозии, эффективно бороться с пыльными бурями и засухой, а также повышать урожайность сельскохозяйственных культур.

Районы возделывания кукурузы охватывают как равнины северо-востока, так и холмистые территории юго-запада страны. Технологии крупных сеялок для равнинных районов достаточно хорошо

отработаны, тогда как небольшие горные сеялки развиты значительно слабее. Европейские и американские компании провели ранние исследования в данной области; пневматические сеялки доминируют на европейском рынке, обеспечивая уровень пропусков и повторного высева ниже 1 % [1]. Сеялка компании Kinze (США) оснащена уникальными прикатывающими колёсами и почвозакрывающими устройствами, обеспечивающими устойчивую работу на высоком пожнивном фоне.

В ответ на перечисленные проблемы разработана кукурузная сеялка, адаптированная к отечественным условиям, с акцентом на решение технических задач по снижению пропусков, повышению точности высева и обеспечению надёжной работы в различных рельефных условиях с целью достижения однозернового высева при высокой производительности.

Основная часть

Общая конструкция. Габариты разработанной кукурузной сеялки согласованы с навесной системой тракторов среднего и крупного класса, что обеспечивает её работоспособность как на равнинных, так и на холмистых участках [2]. Сеялка включает следующие основные узлы: измельчитель пожнивных остатков, высевающий аппарат, тукопровод, сошник, почвозакрывающее устройство и прикатывающее колесо; все узлы соединены высокопрочными болтами и сварными швами, что обеспечивает жёсткость и надёжность конструкции. В процессе работы измельчитель заделывает пожнивные остатки в почву и очищает посевную ленту; тукопровод и высевающий аппарат выполняют одновременное внесение удобрений и высев семян; почвозакрывающий диск заделывает семена, а прикатывающее колесо уплотняет почву для обеспечения контакта семян с ней и стимулирования поглощения влаги; пружинный механизм предотвращает чрезмерное давление прикатывающего колеса на семена. Общая конструкция показана на рис. 1.

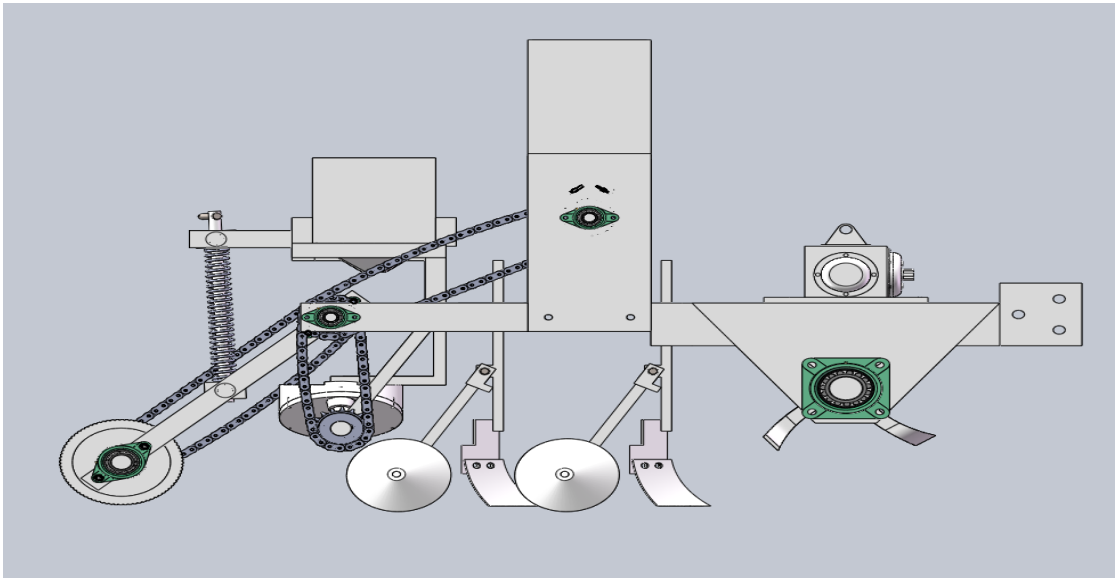


Рис. 1. Общая конструкция сеялки

Рабочие характеристики. Основные функциональные возможности сеялки представлены в таблице.

Рабочие характеристики и функциональные элементы кукурузной сеялки

Функциональный элемент	Характеристика и выполняемая функция
Навеска на трактор среднего и крупного класса	Совместимость с навесной системой трактора; работа на холмистых и равнинных участках
Измельчитель пожнивных остатков	Заделка остатков соломы в почву, очистка посевной ленты от мусора, создание условий для последующих операций
Прикатывающее колесо	Уплотнение семян и почвы, стимулирование поглощения влаги; пружинный механизм предотвращает чрезмерное сжатие и защищает семена
Конструкция «измельчение – открытие борозды – заделка»	Снижение общего тягового сопротивления машины, устранение забивания рабочих органов, существенное повышение проходимости
Высокопрочные конструктивные соединения	Обеспечение структурной целостности, жёсткости и надёжности всех узлов посредством болтовых и сварных соединений
Одновременное внесение удобрений и высев	Синхронное и эффективное выполнение операций удобрения и посева в рамках единого технологического прохода

Проектирование ключевых компонентов. Наклонный дисковый высеватель является центральным рабочим органом точной сеялки, от конструкции и параметров которого непосредственно зависит качество посева. Устройство реализует вращение диска с помощью щёток, зубчатых гребёнок, подвижных и неподвижных пластин [3]. Семена поступают по направляющему лотку в ячейки диска под совместным действием силы тяжести и центробежной силы; избыточные семена сдуваются или соскальзывают обратно, а конструкция «полой» ячейки гарантирует наличие в каждой ячейке не более одного семени.

(1) Форма и диаметр высевающего диска. Высевающий диск выполнен в виде вращающегося конического элемента с углом конусности 25°, что соответствует углу естественного откоса семян кукурузы (27°) и обеспечивает их стабильное движение по диску без зависания или недозаполнения ячеек. Диаметр диска принят равным 280 мм, что удовлетворяет функциональным и конструктивным требованиям. Конструкция показана на рис. 2–3.

Проверка центростремительного ускорения: при частоте вращения n = 22 об/мин и радиусе r = 0,14 м расчётное ускорение a = 0,74 м/с², что значительно меньше ускорения свободного падения g = 9,8 м/с² – выброс семян из ячеек исключён.

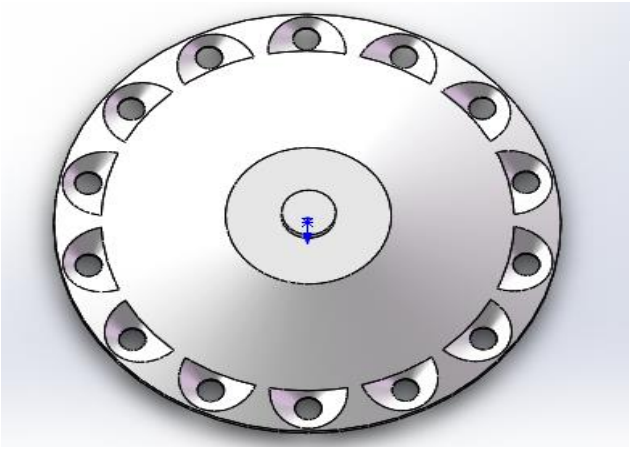


Рис. 2. Схема расположения диска

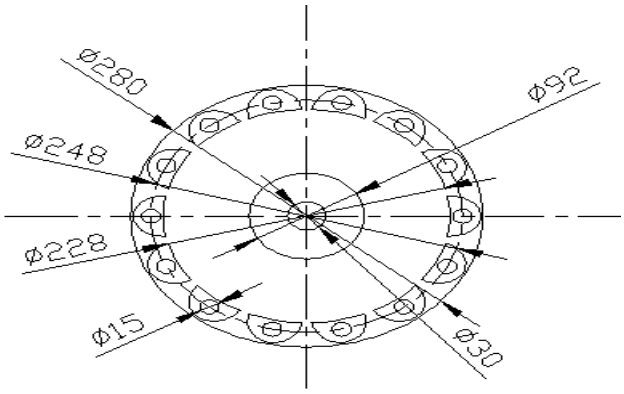


Рис. 3. Внутренние размеры диска

(2) Определение угла наклона высевающего диска. Наклонное расположение диска относительно горизонтальной плоскости способствует эффективному заполнению и очистке ячеек. При оптимальной частоте вращения 8–22 об/мин (расчётное значение 22 об/мин) угол наклона θ = 45° [3]. Данный угол обеспечивает стабильный высев, исключает переполнение ячеек и снижает повреждение семян. Как показано на рис. 4.

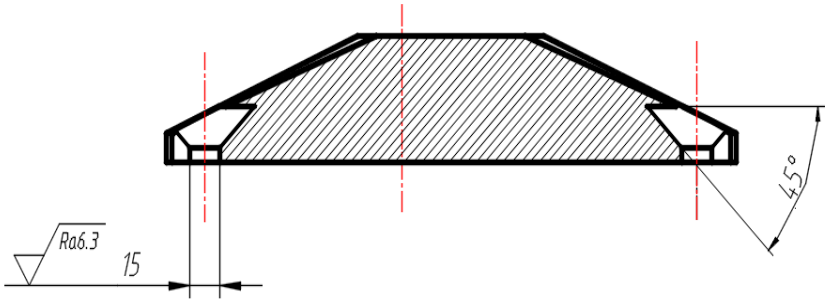


Рис. 4. Угол наклона высевающего диска

(3) Конструкция и размеры семенных ячеек. Диаметр ячеек определяется размерами гранулированных семян кукурузы, распределение которых подчиняется нормальному закону D(13,9; 0,056644). Согласно национальным стандартам, надёжность точной сеялки должна быть не ниже 90 %. По условию надёжности:

$$R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \geq 90\ \%$$

где R_1 – достоверность заполнения ячеек; R_2 = 98 % – надёжность ведущего колеса; R_3 = 95 % – надёжность деталей; R_4 = 98 % – надёжность трансмиссии. Расчётом установлено $R_1 \geq 99{,}7$ %, что соответствует диаметру ячеек d = 14 мм. Для улучшения заполнения и очистки ячейки оснащены направляющими каналами с обеих сторон.

(4) Определение шага между ячейками. При вероятности заполнения одной ячейки p = 99,3 % и числе резервных ячеек n = 3 фактическая достоверность заполнения составляет 99,9997 %. Периметр диска $C = \pi D = 879{,}2$ мм, шаг между ячейками $L = C/3 \approx 300$ мм.

(5) Конструкция измельчителя пожнивных остатков. Основная функция измельчителя – разрезание стеблей и пожнивных остатков для создания благоприятных условий последующего посева. Мощность передаётся от ВОМ трактора через карданный вал на ось ротора, приводимого цепной передачей. В процессе работы система ножей испытывает многоосевую нагрузку: изгиб от крутящего момента, реакцию почвы и кручение. Расчёт по критериям статической прочности позволяет установить коэффициент запаса прочности в рациональном интервале. Трактор «Дунфанхун» LX804 мощностью 80 кВт; частота вращения вала измельчителя 250 об/мин; диаметр ротора D = 0,5 м; линейная скорость резки стеблей составляет 6,59 м/с, что находится в рекомендуемом диапазоне 6–10 м/с. При длине резки 50–100 мм степень измельчения достигает 95 %.

(6) Конструкция сошника. Специально спроектированный дисковый сошник включает основную пластину и хвостовые лезвия, соединённые болтами, что допускает замену изношенных элементов. Сошник обеспечивает хорошее заглубление в почву и адаптируется к различным условиям рельефа с минимальным нарушением почвы [4]. Профиль режущей кромки выполнен в виде дугообразного лезвия для снижения сопротивления заглублению; основной корпус изготовлен литьём с последующим упрочнением для повышения износостойкости.

(7) Конструкция прикатывающего колеса. Прикатывающее колесо формируется совместно с рамой, осями вращения и ступицами. Ширина обода составляет 280 мм, диаметр – 80 мм [5]. Рабочий диапазон скоростей 0,12–0,33 м/с соответствует частоте вращения колеса 28–78 об/мин, обеспечивая равномерное уплотнение почвы. Конструкция показана на рис. 5–6.

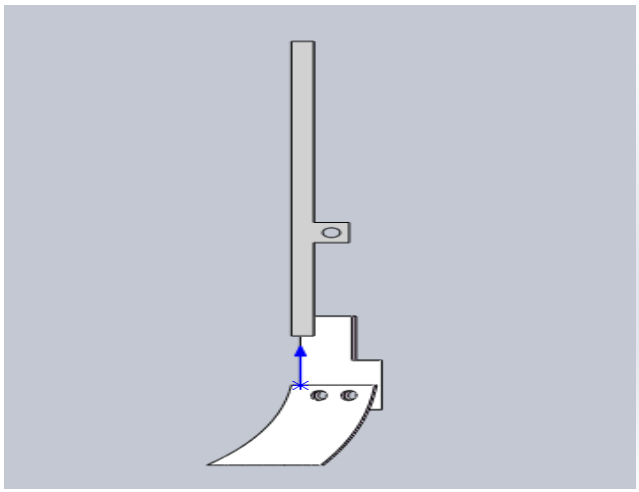


Рис. 5. Измельчитель пожнивных остатков

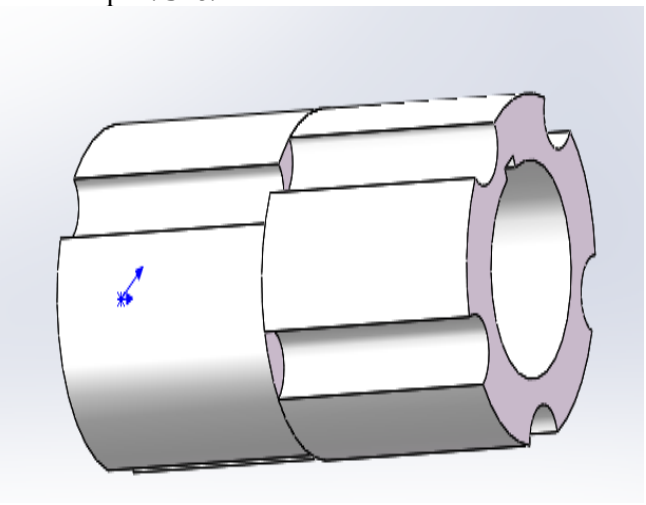


Рис. 6. Схема прикатывающего колеса

(8) Расчёт вала измельчителя. Материал вала – сталь 45, твёрдость 217–255 HBS. Минимальный диаметр вала определяем по формуле:

$$d \geq C \cdot \sqrt[3]{(P/n)},$$

где P = 80 кВт – мощность трактора; n = 250 об/мин – частота вращения вала измельчителя; C = 110 – конструктивная постоянная. Расчётом получено $d \geq 75$ мм; принятый диаметр вала 75 мм удовлетворяет требованиям [6].

Проверка прочности вала: модуль упругости стали 45 – E = 206 ГПа, модуль сдвига – G = 79 ГПа, предел прочности – σ_b = 600 МПа. Допустимое напряжение изгиба (коэффициент запаса n = 2,5) – $[\sigma]$ = 120 МПа; допустимое касательное напряжение – $[\tau]$ = 143 МПа.

Результаты расчёта: максимальное суммарное напряжение составляет 85,4 МПа, что значительно ниже допустимого значения 260 МПа; угол закручивания $\varphi = 1{,}78° < 2{,}56°$ (допускаемое значение);

максимальный прогиб ω_max = 0,0082 мм. Все расчётные показатели удовлетворяют нормативным требованиям; конструкция безопасна и надёжна.

Заключение

В ходе данного исследования разработана эффективная точная кукурузная сеялка; выполнены систематические теоретические расчёты, параметрическая оптимизация и конструирование узлов, что позволило сформулировать нижеприведенные основные выводы.

В соответствии с концепцией модульного проектирования сеялка допускает гибкую регулировку ширины междурядья, глубины заделки семян и нормы внесения удобрений применительно к различным условиям рельефа и схемам посева, обеспечивая работоспособность как на равнинных, так и на холмистых участках [7].

Оптимальные параметры наклонного дискового высевателя: диаметр диска 280 мм, угол наклона 45°, диаметр ячеек 14 мм, шаг между ячейками 300 мм; достоверность заполнения ячеек – 99,7 %, что обеспечивает эффективное снижение пропусков и повторного высева [8, 9].

При частоте вращения вала измельчителя 250 об/мин линейная скорость резки стеблей составляет 6,59 м/с, степень измельчения – до 95 %, что позволяет эффективно устранить забивание рабочих органов при наличии соломы на поверхности поля.

Результаты расчёта прочности вала подтверждают: суммарное напряжение 85,4 МПа существенно ниже допустимого значения 260 МПа; конструкция безопасна и надёжна.

Совмещение в одном проходе операций высева, внесения удобрений, заделки и прикатывания позволяет существенно повысить производительность и снизить производственные затраты; машина обладает высокой практической ценностью и широкими перспективами применения [9, 10].

В дальнейших исследованиях целесообразно оптимизировать навесную систему и разработать складную раму для работы на малых участках [11]; предусмотреть возможность переменного внесения удобрений на основе данных о питательном составе почвы; интегрировать датчики и навигационную систему для мониторинга глубины заделки, местоположения и скорости движения в режиме реального времени, что будет способствовать дальнейшему развитию точных посевных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сяо Мэй. Разработка и испытания кукурузных культиваторов / Сяо Мэй // Китайское сельскохозяйственное оборудование. – 2024. – № 12. – С. 23–26.

2. Дун Лифэн. Исследование ключевых технологий сельскохозяйственных сеялок / Дун Лифэн // Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники. – 2022. – № 4. – С. 56–58.

3. Разработка и испытания ложково-зажимного точного высевного аппарата для бобовых культур / Ли Юйхуань, Ян Ли, Хань Ин, [и др.] // Журнал сельскохозяйственной техники. – 2018, 49 (Доп. 1). – С. 108–116.

4. Проектирование и испытания посевной секции культиватора с боковым расположением высевающего аппарата / Чжао Юн, Ван Юн, Гун Чжоу, [и др.] // Журнал сельскохозяйственной техники. – 2021. – Т. 52, № 8. – С. 40–50.

5. Электрически управляемая система контроля нормы высева для высокоскоростной кукурузной сеялки / Цзян Чжэньхань, Ван Юйсюй, Вэй Ифэй, [и др.] // Китайская сельскохозяйственная газета. – 2024. – Т. 45, № 3. – С. 24–30.

6. Чу Лунъин. Основы конструирования машин / Чу Лунъин. – 3-е изд. – Пекин: Машиностроение, 2023. – 230 с.

7. Иванчиков, Г. О. Международный опыт и практики в области экологии сельского хозяйства: анализ и рекомендации / Г. О. Иванчиков // Молодежь и инновации – 2025 : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, Горки, 28–30 мая 2025 года. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2025. – С. 101–104.

8. Иванчиков, Г. О. Влияние сельскохозяйственных практик на выбросы парниковых газов в Беларуси / Г. О. Иванчиков // Молодежь и инновации. – 2025: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, Горки, 28–30 мая 2025 года. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2025. – С. 98–101.

9. Иванчиков, Г. О. Повышение эффективности минеральных удобрений за счет технологий внесения / Г. О. Иванчиков // Наше сельское хозяйство. – 2025. – № 13(357). – С. 16–20.

10. Иванчиков, Г. О. Путь к устойчивому земледелию: минеральные удобрения и инновации / Г. О. Иванчиков, В. С. Астахов // Наше сельское хозяйство. – 2023. – № 17(313). – С. 53–55.

11. Астахов, В. С. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 133–136.