

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



Липатов Николай Васильевич

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВАТОРА-ПОДКОРМЩИКА

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук,

Тетерин Владимир Сергеевич

Рязань – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ.....	9
1.1 Анализ причин неоднородности урожайности и способов ее стабилизации.....	9
1.2 Технические средства для локального внесения удобрений.....	15
1.3 Анализ выполненных исследований.....	25
1.4 Цель и задачи исследований.....	29
Выводы по 1 главе.....	30
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВАТОРА -ПОДКОРМЩИКА	31
2.1 Конструктивно технологическая схема культиватора-подкормщика для локального внесения минеральных удобрений.....	31
2.2 Теоретические исследования дозирующих устройств для внесения минеральных удобрений.....	32
2.3 Теоретическое обоснование конструктивных параметров сошника для распределения удобрений по ширине рядка.....	42
Выводы по 2 главе.....	51
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	53
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	53
3.2 Методика экспериментальных исследований дозирующего устройства для локального внесения удобрений.....	54
3.3 Методика экспериментальных исследований сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади.....	56
3.4 Методика экспериментальных исследований сошника для оценки распределения удобрений в гребне.....	60

3.5 Методика полевых исследований локального внесения удобрений.....	62
Выводы по 3 главе.....	67
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	68
4.1 Результаты экспериментальных исследований дозирующего устройства для локального внесения удобрений	68
4.2 Результаты экспериментальных исследований сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади.....	69
4.3 Результаты экспериментальных исследований сошника для оценки распределения удобрений в гребне	73
4.4 Результаты полевых исследований локального внесения удобрений.....	76
Выводы по 4 главе.....	79
ГЛАВА 5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ГРЕБНИ.....	81
Выводы по 5 главе.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
ЛИТЕРАТУРА.....	89
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Картофель - ценнейший продукт питания для человека, а также ценное сырье для пищевой промышленности. Картофель является культурой интенсивного типа. Гектар картофеля приносит в 2...4 раза больше питательных веществ, чем зерновые культуры. Картофель обладает высокой урожайностью и весьма требователен к содержанию питательных веществ в почве. Корневая система картофеля мочковатого типа слабо развита и расположена в основном в гребне на глубине не более 25 см. Поэтому для нормального развития растений необходимо создать запас доступных минеральных удобрений в гребне.

Внесение минеральных удобрений в осенний период способствует переходу минеральных веществ в доступные формы. Технология возделывания картофеля предполагает сплошное внесение твердых минеральных удобрений с культивацией. При весенней обработке удобрения распределяются по всему горизонту, что уменьшает их содержание в гребне. Внесение минеральных удобрений при посадке обеспечивает только стартовый запас питательных веществ на начальный период развития растений.

Для обеспечения растений картофеля питательными веществами необходимо разработать машины для локального внесения твердых и жидких минеральных удобрений в гребни с учетом современных тенденций ресурсосбережения.

Степень разработанности темы. Вопросом повышения эффективности производства картофеля занимались С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, К.З. Кухмазов, Н.П. Ларюшин, П.И. Гаджиев, А.Г. Пономарев, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Сорокин, И.А. Успенский и др., а также ряд зарубежных исследователей: R. Peters, J. Winkelmann, P.C. Struik и др. Вопросами совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих машин занимались А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, М.Н. Чаткин, Д.С. Гапич, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович и

др. Процесс внесения в гребни твердых минеральных удобрений достаточно изучен, однако не в полной мере исследованы вопросы осеннего внесения основной дозы удобрений в гребни, отсутствуют необходимые машины для локального внесения удобрений в гребни.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021...2025 гг. теме 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве, перспектива развития сельскохозяйственных территорий», раздел 1.3. «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в агропромышленном комплексе».

Целью исследования – обоснование параметров дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика для внесения минеральных удобрений в гребни.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих технологических процессов локального внесения минеральных удобрений;
- теоретически обосновать параметры культиватора-подкормщика;
- провести лабораторно-полевые исследования культиватора-подкормщика;
- провести производственную проверку культиватора-подкормщика в производственных условиях и выполнить экономическую оценку его внедрения.

Объект исследования. Процесс локального внесения минеральных удобрений в гребни.

Предмет исследования. Теоретические и экспериментальные закономерности работы культиватора-подкормщика.

Научная новизна исследования:

- теоретические зависимости подачи удобрений дозирующим устройством от его параметров;
- теоретические зависимости распределения минеральных удобрений по ширине борозды формируемого гребня от конструктивных параметров сошника;
- экспериментальные зависимости равномерности распределения минеральных удобрений от параметров дозирующего устройства и сошника.

Практическая значимость исследования:

- параметры дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика;
- результаты оценки эффективности функционирования культиватора-подкормщика;
- результаты оценки экономического эффекта от внедрения культиватора-подкормщика.

Методология и методы исследования. На основе теоретической механики, математики, теории вероятности и математической статистики, проведены теоретические исследования. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и полевых условиях с использованием стандартных и частных методик, специально разработанных для культиватора-подкормщика. Анализ полученных данных выполнялся с помощью программ «STATISTICA 8.0» и «MathCAD 15».

Основные положения, выносимые на защиту:

- теоретически и экспериментально обоснованные параметры дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика;
- результаты оценки эффективности функционирования культиватора-подкормщика;
- экономический эффект от внедрения культиватора-подкормщика.

Степень достоверности. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований составила 95%, основные положения диссертации получили положительные результаты при апробации.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования обсуждены на научно-технических конференциях: Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова, Рязань, 23 ноября 2021 года; Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященной 80-летию д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича 27 января 2022 года, Рязань, 27 января 2022 года.

Реализация результатов исследования. По результатам теоретических исследований был изготовлен опытный образец культиватора-подкормщика (ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области), который проходил экспериментальные исследования в 2021-2022 г. на общей площади 20 га.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследований, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, интерпретации полученных результатов, обосновании параметров культиватора-подкормщика, написании научных статей и оформлении патентных заявок.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 7 научных работах, из них 3 статьи в источниках, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ. Получено 2 патента РФ на изобретение 2762212 и 2780210, 1 патент на полезную модель 213790, и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022665285. Общий объем публикаций составил 3,22 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,52 п.л.

Структура и объем работы. В целом диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения (общих выводов), списка литературы из 159 наименования, приложения, изложена на 119 страницах, включает 37 рисунков и 4 таблицы.

ГЛАВА № 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

1.1 Анализ причин неоднородности урожайности и способов ее стабилизации

Урожайность сельскохозяйственных культур сильно отличается в пределах одного поля. Изменчивость урожайности между участками может составлять 2-3 раза. Это обусловлено качеством семенного материала, типом почв, влагообеспеченностью отдельных участков, наличием активных питательных веществ, зараженностью вредителями и болезнями и другими факторами. Неоднородность почвенного покрова – характеристика, параметр, интегрально отражающий сложность и контрастность почвенного покрова. Различают 2 глобальных вида неоднородности почвенного покрова, названных В. В. Докучаевым географией и топографией почв: зонально-провинциальное строение и структура почвенного покрова, которые четко различаются масштабностью проявления, размерами компонентов.

Важным фактором являются сроки и количество внесенных удобрений [8, 10, 108, 127, 132, 136, 146]. Так как корневая система картофеля развивается в пределах гребня, важно вносить удобрения непосредственно в гребень, чтобы обеспечить растения питательными веществами в течении всего периода вегетации. Картофель имеет высокую урожайность и поэтому требователен к наличию необходимых элементов питания.

Следует отметить, что некоторые минеральные удобрения имеют длительные сроки перехода в доступные формы. Поэтому калийные и фосфорные удобрения вносят в осенний период. Обычно основное внесение удобрений осуществляют осенью после зяблевой вспашки. Для заделки удобрений проводят культивацию, распределяя удобрения по всему пахотному слою. Несмотря на весеннюю фрезерную культивацию почвы, равномерное распределение удобрений не обеспечивается. При последующей

посадке картофеля с одновременным формированием гребней часть удобрений распределяется в междурядьях и не используется растениями [36, 91, 113, 146, 158].

Для получения необходимой урожайности количество минеральных удобрений варьируется, так например для картофеля на темно-серых лесных почвах гумус должен составлять 3,0 - 4,0%, азотные удобрения в действующем веществе 90 кг/га, фосфорные удобрения в действующем веществе 80 кг/га, калийные удобрения в действующем веществе 90 кг/га. Нормы внесения удобрений могут корректироваться в зависимости от гранулометрического состава почвы, для тяжелых суглинистых почв поправочный коэффициент для азотных удобрений составляет 0,9, для фосфорных удобрений – 1,1, для калийных удобрений – 0,8. При изменении кислотности почвы рН 5,1 поправочный коэффициент для азотных удобрений составляет 1,2, для фосфорных удобрений – 1,2, для калийных удобрений – 1,2. Кроме этого необходимо учитывать поправки на вынос элементов питания на урожайность картофеля: N – 6 кг/т, P₂O₅ – 3 кг/т, K₂O – 10 кг/т. Также учитываются коэффициент использования питательных веществ N – 60-70%, P₂O₅ – 30-40%, K₂O – 70-80%. Для урожайности получения урожайности картофеля 30-40 т необходимо азотных удобрений в действующем веществе – 150 кг/га, фосфорные удобрения в действующем веществе 130 кг/га, калийные удобрения в действующем веществе 240 кг/га. Для обеспечения комплексного воздействия удобрений необходимо внесение компонентов кальция и магния [9, 10, 14, 17, 18, 19, 62, 63, 92, 127, 133, 136, 139, 154]. Кальций вносят в виде известняковой муки для раскисления почв. Поэтому для обеспечения потребности магния под картофель вносят сульфат магния в действующем веществе до 50-60 кг/га.

Усвоение питательных веществ неравномерно в процессе развития растений, наибольшая потребность наблюдается в фазу цветения. Фосфорные и калийные удобрения, имеющие длительный период перехода в более доступные формы, в виде основных доз вносят в осень, а азотные

предпочтительно вносить при посадке и междурядной обработке. Увеличенные дозы фосфорных и калийных удобрений способствуют ускорению клубнеобразования и скорейшему созреванию клубней, что уменьшает повреждения. Кроме того, это повышает устойчивость картофеля к болезням и почвенным вредителям, что обеспечивает лучшую сохранность клубней при хранении [11, 35, 55, 95, 116, 126].

Для обоснованного внесения удобрений необходимо проводить агрохимическое картографирование, исследование агрофизических и других свойств почв. Важное значение для сохранения и повышения продуктивности пашни применение севооборотов, в том числе с сидеральными и бобовыми культурами. Агрономическая однородность участка определяется агрохимическими картограммами, почвенными картами, а также книгами истории полей и опросом агрономов на предмет агротехники, предшественников, засоренности, способами внесения и видами удобрений. Также учитывается выраженность микрорельефа почвы и глубина залегания грунтовых вод [39, 49, 50, 60, 100, 120, 129].

При проведении полевых опытов, оценка неоднородности агрохимических показателей обязательна. Неоднородность агрохимических показателей и урожайности определяется рядом показателей с учетом среднего, минимального и максимального показания, а также учитывается коэффициент вариации и стандартное отклонение [44, 128].

Неравномерность внесения удобрений, история плодородия формирует изменчивость агрохимических показателей в пределах одного поля. Изменчивость агрохимических показателей характеризуется не только количественными характеристиками, но и качественными, например, обеспеченностью водой, питательными элементами, солнечной активностью и другими показателями. В настоящий момент не существует комплексного критерия для оценки вариабельности критерия агрохимических показателей. Некоторые исследователи в качестве критерия однородности участка предлагают уровень вариабельности не более 25% [15].

Исследование варьирования неоднородности плодородия почвы проводится на основании полевых опытов основанных на отборе почвенных образцов следующими методами:

1. Метод отбора по регулярной сетке.
2. Метод отбора индивидуальных образцов из прикопок.
3. Метод отбора траншейным способом.

Анализ методов отбора почвенных образцов показал, что наиболее информативным является метод по регулярной сетке, хотя и является наиболее трудоемким и затратным. Методы отбора индивидуальных образцов из прикопок и отбора образцов траншейным способом служат для уточнения полученных данных [15, 128].

Для обоснованного внесения удобрений необходимо проводить агрохимическое картографирование, исследование агрофизических и других свойств почв. Неоднородность агрохимических показателей и урожайности определяется рядом показателей с учетом среднего, минимального и максимального показания, а также учитывается коэффициент вариации и стандартное отклонение.

Стабильность и высокая урожайность с обеспечением качества возможна на основе системного подхода к выполнению операции технологий возделывания культур с применением элементов цифровизации. Особое значение для получения ожидаемого эффекта возделывания сельскохозяйственной культуры имеет внесение удобрений. Учет почвенно-климатических условий, агротехнических приемов, биологии растений с применением научно обоснованной системы внесения удобрений способствует получению высоких урожаев на стабильной основе. Внесение различного количества удобрений на разных участках поля с учетом различных факторов рельефа, плодородия позволяет уйти от сплошного внесения удобрений, это и есть дифференцированный способ внесения удобрений в почву. За счет правильного распределения удобрений получаем прирост урожайности с сокращением затрат на удобрения [97, 112].

Получение стабильных запланированных урожаев сельскохозяйственных культур возможно при координатном внесении удобрений в соответствии с картами распределения агрохимических, почвенных, агрометеорологических факторов и агротехнических особенностей участка. Координатное внесение удобрений позволяет не только сохранять плодородие почв, но и снижать негативное влияние на окружающую среду. Технология координатного внесения обеспечивает рациональное распределение удобрений с учетом пространственной неоднородности развития растений и почвенного плодородия [16, 78].

В системе цифрового земледелия координатное внесение удобрений занимает одно из ведущих мест. Использование интеллектуальных сетей и инструментов управления накапливает информацию, поступающую от разных источников: агрохимического анализа почв, урожайности культур за последние пять лет, спутниковый мониторинг полей, карты внесения удобрений и другие параметры. Это в совокупности анализируется и дает рекомендации по выполнению операций внесения удобрений, норм посадки клубней картофеля, мероприятий по уходу за растениями. При этом цифровое земледелие требует развития сельскохозяйственной техники с учетом применения систем управления рабочими органами в зависимости от пространственного положения агрегата. В тоже время современные машины должны быть снабжены рабочими органами для выполнения специфических агротехнических операций, например, для координатного внесения различных видов удобрений в гребень при выращивании картофеля [16, 21, 97, 110].

В существующих севооборотах следует отслеживать урожайность предшественников на полях с учетом выноса питательных веществ для правильного картографирования и накопления соответствующей информации за длительный период. Природные и биологические факторы в сельском хозяйстве оказывают значительное влияние на технологию производства продукции. Важно выявлять агротехнические особенности технологии производства картофеля на определенных участках [20, 37, 45, 109, 155].

Подобный подход применяется при дифференцированном внесении удобрений, когда на основе записей бортовых компьютеров комбайнов создаются карты урожайности культур. Совмещая с агрохимическим обследованием, топографией участков, исследований электропроводности и уплотнения почв и других показателей создаются электронные карты полей для последующей загрузки в компьютер технического средства при дифференцированном внесении удобрений [65, 105, 147, 151].

Цифровизация технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур снижает производственные затраты, создавая оптимальные условия для развития растений. Использование машинно-тракторных агрегатов, оборудованных координатными технологиями, способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур при сокращении затрат [6, 68, 69, 151].

Для внедрения цифровых технологий в сельскохозяйственное производство нужны дополнительные денежные средства, поэтому эти технологий еще не применяются повсеместно, хотя многие российские агрономы уже понимают, что за этими технологиями будущее. Для реализации цифровых технологий внесения удобрений координатным способом необходимо составление электронных карт полей. Основой создания карт полей служит специальное оборудование для съемки полей и позиционирования сельскохозяйственной техники. Геокоординатная информация дает возможность накапливать массивы данных и использовать их для рационального землепользования [68, 69].

Важно выявлять агротехнические особенности технологии производства картофеля на определенных участках. Подобный подход применяется при координатном внесении удобрений, когда на основе записей бортовых компьютеров комбайнов создаются карты урожайности культур. Совмещая с агрохимическим обследованием, топографией участков, исследований электропроводности, уплотнения почв и других показателей

создаются электронные карты полей для последующей загрузки в компьютер технического средства для координатного внесения удобрений [68, 114, 151].

На специально выбранных участках разрабатывают планы обхода и забора проб используя системы позиционирования и соответствующего программного обеспечения. Обычно участки имеют площадь от 1 до 5 га, отбирают до 15-20 проб. Отобранный материал объединяют в общую пробу, при этом размер отдельных проб обеспечивает необходимую достоверность и точность результатов мониторинга. Для механизации частичной автоматизации отбора проб и своевременного мониторинга полей применяются пробоотборники, смонтированные на различных самоходных средствах. Благодаря этому ускоряется процесс отбора проб и составления реальных заданий для внесения удобрений. Для отбора проб применяются гидравлические набивные цилиндры, электрогидравлические цилиндры и электрические спиральные буры и цилиндры с картушами [15, 98, 99].

1.2 Технические средства для локального внесения удобрений

Локальное внесение удобрений позволяет более полно использовать питательные вещества за счет их внесения в зону расположения корневой системы растения. Для локального внесения минеральных удобрений применяются различные почвообрабатывающие орудия российского и зарубежного производства [6, 22, 23, 24, 25, 32, 40, 41, 47, 58, 61, 73, 74, 79, 89, 94]. В связи с чем при возделывании пропашных культур в настоящее время активно используются различные культиваторы подкормщики объединяющие в себе ряд таких операций, как: обработку междурядий с одновременным подрезанием сорняков и подкормку растений. Внесение минеральных удобрений в подобных машинах производится при помощи подкормочных ножей, соединённых с тукопроводами.

Культиватор окучник навесной КОН-2,8 (рисунок 1.1) применяется для междурядной обработки картофеля с внесением минеральных удобрений [57].



Рисунок 1.1 – Общий вид культиватора окучника навесного КОН-2,8

Культиватор КОН-2,8 предназначен подкормки, окучивания и нарезки гребней на междурядьях 70-75 см. КОН-2,8 агрегируется с универсально пропашными тракторами тягового класса - 1,4. Культиватор КОН-2,8 обеспечивает стабильную работу на скоростях до 10 км/ч. Культиватор КОН-2,8 имеет раму балочного типа, на которой закреплены на параллелограммных механизмах секции окучников, бункеры для минеральных удобрений с шнековым дозатором, привод которых осуществляется от опорного колеса через редуктор с зубчатыми колесами. Внесение удобрений при нарезке гребней производится ножами подкормщиками соединенными с дозатором бункера с помощью тукопровода.

Недостатками культиватора КОН-2,8 является отсутствие объемного распределения минеральных удобрения, небольшая емкость бункера и низкая точность дозирования удобрений. Что существенно ограничивает область применения культиватора.

На российском рынке сейчас присутствуют большое количество компаний по производящие различные распределители минеральных

удобрений. Одной из таких компаний является немецкая Amazone с 1995 года производящая в России в городе Самаре свои машины. Локальное внесение минеральных удобрений с заделкой растительных остатков и разрушением плужной подошвы и внесение в почву удобрений на заданную глубину от компании Amazone. (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Общий вид культиватора-глубококорыхлителя Senius TX с бункером XTender

Внутрипочвенная заделка минеральных удобрений обеспечивает их равномерное распределение внутри пахотного слоя, таким образом питательные вещества находятся в условиях достаточной влажности почвы, что способствует переходу в доступные формы. Культиватор-глубококорыхлитель Senius TX с бункером XTender позволяет вносить минеральные удобрения на разные горизонты почвы [66, 67]. Цифровизация процессов внесения минеральных удобрений, работа по электронным картам, оперативный контроль выполнения процессов является залогом качества внесения.



Рисунок 1.3 – Общий вид рабочего органа культиватора Cenius TX

Недостатком культиватора-глубокорыхлителя Cenius TX с бункером XTender является отсутствие режима локального внесения минеральных удобрений. Также у культиватора Cenius TX лапы расположены на расстоянии 0,5 м, поэтому он используется при сплошной обработке почвы с внесением удобрений на без гребневых технологий, и не подходит для подкормок картофеля.

Культиватор подкормщик Mascio Gaspardo HL 4 70 предназначен подкормки и рыхления почвы и уничтожения сорняков в междурядьях шириной 70-75 см (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4– Общий вид культиватора подкормщика Mascio Gaspardo HL 4 70

Культиватор подкормщик Mascio Gaspardo HL 4 70 агрегируется с универсально пропашными тракторами тягового класса – 2,0. Культиватор подкормщик Mascio Gaspardo HL 4 70 обеспечивает стабильную работу на скоростях до 12 км/ч. Культиватор подкормщик Mascio Gaspardo HL 4 70 имеет раму балочного типа, на параллелограммных механизмах закреплены секции S-образные стойки с культиваторными лапы, бункеры для минеральных удобрений с катушечным дозатором, привод которых осуществляется от электропривода через редуктор с зубчатыми колесами. Внесение удобрений производится тукопроводом разбросным способом с последующей заделкой в почву культиваторными лапами [29, 107].

Недостатками культиватора подкормщика Mascio Gaspardo HL 4 70 является отсутствие объемного распределения минеральных удобрения, небольшая емкость бункера 2х160литров. При этом минеральные удобрения расположены в верхнем слое почвы, что затрудняет их усвояемость при низкой влажности.

Чизельный культиватор фирмы Farnet Fertis 4,5 (рисунок 1.5) предназначен для основной обработки почвы на глубину от 10 до 35 см на основе технологии STRIP TILL с внесением минеральных удобрений в два слоя почвы.



Рисунок 1.5 – Общий вид чизельного культиватора Fertis 4,5 с бункером для внесения удобрений

Чизельный культиватор фирмы Farnet Fertis 4,5 предназначен для глубокой культиваций с внесением удобрений на всю глубину обработки. Чизельный культиватор Fertis 4,5 имеет раму балочного типа, на которой закреплены два ряда стоек, бункер для удобрений на 3000 литров. Чизельный культиватор фирмы Farnet Fertis 4,5 агрегируется с тракторами тягового 3,0-5,0 класса и обеспечивает стабильную работу на скоростях от 8 до 12 км/ч. Распределение удобрений происходит с помощью вентилятора по воздуховодам, которые по 2 штуки подведены к каждой стойке. Первый ряд стоек с чизельными лапами расположен со смещением относительно второго ряда и поэтому в результате обработки культиватором получается гребнистая поверхность [2, 38, 117, 119, 124].

Недостатками чизельного культиватора Fertis 4,5 является отсутствие локального распределения минеральных удобрения, глубина заделки удобрений до 35 см. При этом минеральные удобрения расположенные в нижних слоях почвы не будут использованы растениями картофеля из-за недостаточно развитой корневой системы. Чизельный культиватор фирмы Farnet Fertis 4,5 применяется при сплошной обработке почвы с внесением удобрений, что не подходит для подкормок картофеля в гребнях.

Культиватор STRIP MASTER EN предназначен для обработки почвы и внесения минеральных удобрений на полосах с междурядьями 75 см (70 см). Сочетание дисковых рабочих органов, чизельных лап и катков обеспечивает рыхление полос почвы с одновременным локальным внесением минеральных удобрений. Стабильная глубина рабочих органов и внесения минеральных удобрений определяется положением опорных колес и прикатывающих катков (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Общий вид культиватора STRIP MASTER EN с бункером FERTI-BOX FB_F DUAL для внесения удобрений

Бункер FERTI-BOX FB_F DUAL на передней навеске трактора, передача минеральных удобрений осуществляется с помощью вентилятора по воздуховодам до распределительного устройства культиватора STRIP MASTER EN [38, 56, 119].

Недостатком системы распределения минеральных удобрений являются большие энергозатраты. Культиватор STRIP MASTER EN применяется при полосовой обработке почвы с внесением удобрений, и не обеспечивает формирования гребневой поверхности для возделывания картофеля.

В настоящее время в большинстве случаев основное внесение твердых минеральных удобрений и проведение подкормок производится при помощи разбрасывателей центробежного типа. При этом регулировка дозы внесения удобрений осуществляется, как правило, при помощи изменения проходного сечения выгрузного отверстия за счёт движения шиберной заслонки. Стоит отметить, что данную технологию внесения более актуально использовать при возделывании культур сплошного сева.

Компанией «Amazone» предлагается система Argus Twin устанавливающая на ряде моделей распределителей минеральных удобрений, данная система позволяет контролировать поперечное распределение удобрений обеими дисками. Компании RAUH и KUHN оснащают свои

распределители удобрений блоками управления «QUANTRON A/E-2», которые регулируют положение заслонок в зависимости от скорости движения трактора. Также они позволяют изменять дозу внесения удобрений, отключать секции с любой из сторон, закрывать любую из двух заслонок в процессе внесения удобрений. Компании «Sulky» и «Rabe» на своих распределителях удобрений внедрили систему STOP & GO, работающую совместно с навигационной системой. Предлагаемая производителями система обеспечивает автоматическое закрытие или открытие дозирующих заслонок при разворотах, перемещения по технологической колее, тем самым передозировку или недостаточное внесение удобрений [29, 51, 119, 125].

При этом в настоящее время разработаны и продолжают разрабатываться различные конструкции туковысевающих аппаратов. Которые можно условно разделить на следующие группы: катушечные; тарельчатые; ленточные; барабанные и спирально-винтовые. Рассмотрим более подробно каждый из представленных типов.

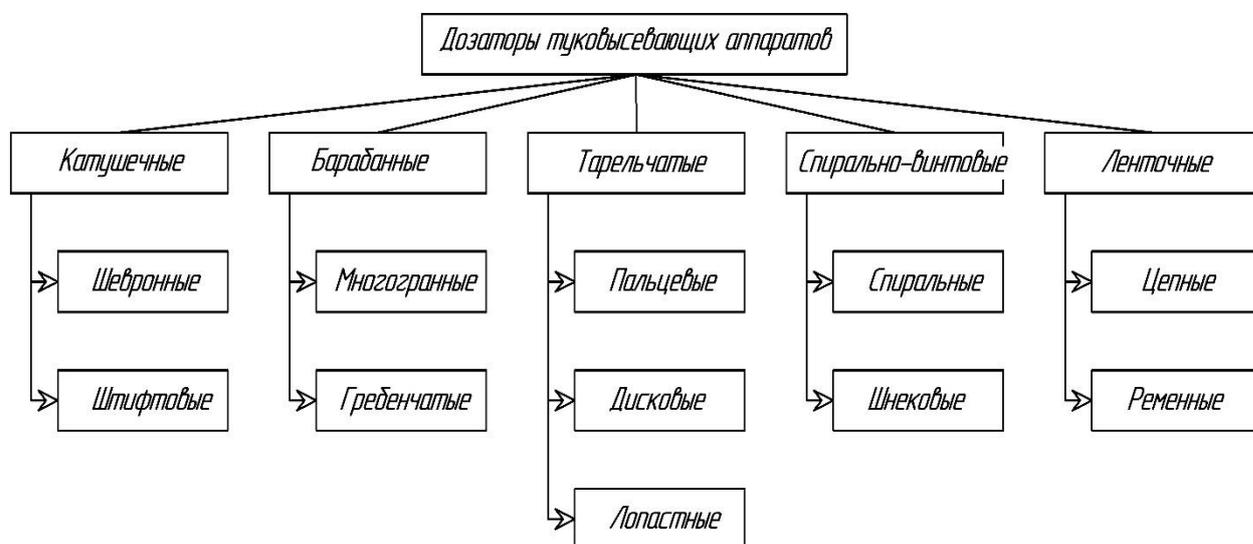


Рисунок 1.7 – Классификация дозирующих устройств

Большое распространение имеют катушечные туковысевающие аппараты, оборудованные катушечно-штифтовыми дозаторами. Принцип работы подобных аппаратов заключается в следующем: гранулы минеральных удобрений забираются из бункера при помощи вращающейся катушке, для

этого на ней имеются штифты, расположенные в два ряда со смещением один относительно другого, при этом регулировка дозы внесения осуществляется за счёт изменения скорости вращения катушки и проходного сечения питающего окна при помощи задвижки [3, 115, 119].



Рисунок 1.8 – Общий вид секции катушечного туковысевающего аппарата

К недостаткам подобных аппаратов можно отнести такие моменты, как невысокая точность регулировки дозы внесения твёрдых минеральных удобрений, так как из-за особенностей конструкции дозатора его захватывающая способность зависит от величины штифтов и шага между ними. Данный фактор сказывается на качестве дозирования минеральных удобрений, кроме того, важно уделять особое внимание их гранулометрическому составу, так как наличие крупных скомкивавшихся удобрений способно привести к заклиниванию аппарата. При этом конструкцией данных туковысевающих аппаратов предусмотрена возможность смены катушечно-штифтовых дозаторов для изменения дозы внесения, однако данную возможность можно отнести не столько к достоинствам, сколько к недостаткам данной конструкции, так как данная операция значительно увеличивает время на подготовку машины.

Меньшее распространение получили тарельчатые и ленточные дозирующие устройства. Тарельчатые дозирующие устройства представляют собой бункера с установленными на них вместо дна вращающиеся тарелки с коническим венцом, над которыми установлены сбрасыватели. При вращении тарелок гранулы минеральных удобрений при помощи сбрасывателей выносятся через край тарелки в один или два рукава тукоделителя, после чего поступают в тукопроводы [42, 80, 83].

Основным недостатком данной систем дозирования будет являться низкая точность дозирования, а также высокая неравномерность внесения, так при одинаковых углах поворота через высевное окно на диски поступает неодинаковое количество удобрений. Стоит также отметить, что при установки малой высоты высевной щели наблюдается дробление гранул, а также засорение самого аппарата, приводя к неравномерности внесения удобрений.

Использование закрытого распределительного устройства способствовало упрощению технологической схемы машины за счет отказа от возвратных шнеков. Однако, помимо преимуществ, существуют серьезные недостатки. При работе с материалами низкой сыпучести наблюдается скопление материала в периферийной части распределительного устройства, что может вызвать его закупорку или поломку.

Сеялка с закрытым распределительным устройством работает таким образом, что из бункера подается больше удобрений, чем необходимо для высева. Как следствие, кожух шнека со временем заполняется полностью. В таких случаях система управления отключает привод шнека и дополнительные удобрения перестают поступать в кожух. Как только количество материала в кожухе шнека уменьшится, привод шнека включится снова и цикл повторится. В свою очередь сеялки со шнековым механизмом и закрытыми распределительными устройствами имеют дополнительный функционал в виде наклонных шнеков. Которые способны перенаправлять

избыток удобрений обратно в бункер, обеспечивая дополнительную эффективность использования минеральных удобрений [42, 81, 82, 121, 122].

Использование в системах дозирования шнековых рабочих органов вызвано тем, что шнеки имеют простую конструкцию, легкость обслуживания, надежность в технологическом процессе и множество других преимуществ. Широкое распространение данные рабочие органы получили в штанговых сеялках, многие компании, такие как Amasonen-Werke, Diadem, Lister и другие, используют их в конструкциях своих машин. Сеялки со шнековыми дозирующими устройствами могут быть выполнены в трех вариантах распределительных устройств - с открытым, закрытым и кольцевым типами [42, 46, 121,122].

Таким образом, предварительное внесение минеральных удобрений в гребни требует создания универсального культиватора-подкормщика с большой емкостью бункера, с дозирующим устройством точного высева, оборудованного окучником с рассеивателем, равномерно распределяющим удобрения в гребне.

1.3 Анализ выполненных исследований

Дозирующие устройства шнекового типа обладают рядом преимуществ: равномерность подачи, возможность плавной регулировки в широком диапазоне нормы внесения минеральных удобрений. Исследованием процессов шнековых дозирующих устройств занимались Харин В.К., Янчина С.К., Забродин В.П., Аминов Р.И. [7, 59, 128, 130, 135, 137]. Ими были разработаны основы для описания процесса движения сыпучих материалов, обоснованы параметры шнековых рабочих органов.

Производительность шнека Омельченко А.А. и Куцын Л.М. предлагают определять [75] Q по формуле:

$$Q = k' \cdot V_{oc} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (1.1)$$

где Q – производительность шнека, м³/с;

$\Delta V / \Delta l$ – удельный объем материала на единицу длины, м³/м

k' - коэффициент, уменьшения осевой скорости;

V_{oc} – скорость осевого движения материала, м/с.

Объемная производительность для шнека некоторые исследователи предлагают определять следующим образом [116]

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot k' \cdot D_{ш}^2 \cdot V_{oc} \cdot \psi \quad (1.2)$$

Полученные зависимости для перемещения материала с постоянным коэффициентом заполнения, не могут полностью описать технологический процесс распределительных систем и требуют уточнений. Шнековые высевающие аппараты должны равномерно транспортировать и высевать материал по всей их длине. Однако, процесс разгрузки через щель или отверстия может оказывать влияние на равномерность распределения удобрений.

Благодаря высокой скорости внедрения микропроцессорных систем, а также их повышенной надежности и компактности, области их применения значительно расширились. Во многих странах мира активно разрабатывают системы управления для многих этапов процесса внесения удобрений [4, 50, 69, 87, 88, 104, 105, 106, 114, 147, 151, 152, 154], однако это не покрывает всего технологического процесса.

Существует много исследований, посвященных созданию систем управления процессом дозирования минеральных удобрений, нормы их высева и учетом обработанной площади. Эти работы проводились и продолжают активно развиваться в различных странах мира, в частности России, Польше, Германии, США и многих других. Фирма "Amazonen-Werke" является флагманом в данном направлении и имеет наибольшее количество исследований. В своих разработках они используют микропроцессорные системы для выполнения ряда технических решений [6, 31, 33, 58, 68, 118, 143]. Предлагаемые технические решения [6, 118] позволяют автоматически управлять дозатором в зависимости от соотношения скорости движения машины и подачи, при этом данный параметр задаётся механизатором на

пульте управления, и в последующем оно будет поддерживаться автоматически.

Ortlife (США) предложил систему [84] для внесения удобрений, которая включает самоходную машину, оснащенную бортовой ЭВМ, локатором и радаром. Бортовая ЭВМ использует почвенную карту поля и данные навигационной системы, чтобы определить вид удобрений и норму внесения, а также контролировать рабочие органы. Однако, трудно определить требуемое количество питательных элементов, так как их соотношение может быть различным на разных участках поля, и система не контролирует процесс распределения частиц удобрений. Что в свою очередь может привести к неравномерному распределению удобрений на отдельных участках поля.

Из анализа известных технических решений [4, 6, 27, 31, 33, 43, 54, 68, 69, 84, 105, 106, 114, 143, 147, 150, 151, 154] становится ясно, что большинство из них сконцентрировано на контроле и управлении только некоторыми фазами технологического процесса, не затрагивая основные этапы внесения минеральных удобрений и их смесей. Это связано с ограниченным количеством исследований, посвященных автоматизированию технологического процесса внесения минеральных удобрений и их смесей.

Вопросами локального внесения удобрений в почву и перемещения почвы сошниками посвящены работы: К.П. Андреев, С.А. Белых, В.Е. Булаев, Ю.И. Вахромеев, А.И. Иванова, Д.С. Калугин, В.А. Рычкова, В.А. Макарова, Н.Г. Тальвинская, В.К. Трапезникова, Б.Г. Хвощёва, Е.П. Шеховцова, П.Н. Шияна, П.А. Юнкина, В.В. Якушева, Z.Asaf, С.J. Baker, А.N. Cambouris, P.R. Hobbs, S.E. Justice, M. Obermaуr, D.C. Reicosky, W.R. Ritchie, M. A. Sadek, К.Е. Saxton, R.R. Simard, I. Shmulevich, H. Zhao [4, 12, 13, 43, 59, 68, 97, 138, 144, 145, 149, 153, 154, 157, 159].

Они состоят из долотообразной лапы и прикрепленной к ней воронки. Удобрение поступает в воронку через трубу и затем идет в борозду, которую образует долотообразная лапа. Разбрасывание удобрений происходит прямо

из трубы, концевая часть которой находится над поверхностью почвы [1, 12, 13, 26, 29, 43, 111, 122].

Вопросами снижения тягового сопротивления рабочих органов за счет совершенствования их конструкции посвящены работы Гапича Д.С. [27, 28, 70, 76, 77, 85, 86, 90, 93, 96, 156]. В ходе исследований установлено, что почвы с высоким содержанием глины имеют большие возможности для генерации виброускорений активных рабочих органов, кроме того значения амплитуды и частоты возмущающей силы, оказывают существенное влияние на сопротивление движению рабочего органа в почве.

Мударисов С.Г. в вопросах изучения взаимодействия рабочих органов с почвой использовал реологическую модель ньютоновской вязкой жидкости в качестве модели почвы [56, 64, 71, 72, 141, 142]. В ходе исследований было установлено, что изменение значений давлений, сил и моментов, действующих на рабочие органы почвообрабатывающих машин, зависит от вязкости моделируемой среды. С использованием компьютерной программы FlowVision Мударисовым С.Г. разработаны методики энергетической оценки рабочих органов почвообрабатывающих машин, установлены соответствия свойств реальной почвы и вязкой жидкости компьютерной модели [48, 148].

Физические свойства моделируемых сред играют значительную роль при определении соответствия энергоемкости процесса реальному процессу обработки почвы, моделируемому МДЭ и CFD методами. В данной работе произведена попытка использования дискретных элементов и вычислительной гидродинамики для создания моделей процесса взаимодействия рабочих органов культиватора для полосовой обработки почвы. Параметры модели основаны на этих моделях, а результаты моделирования, полученные МДЭ и CFD методами, сравниваются между собой и с реальными значениями натуральных экспериментов.

Таким образом, необходимо разрабатывать теоретическую основу рабочих органов для локального высокоточного внесения минеральных

удобрений. Также необходимо совершенствование сошников для равномерного распределения удобрения в гребне.

1.4 Цель и задачи исследований

Картофель характеризуется высокой урожайностью и плохо развитой корневой системой, поэтому для обеспечения его потенциала необходимо наличие в гребне значительного запаса питательных веществ. Причем фосфорные и калийные удобрения предпочтительно вносить осенью при нарезке гребней, а азотные и хорошо растворимые комплексные удобрения в период посадки и ухода за растениями. Существующие культиваторы подкормщики не удовлетворяют требованиям как внесения основной нормы удобрений, так и дифференцированного внесения удобрений в гребни. Также не проработаны вопросы совместного внесения твердых минеральных удобрений и биопрепаратов, способствующих преобразованию их в более доступные формы. Необходимо совершенствование сошников для равномерного послойного распределения удобрения в гребне. Таким образом, необходимо разрабатывать машины и рабочие органы для дифференцированного локального высокоточного внесения минеральных удобрений.

Целью исследования – обоснование параметров дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика для внесения минеральных удобрений в гребни.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих технологических процессов локального внесения минеральных удобрений;
- теоретически обосновать параметры культиватора-подкормщика;
- провести лабораторно-полевые исследования культиватора-подкормщика;
- провести производственную проверку культиватора-подкормщика в производственных условиях и выполнить экономическую оценку ее внедрения.

Выводы по 1 главе

Анализ исследований показал, что обеспечение потенциала картофеля возможно при наличии в гребне значительного запаса питательных веществ. Существующие культиваторы-подкормщики не удовлетворяют требованиям как внесения основной нормы удобрений, так и дифференцированного внесения удобрений в гребни. Таким образом, необходимо разрабатывать машины и рабочие органы для локально высокоточного внесения минеральных удобрений. Также необходимо совершенствование сошников для равномерного послойного распределения удобрения в гребне.

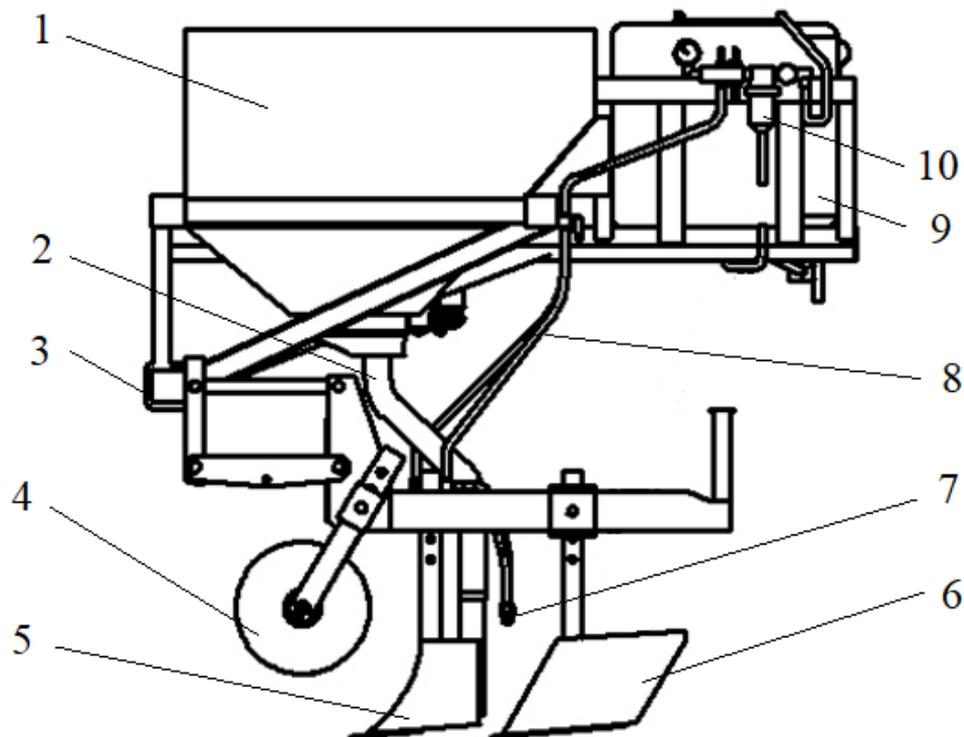
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВАТОРА-ПОДКОРМЩИКА

2.1 Конструктивно-технологическая схема культиватора-подкормщика для локального внесения минеральных удобрений

Культиватор-подкормщик состоит из рамы 3, на которой установлен бункер для твердых минеральных удобрений 1 с дозирующими устройствами. Дозирующее устройство шнекового типа имеет регулируемое с помощью актуатора выгрузное окно. Корпус дозирующего устройства присоединен тукопроводом 2 к сошнику с рассеивателем. За сошником с рассеивателем закреплена форсунка 7. Рама культиватора-подкормщика установлена на опорных колесах 4. Окучник 6 закреплен на раме со смещением относительно сошника с рассеивателем. В задней части культиватора-подкормщика установлен бак для жидких препаратов 9, соединен шлангопроводами 8 с насосом-дозатором 10.

Культиватор-подкормщик работает следующим образом. Перед началом работы осуществляют загрузку культиватора-подкормщика твердыми минеральными удобрениями и заправку жидкими препаратами. Настройку глубины хода сошника с рассеивателем и окучника проводят с помощью опорных колес. Регулируют предварительную подачу твердых минеральных удобрений дозирующим устройством шнекового типа, окончательная норма внесения определяется на основе электронных карт заданий с помощью актуатора изменяющего открытие выгрузного окна. Подача жидких препаратов определяется давлением насоса-дозатора и проходным сечением форсунки. При движении по полю культиватора-подкормщика сошник с рассеивателем образует борозду, в которую равномерно распределяются дозированные твердые минеральные удобрения. Жидкие препараты наносятся на гранулы твердых минеральных удобрений. Затем окучники закрывают борозду с образованием гребня. Культиватор-подкормщик имеет возможность

внесения отдельно жидких препаратов и твердых минеральных удобрений, а также проводить подкормки и окучивание всходов картофеля.



1- бункер для твердых минеральных удобрений; 2- тукопровод; 3- рама; 4- опорное колесо; 5- сошник с рассеивателем; 6- окучник; 7- форсунка; 8- шлангопроводы; 9- бак для жидких препаратов; 10- насос-дозатор

Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологическая схема культиватора-подкормщика

2.2 Теоретические исследования дозирующих устройств для внесения минеральных удобрений

При этом при возделывании картофеля актуальным является локальное внесение удобрений под клубень, что способствует более равномерному образованию боковых столонов картофеля. В связи с этим производителями сельскохозяйственной техники выпускаются картофеле сажалки с системами внесения удобрений при посадке, также имеются различные модели

культиваторов-подкормщиков [26, 152]. Однако данные машины не оборудованы системами локального внесения минеральных удобрений [5, 143, 151, 154].

Таким образом актуальной задачей является разработка систем дифференцированного внесения удобрений при способных работать как при предпосевной подготовке почвы, так и при осуществлении подкормок в период междурядной обработки.

Основное внесение твердых минеральных удобрений и проведение подкормок производится при помощи разбрасывателей центробежного типа [31, 33, 37, 53, 79, 115]. Данный способ внесения наиболее подходит для культур сплошного сева. При возделывании пропашных культур в настоящее время активно используются различные культиваторы подкормщики, объединяющие в себе ряд таких операций, как: обработку междурядий сорняков и подкормку растений. Внесение минеральных удобрений в подобных машинах производится при помощи подкормочных ножей, соединённых с туковысевающими аппаратами через тукопроводы [52].

Существуют различные конструкции туковысевающих аппаратов. Которые можно условно разделить на следующие группы: катушечные; тарельчатые; ленточные; барабанные и спирально-винтовые [6, 32, 123]. Большое распространение имеют катушечные туковысевающие аппараты и схожие с ними барабанные. Подобные аппараты оборудованы катушечно-штифтовыми дозаторами или гребенчатыми барабанами. Рассмотрим принцип их работы на примере катушечно-штифтового дозатора: гранулы минеральных удобрений забираются из бункера при помощи вращающейся катушки, для этого на ней имеются штифты, расположенные в два ряда со смещением один относительно другого, при этом регулировка дозы внесения осуществляется за счёт изменения скорости вращения катушки и проходного сечения питающего окна при помощи задвижки [43].

К недостаткам подобных аппаратов можно отнести такие моменты, как невысокая точность регулировки дозы внесения твёрдых минеральных

удобрений, так как из-за особенностей конструкции дозатора его захватывающая способность зависит от величины штифтов и шага между ними. Данный фактор сказывается на качестве дозирования минеральных удобрений, кроме того, важно уделять особое внимание их гранулометрическому составу, так как наличие крупных скомкивавшихся удобрений способно привести к заклиниванию аппарата. При этом конструкцией данных туковысевающих аппаратов предусмотрена возможность смены катушечно-штифтовых дозаторов для изменения дозы внесения, однако данную возможность можно отнести не столько к достоинствам, сколько к недостаткам данной конструкции, так как данная операция значительно увеличивает время на подготовку машины.

В системах точного земледелия применяются вибрационные дозаторы. Конструкция подобных систем представляет собой шибер дозатор и ограничитель с установленной под ним вибрационной пластиной с электромагнитом. Работают подобные конструкции следующим образом: из бункера минеральные удобрения поступают через дозирующее окно, где в результате вибрационного перемещения пластины с заданной частотой удобрения поступают в делитель потока, из которого ссыпается в тукопроводы [4].

Конструкция данных, дозирующих системы имеет несомненные преимущества, связанные с высоким диапазоном регулировок и точностью дозирования минеральных удобрений. При этом стоит обратить внимание и на имеющиеся недостатки. Наличии крупных включений в минеральных удобрениях способно привести к забиванию дозирующего устройства, кроме того, в процессе дозирования подача удобрений происходит за счет гравитации и зависит от сыпучести конкретных удобрений.

Также наиболее распространёнными системами дозирования твердых минеральных удобрений являются системы, использующие спиральные и винтовые рабочие органы. Данные системы представляют собой туковысевающий механизм, установленный в нижней части бункера для

удобрений и состоящий, как правило, из шнеков с правой и левой навивкой, установленных на едином валу, вращение которого может осуществляться как от приводных колёс культиватора, так и от электропривода. При вращении вала удобрения при помощи шнека поступают к выгрузным окнам дозирующего устройства, через которые сыпаются в тукопроводы. Для снижения процессов сегрегации подобные конструкции оборудуются рассеивателями, для выравнивания потока минеральных удобрений [43, 58].

Предлагаемый дозатор твёрдых минеральных удобрений представлен на рисунках 2.2 и 2.3.

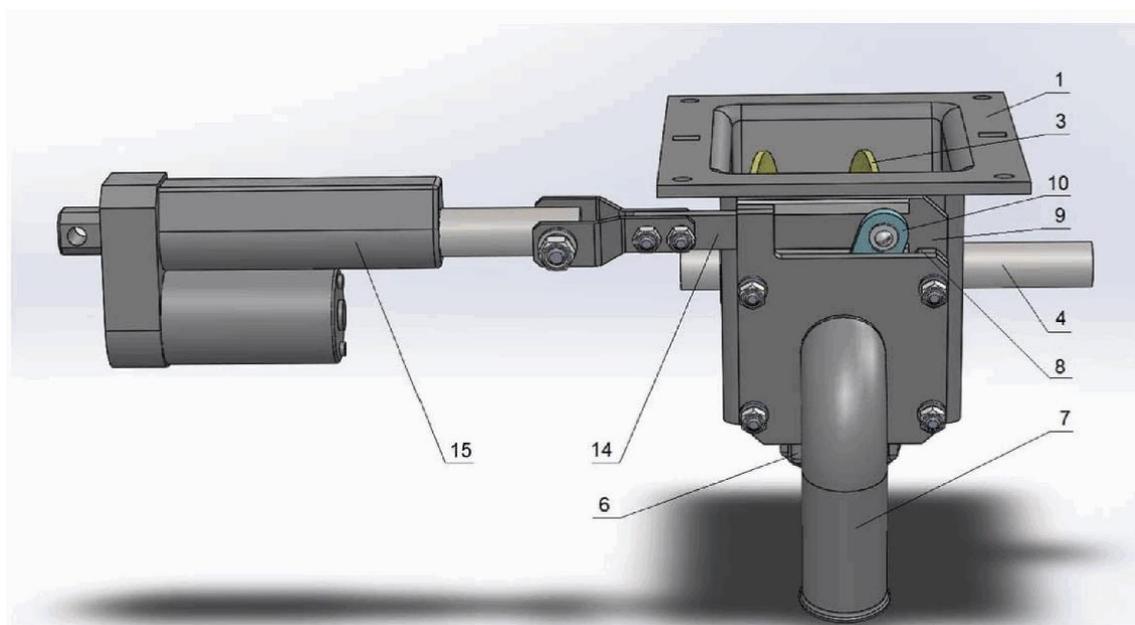


Рисунок 2.2 – Схема дозатора твёрдых минеральных удобрений

Дозатор твердых минеральных удобрений содержит корпус 1 с выгрузным отверстием 2, составной шнек 3 со встречно направленными витками, сходящимися напротив выгрузного отверстия, установленный на валу 4, который подключен к электроприводу (на фигуре не показан). Корпус 1 содержит разгрузочную горловину 5 с установленной на ней крышкой 6. Корпус 1 соединён с выгрузным патрубком 7 системой дозирования 8.

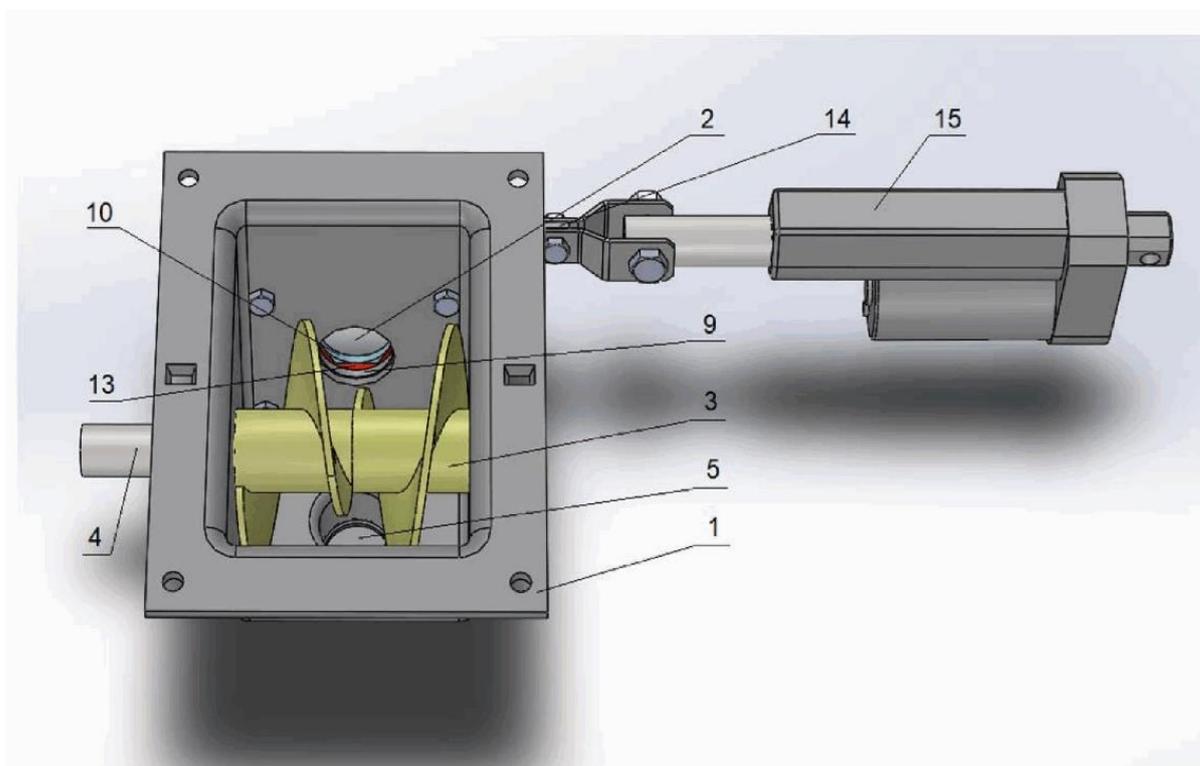


Рисунок 2.3 – Вид сверху дозатора твёрдых минеральных удобрений

Система дозирования 8 включает боковую стенку 9 корпуса 1 и водило 10, выполненные с направляющими пазами 11 и 12, соответственно, и заслонки 13, установленные с возможностью перемещения в пазах 11 и 12. Водило 10 соединено через тягу 14 с актуатором 15.

Работает предлагаемый дозатор твердых минеральных удобрений следующим образом.

С блока управления (на фигуре не показан) согласно карте заданий, подаётся сигнал на электропривод (на фигуре не показан) который устанавливает скорость вращения составного шнека 3, также подаётся сигнал на актуатор 15, который перемещает тягу 14, тем самым вращая водило 10, в результате чего смещаются заслонки 13 в пазах 12 и направляющих пазах 11. Смещающиеся заслонки 13 изменяют сечение выгрузного отверстия 2. В процессе вращения составного шнека 3 твердые минеральные удобрения проталкиваются через выгрузное отверстие 2 проходя через систему дозирования 8 поступают в выгрузной патрубок 7 из которого происходит их выгрузка.

Регулировка нормы внесения твердых минеральных удобрений может осуществляться как при помощи изменения частоты вращения составного шнека 3, так и при помощи системы дозирования 8, изменяющей проходное сечения выгрузного отверстия 2. Более точная регулировка нормы внесения будет достигаться за счёт одновременной работы системы дозирования 8 и составного шнека 3, так как вращающийся составной шнек создаёт направленный поток гранул минеральных удобрений, которые стремятся пройти через заданное сечение выгрузного отверстия 2.

Дозатор может быть использован в сельском хозяйстве для дозирования твёрдых минеральных удобрений и других сыпучих материалов на различных сельскохозяйственных машинах, например, в центробежных разбрасывателях твердых минеральных удобрений, в культиваторах подкормщиках, в туковысевающих аппаратах и т.д.

При возделывании сельскохозяйственных культур в последние годы особое внимание обращают не только на экономическую эффективность, но и на ту экологическую нагрузку, которая оказывается при их возделывании. Стоит отметить, что основными источниками экологического загрязнения окружающей среды в сельском хозяйстве являются пестициды и минеральные удобрения, при этом они же являются одними из основных пунктов затрат при возделывании сельскохозяйственных культур. В связи, с чем, сельскохозяйственная наука активно разрабатывает машинные технологии и технические средства, направленные на снижение данных факторов. В настоящее время стали активно применяться технологии дифференцированного внесения минеральных удобрений, основанные на данных об урожайности полей и отзывчивости культур [102, 118, 128].

Так как подача минеральных удобрений в данных дозирующих системах осуществляется принудительно за счёт вращения шнеков, то в них наблюдается достаточно неплохая равномерность внесения удобрений в сравнении с гравитационными системами дозирования. При этом доза внесения может регулироваться либо скоростью вращения вала при условии

отдельно установленного для него привода, либо при помощи изменения шага между витками шнеков.

В свою очередь данные конструкции обладают также рядом недостатков, в частности, в них сохраняются процессы связанные с расслоением смеси минеральных удобрений, также они обладают невысокой производительностью из-за наличия в них кожухов ограничивающих объём удобрений занимающих межвитковое пространство шнеков.

Проведённый анализ систем дозирования минеральных удобрений показал, что в настоящее время разработаны различные конструкции туковысевающих механизмов. При этом каждая из систем имеют свои достоинства и недостатки, связанные с особенностями конструкций. Однако стоит отметить, что развитие систем точного земледелия требует уделения большого внимания развитию систем качеству дозирования удобрений. В связи с чем необходимо осуществлять разработку новых конструкций туковысевающих устройств способных работать в системах точного земледелия и обладающих высокой степенью равномерности внесения удобрений и широким диапазоном регулировок доз.

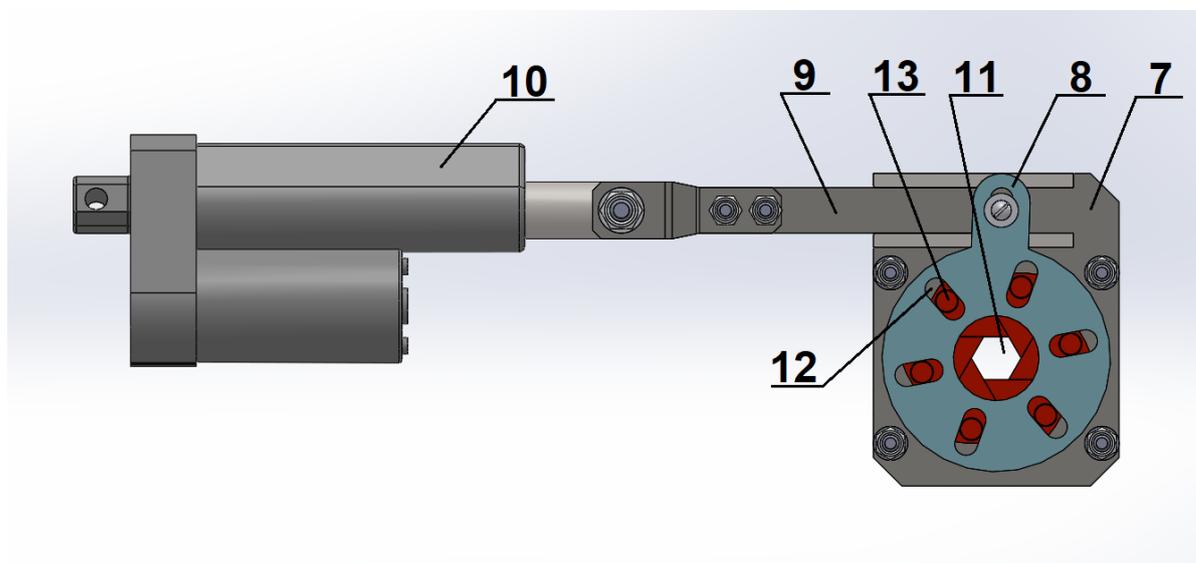
В процессе разработки дозирующего устройства учитывались особенности уже существующих конструкций, используемых как в распределителях минеральных удобрений, так и применяемые в культиваторах подкурщиках или в посадочных машинах. В ходе проектирования дозирующего устройства использовались технологии 3d моделирования.

С целью определения основных рабочих параметров и режимов работы были проведены теоретические расчёты подачи разработанного шнекового дозирующего устройства.

Для внесения твердых минеральных удобрений с высокой точностью их дозирования было разработано дозирующее.

Предлагаемое дозирующее устройство представляет собой корпус, имеющий выгрузное отверстие, внутри которого на валу установлен шнек со

встречно направленными витками. При этом корпус соединён с выгрузным патрубком через систему дозирования, которая в свою очередь через тягу соединена с актуатором.



7 – боковая стенка; 8 – водило; 9 – тяга; 10 – актуатор; 11 – выгрузное отверстие; 12 – пазы; 13 – заслонки

Рисунок 2.4 – Система дозирования вид со стороны выгрузного патрубка

Система дозирования включает в себя боковую стенку корпуса и водило, которые имеют в своей конструкции направляющие пазы, при этом в пазах установлены заслонки с возможностью их перемещения внутри них, в свою очередь водило через тягу соединено с актуатором.

При работе дозирующей системы с блока управления подаётся сигнал на электропривод, который в свою очередь устанавливает скорость вращения вала с установленным составным шнеком, кроме того, с блока управления подаётся сигнал на актуатор, который перемещает тягу. В результате изменения положения тяги происходит вращение водила по часовой или против часовой стрелки в следствии чего изменяется положение заслонок. Перемещение заслонок изменяет проходное сечение выгрузного отверстия. В процессе вращения составного шнека твердые минеральные удобрения проталкиваются через выгрузное отверстие, проходя через систему

дозирования, поступают в выгрузной патрубков, из которого происходит их выгрузка.

Стоит отметить, что конструкция предлагаемого дозирующего устройства предназначена для использования в центробежных распределителях твердых минеральных удобрений, в культиваторах подкормщиках, в туковысевающих аппаратах сеялок и т.д.

Предлагаемая конструкция дозирующей системы подразумевает регулировку нормы внесения твердых минеральных удобрений как за счёт изменения проходного сечения выгрузного отверстия при помощи системы дозирования, так и в результате изменения частоты вращения составного шнека.

В связи с чем, подача шнекового дозирующего устройства можно определить исходя из геометрических параметров

$$\Pi_{\Gamma} = 3600 \cdot F_{nom} \cdot \nu \cdot \rho, \quad (2.1)$$

где Π_{Γ} – подача удобрений шнековым дозирующим устройством, кг/ч;

F_{nom} – площадь поперечного сечения потока удобрений в дозирующем устройстве, м²;

ν – скорость потока удобрений, м/с;

ρ – объемная масса удобрений, кг/м³.

Площадь поперечного сечения потока удобрений в дозирующем устройстве будет определится вписанной окружности диаметром выгрузного окна

$$F_{nom} = \psi \cdot \pi \cdot \sqrt{3} \cdot D^2 / 2 \quad (2.2)$$

где D – диаметр вписанной окружности выгрузного окна, м;

ψ – коэффициент заполнения дозирующего устройства.

В свою очередь скорость потока удобрений будет зависит от частоты вращения и расстояния между витками шнека

$$v = \omega_{ш} \cdot S_{ш} = \frac{\pi \cdot n_{ш}}{30} \cdot S_{ш} \quad (2.3)$$

где $\omega_{ш}$ – угловая скорость шнека, рад/с;

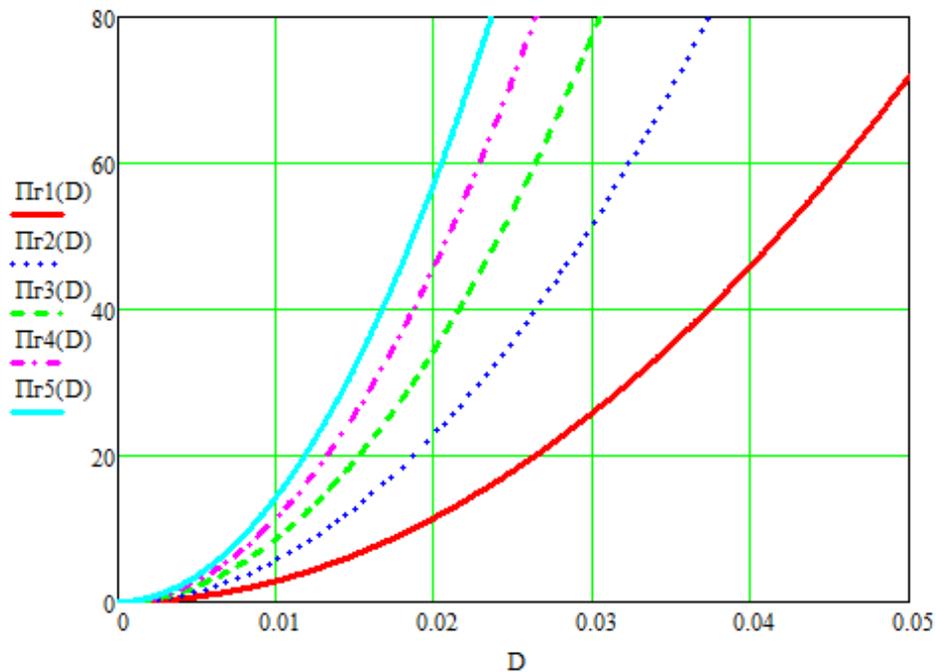
$S_{ш}$ – шаг витков шнека, м;

$n_{ш}$ – частота вращения шнека, об/мин.

Подставив значения параметров (2.2) и (2.3) в выражение (2.1), получим подачу шнекового дозирующего устройства

$$\text{Пг} = 60\sqrt{3}\rho \cdot \psi \cdot n_{ш} \cdot \pi^2 \cdot S_{ш} \cdot D^2. \quad (2.4)$$

Воспользовавшись выражением (2.4) в программе Mathcad были проведены исследование подачи шнекового дозирующего устройства.



1-20 об/мин; 2- 40 об/мин; 3- 60 об/мин; 4- 80 об/мин; 5- 100 об/мин

Рисунок 2.5 – Зависимость подачи дозирующего устройства от изменения частоты вращения шнека и проходного сечения выгрузного окна

Анализ графика показал, что подача шнекового дозирующего устройства определяется частотой вращения шнека и площадью, выгрузного отверстия. Стоит также отметить, взаимное влияние частоты вращения шнека и площади выгрузного окна, так с увеличением частота вращения шнека,

диаметр выгрузного отверстия оказывает более существенное влияние на подачу. Поэтому при выборе подачи дозирующего устройства следует изменять частоту вращения шнека и площадь выгрузного окна. Установлено, что рациональные режимы работы предложенного дозирующего устройства будут при изменении площади выгрузного окна в диапазонах от 100 мм² до 600 мм² и частоты вращения составного шнека от 40 до 70 об/мин.

В ходе исследований было разработано дозирующее устройство, предназначенное для работы в системах точного земледелия и которое может применяться на различной сельскохозяйственной технике, предназначенной для внесения твердых минеральных удобрений.

Проведенные теоретические исследования показывают, что разработанное дозирующее устройство обладает широким диапазоном регулировок, тем самым способно обеспечивать внесение минеральных удобрений в необходимых дозах с высокой степенью точности. При этом рациональные режимы работы предложенного дозирующего устройства будут при изменении площади выгрузного окна в диапазонах от 100 мм² до 600 мм² и частоты вращения составного шнека от 40 до 70 об/мин.

2.3 Теоретическое обоснование конструктивных параметров сошника для распределения удобрений по ширине рядка

Сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений состоит из закрепленных на вертикальной трубчатой стойке 1 тукопровода 2, прямого вертикального наральника 3 с приклепанной к нему культиваторной лапой 4 и рассеивателя 5, причем рассеиватель 5 выполнен в виде свободно вращающегося обода 6 с разнонаправленными зубьями 7.

Сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений работает предлагаемая полезная модель следующим образом. При заглаблении сошника происходит взаимодействие наральника 3 с приклепанной к нему культиваторной лапой 4 с почвой. В результате

раскрывается картофельная гряда и через тукопровод 2 подаются удобрения, которые взаимодействуют с зубьями 7 свободно вращающегося обода 6 рассеивателя 5 и распределяются в объеме картофельной гребня.

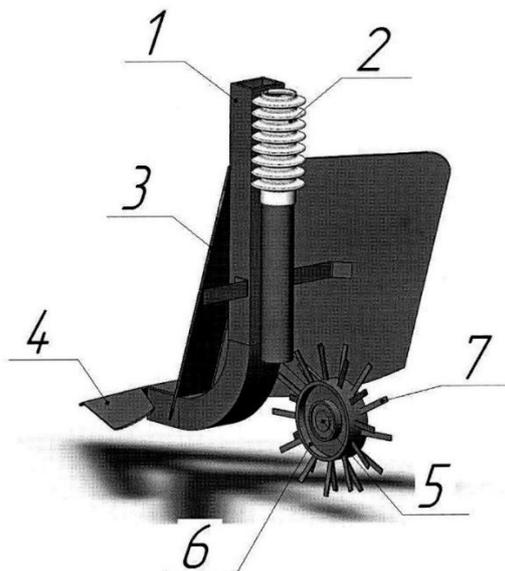


Рисунок 2.6 – Схема сошника для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений

Вращение рассеивателя 5 с зубьями 7 происходит за счет внедрение дна борозды, что способствует заглублению частиц минеральных удобрений в различные горизонты картофельной гряды. Сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений улучшает распределение удобрений в объеме картофельной гребня.

Расчетная схема к определению скорости разнонаправленных зубьев изображена на рисунке 2.7.

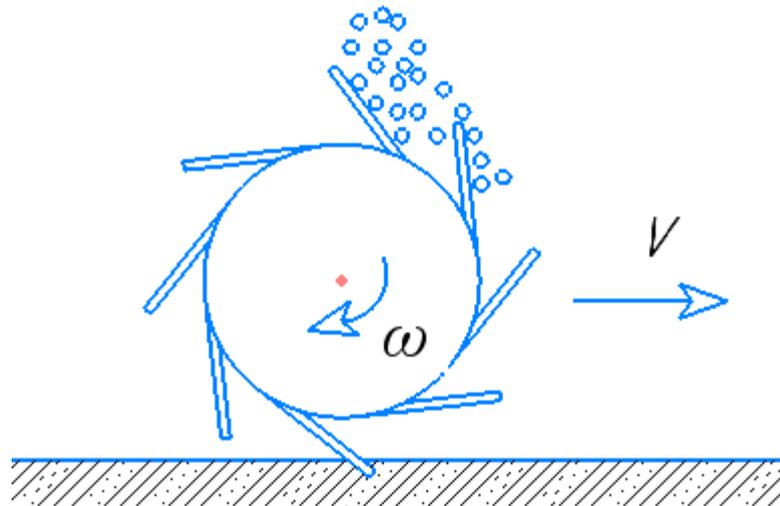


Рисунок 2.7 – Расчетная схема к определению скорости разнонаправленных зубьев

Скорость рассеивателя определяется скоростью движения агрегата с учетом заглубления разнонаправленных зубьев

$$V_{cp} = \frac{V}{r_{cp}} \times r_3 \quad (2.5)$$

где V_{cp} – скорость разнонаправленных зубьев, м/с;

V – рабочая скорость агрегата, м/с;

r_{cp} – средний радиус заглубленного рассеивателя с разнонаправленными зубьями, м;

r_3 – радиус разнонаправленных зубьев, м.

С другой стороны, скорость взаимодействия гранул минеральных удобрений с разнонаправленными зубьями определяется высотой падения гранул

$$V_{гр} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2.6)$$

где $V_{гр}$ – скорость гранул минеральных удобрений при падении в тукопроводе, м/с;

h – высота падения (длина тукопровода), м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Рассмотрим ударное взаимодействие гранул минеральных удобрений с разнонаправленными зубьями рассеивателя (рисунок 2.8)

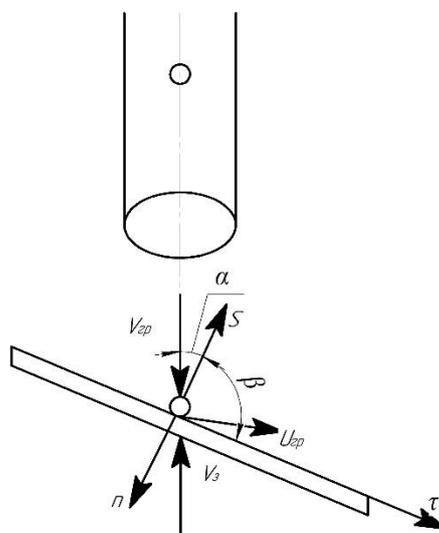


Рисунок 2.8 - Схема к определению ударного взаимодействия гранул с разнонаправленными зубьями

Скорость в начале удара складывается из скорости гранулы и скорости зуба рассеивателя

$$V_1 = V_{гп} + V_з \quad (2.7)$$

Определим проекции скорости на естественные оси координат n и τ .

$$\begin{cases} V_{1n} = V_1 \cdot \cos \alpha \\ V_{1\tau} = V_1 \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (2.8)$$

где V_{1n} – нормальная составляющая скорости гранулы в начале удара, м/с;

$V_{1\tau}$ – касательная составляющая скорости гранулы в начале удара, м/с;

α – угол соударения гранулы с разнонаправленным зубом (угол падения), град.

Ударный импульс при отсутствии силы трения перпендикулярен плоскости разнонаправленного зуба, запишем уравнение

$$m \cdot U_1 - m \cdot V_1 = S_{уд} \quad (2.9)$$

где U_1 – скорость гранулы в конце удара, м/с;

m – масса гранулы, кг;

$S_{уд}$ – ударный импульс, кг·м/с.

Спроецировав уравнение на касательное направление, получим

$$m \cdot U_{1\tau} - m \cdot V_{1\tau} = 0 \quad (2.10)$$

или

$$U_{1\tau} = V_{1\tau} \quad (2.11)$$

С учетом уравнения (2.4) можно записать

$$U_{1\tau} = V_1 \cdot \sin \alpha \quad (2.12)$$

где $U_{1\tau}$ - касательная составляющая скорости гранулы в конце удара, м/с;

Так как процесс удара имеет 2 этапа, в течение 1 этапа происходит деформация гранулы, на втором этапе происходит частичное восстановление гранулы – то соотношение ударных импульсов этапов характеризуется коэффициентом восстановления

$$U_{1n} = -k \cdot V_{1n} \quad (2.13)$$

где U_{1n} – нормальная составляющая скорости гранулы в конце удара, м/с;

k – коэффициент восстановления гранулы минеральных удобрений.

Тогда спроецировав уравнение импульса на нормаль, с учетом уравнения 4 имеем

$$U_{1n} = -k \cdot V_1 \cdot \cos \alpha \quad (2.14)$$

Выражение для определения угла отражения β можно записать в следующем виде

$$\tan \beta = \frac{|U_{1n}|}{|V_{1\tau}|} \quad (2.15)$$

где β – угол отскока гранулы от поверхности разнонаправленного зуба, град.

С учетом выражения (2.12) и (2.14) имеем

$$\tan \beta = \frac{\tan \alpha}{k} \quad (2.16)$$

Определим полное значение скорости гранулы после отскока от зуба рассеивателя

$$U_1 = \frac{U_{1n}}{\cos \beta} \quad (2.17)$$

С учетом выражения (2.9), можно записать

$$U_1 = \frac{-k \cdot V_1 \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} \quad (2.18)$$

Воспользовавшись значением скорости и направлением гранулы после отскока, определим расстояние и траекторию полета гранулы (рисунок 2.9).

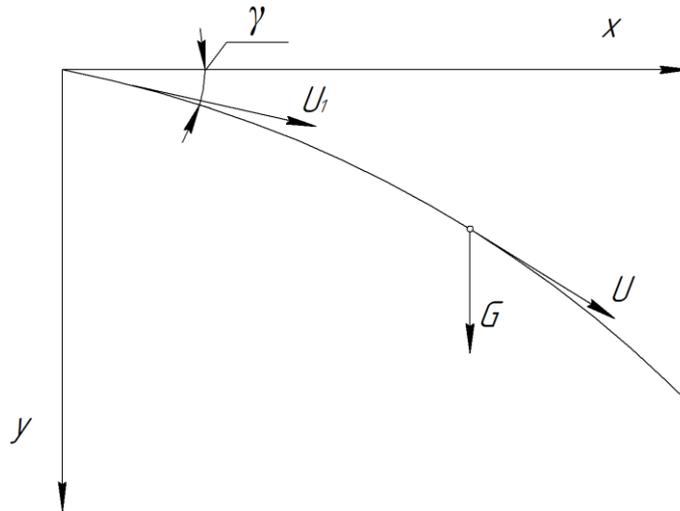


Рисунок 2.9 – Расчетная схема к определению траектории гранулы после ударного взаимодействия

Величину угла γ определим из выражения

$$\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta) \quad (2.19)$$

где γ – угол направления движения гранулы при отскоке, град;

Так как после соударения гранула движется в свободном полете, приложим к ней силу тяжести G и силу сопротивления R , тогда основной закон движения запишется в виде

$$m \cdot a = G \quad (2.20)$$

где a – ускорение гранулы, $\text{м}/\text{с}^2$;

G – сила тяжести гранулы ($G = m \cdot g$), Н ;

Спроецируем выражение (2.20) на оси координат (рисунок 2.11)

$$\begin{cases} m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \\ m \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = m \cdot g \end{cases} \quad (2.21)$$

Преобразуем 1 уравнение системы (2.21), поделив на m и разделив переменные

$$dU_x = 0 \quad (2.22)$$

Проинтегрировав, получим

$$U_x = C_1 \quad (2.23)$$

где U_x – проекция скорости гранулы в конце удара на ось OX , м/с;

Подставив начальные условия: $t = 0$; $U_{x0} = U_1 \cdot \cos \gamma$, определим постоянную интегрирования

$$C_1 = U_1 \cdot \cos \gamma \quad (2.24)$$

Подставив значение постоянной интегрирования, преобразуем его

$$U_x = U_1 \cdot \cos \gamma \quad (2.25)$$

Перепишем уравнение (2.25) в следующем виде

$$\frac{dx}{dt} = U_1 \cdot \cos \gamma \quad (2.26)$$

и проинтегрируем, разделив переменные

$$x = U_1 \cdot t \cdot \cos \gamma + C_2 \quad (2.27)$$

где x – положение гранулы относительно оси OX , м;

t – время полёта гранулы, с

Подставим начальные условия $t = 0, x_0 = 0$ и определим постоянную интегрирования

$$C_2 = x_0 \quad (2.28)$$

Тогда окончательно выражение (2.27) запишем в виде

$$x = U_1 \cdot t \cdot \cos \gamma + x_0 \quad (2.29)$$

Аналогичным образом преобразуем второе уравнение системы (2.21), заменив $\frac{dy}{dt}$ на U_y и разделив переменные

$$dU_y = g dt \quad (2.30)$$

Проинтегрировав, получим

$$U_y = g \cdot t + C_3 \quad (2.31)$$

где U_y – проекция скорости на ось OY , м/с;

Подставим начальные условия $t = 0, U_{y0} = U_1 \cdot \sin \gamma$, определим постоянную интегрирования

$$U_y = gt + U_1 \cdot \sin \gamma \quad (2.32)$$

Перепишем уравнение (2.32) в следующем виде

$$\frac{dy}{dt} = gt + U_1 \cdot \sin \gamma \quad (2.33)$$

и проинтегрируем, разделив переменные

$$y = \frac{gt^2}{2} + U_1 \cdot t \cdot \sin \gamma + C_4 \quad (2.34)$$

где y – положение гранулы относительно оси OY , м;

Подставим начальные условия и определим постоянную интегрирования $t = 0, y = y_0$:

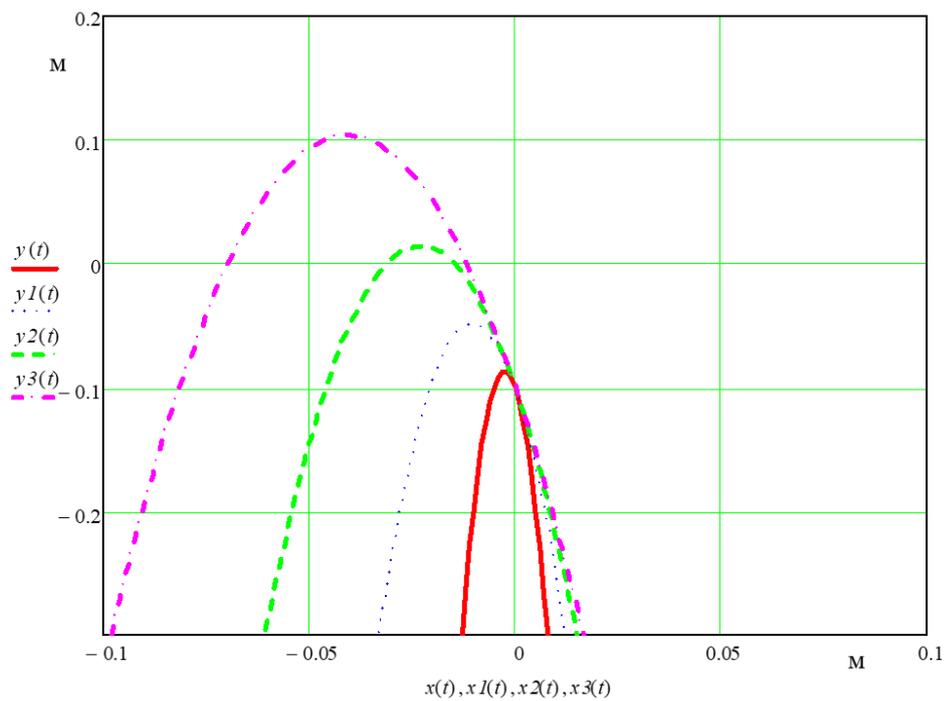
$$C_4 = y_0 \quad (2.35)$$

Окончательно выражение (2.34) запишем в виде

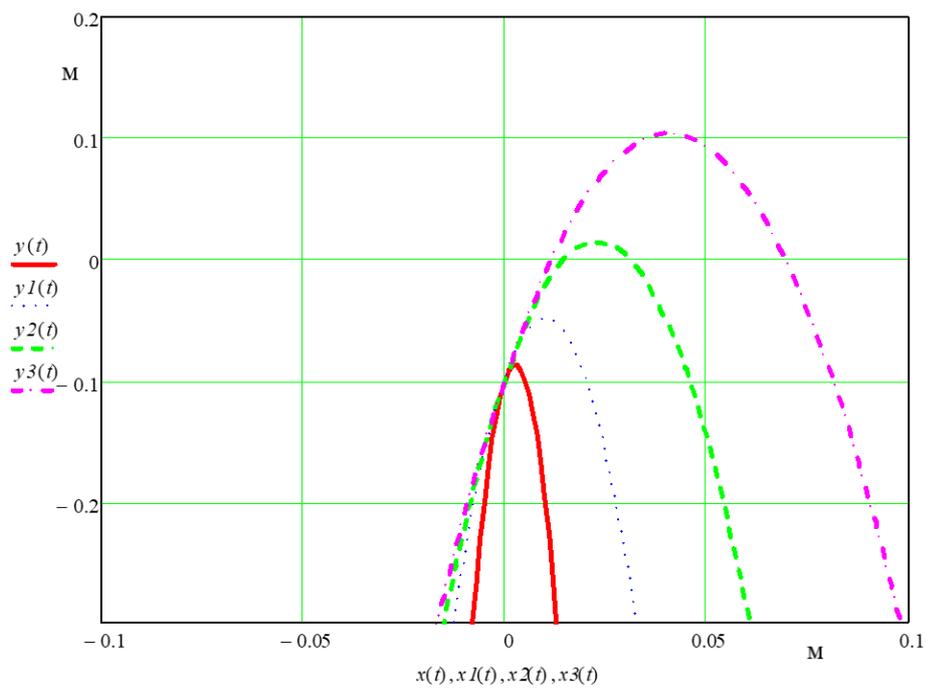
$$y = \frac{gt^2}{2} + U_1 \cdot t \cdot \sin \gamma + y_0 \quad (2.36)$$

На основании выражений (2.29) и (2.36) в программе Mathcad построим траекторию полета гранулы после соударения с зубом рассеивателя.

Анализ рисунка 2.10 показал, что применение рассеивателя с разнонаправленными зубьями позволяет обеспечивать распределение гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня.



а



б

а – направление движения гранул влево, б- направление движения гранул вправо

Рисунок 2.10 – Траектория гранул удобрений при падении в борозду

Важным фактором отскока гранул от разнонаправленных зубьев является начальная скоростью гранулы. Различная начальная скоростью гранул

обеспечивает гофрированным тукопроводом и способствует распределению гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня. Также применение зубьев с положительным и отрицательным углом наклона распределяет гранулы по обе стороны рассеивателя. Моделирование расстояния отскока позволило определить, что рациональными параметрами являются: начальная скорость гранул 1,5...3,5 м/с; угол наклона зубьев 5...6°; высота расположения зуба при соударении 0,15 м.

Выводы по 2 главе

1. В ходе исследований было разработано дозирующее устройство, предназначенное для работы в системах точного земледелия, которое может применяться на различной сельскохозяйственной технике, предназначенной для внесения твердых минеральных удобрений.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что наибольшую значимость на равномерность высева оказывает диаметр проходного сечения выгрузного отверстия в сравнении с частотой вращения составного шнека.

3. Проведенные теоретические исследования показывают, что предлагаемое дозирующее устройство обладает широким диапазоном регулировок, тем самым способно обеспечивать внесение минеральных удобрений в необходимых дозах с высокой степенью точности. При этом оптимальные режимы работы предложенного дозирующего устройства будут при изменении площади выгрузного окна в диапазонах от 100 мм² до 600 мм² и частоты вращения составного шнека от 40 до 70 об/мин.

4. Сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений должен иметь в составе стойку, тукопровод, культиваторную лапу с рассеивателем, причем рассеиватель выполнен в виде свободно вращающегося обода с разнонаправленными зубьями.

5. Теоретическими исследованиями установлено, что применение рассеивателя с разнонаправленными зубьями позволяет обеспечивать распределение гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня.

Важным фактором отскока гранул от разнонаправленных зубьев является начальная скоростью гранулы. Различная начальная скорость гранул обеспечивает гофрированным тукопроводом и способствует распределению гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня. Также применение зубьев с положительным и отрицательным углом наклона распределяет гранулы по обе стороны рассеивателя. Моделирование расстояния отскока позволило определить, что рациональными параметрами являются: начальная скорость гранул 1,5...3,5м/с; угол наклона зубьев 5...6°; высота расположения зуба при соударении 0,15м.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Теоретическими исследованиями установлены рациональные параметры дозирующего устройства и сошника для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений, для уточнения параметров в экспериментальных условиях. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и полевых условиях (рисунок 3.1).

При проведении лабораторных экспериментов исследовались процессы дозирования и распределения минеральных удобрений.

При проведении полевых исследований проведены исследования:

- 1 – влияния дозы удобрений и биопрепаратов на урожайность картофеля;
- 2 – исследование точности дозирования минеральных удобрений;
- 3 – равномерность распределения минеральных удобрений в гребне.



Рисунок 3.1 – Общий вид культиватора-подкормщика

Для проведения полевых исследований на основе патента №2762212 С1, 16.12.2021. Заявка № 2021110486 от 14.04.2021 разработан и изготовлен опытный образец культиватора-подкормщика.

Таблица 3.1 – Кинематические и геометрические параметры культиватора-подкормщика

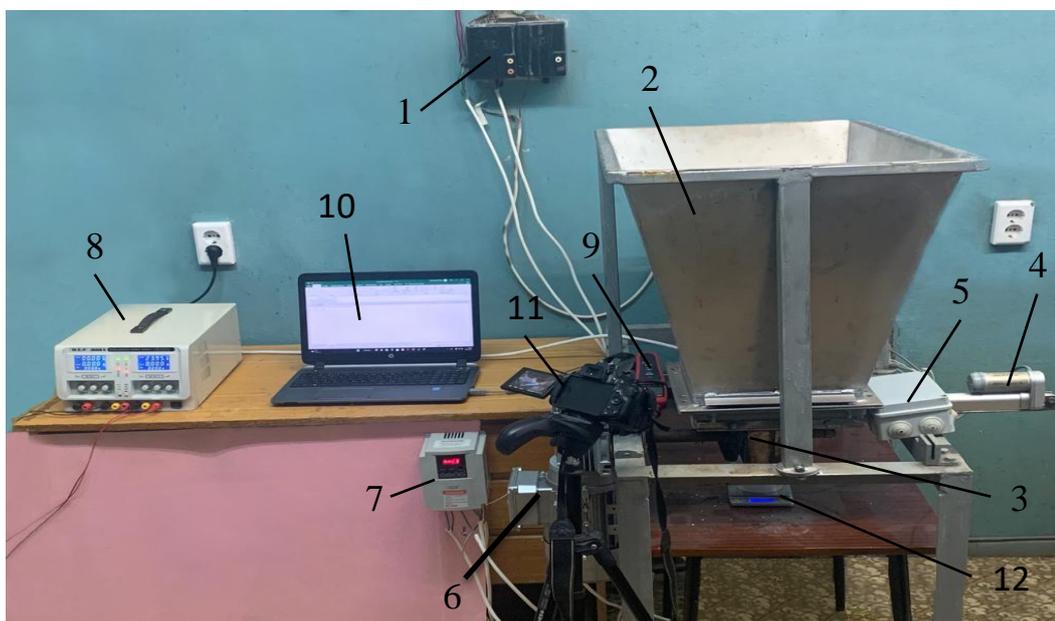
Наименование показателя	Значение
Высота культиватора, мм	1400
Длина культиватора, мм	2000
Ширина культиватора, мм	3480
Ширина междурядий, мм	750
Ширина лапы с рассеивателем, мм	270
Ширина окучника, мм	330
Емкость бункера, м ³	1,2
Емкость бака, л	600
Диаметр рассеивателя, мм	220
Диаметр опорного колеса, мм	560
Скорость, км/ч	8-12
Производительность, га/ч	2,4-3,6

3.2 Методика экспериментальных исследований дозирующего устройства для локального внесения удобрений

Для уточнения параметров и режимов работы разработанного дозирующего устройства была разработана и изготовлена лабораторная установка (рисунок 3.2).

В ходе лабораторного эксперимента оценивалось изменение подача дозирующего устройства в зависимости от изменения площади проходного сечения выгрузного отверстия и частоты вращения шнека. Оценка подачи осуществлялась путём измерения изменения массы поступающих удобрений

в момент времени. Для этого под выгрузное отверстие устанавливались лабораторные весы МН-500 с ценой деления 0,1г с ёмкостью для удобрений, изменение массы фиксировалось при помощи камеры Nikon D5200.



1 – вводной автомат; 2 – бункер для минеральных удобрений; 3 – дозирующее устройство; 4 – актуатор; 5 – блок управления; 6 – электропривод; 7 – частотный преобразователь; 8 – лабораторный источник питания; 9 – тахометр; 10 – ноутбук; 11 – камера; 12 – лабораторные весы.

Рисунок 3.2 – Общий вид лабораторной установки

При проведении лабораторного эксперимента варьировались следующие параметры: частота вращения шнека и площадь проходного сечения.

Выполнение эксперимента производилось следующим образом. В бункер для минеральных удобрений загружался объём удобрений массой 15 кг. Затем осуществлялось включение автоматического выключателя и запуск лабораторного источника питания. При помощи частотного преобразователя выставлялись необходимые обороты электродвигателя, которые на выходе с редуктора составляли от 0 до 70 об/мин, контроль частоты вращения вала шнека осуществлялся при помощи тахометра марки УТ372. После установки

необходимого числа оборотов шнека при помощи программного комплекса, установленного на ноутбук, осуществлялось открытие заслонки дозирующего устройства на значения соответствующие площади проходного сечения от 150 до 600 мм². Одновременно с этим при помощи камеры Nikon D5200 осуществлялась видеозапись, фиксирующая изменение значений массы на лабораторных весах.

Для каждого из вариантов опыта осуществлялась фиксация фрагмента длительностью 5 секунд, при этом во время обработки данных первая и последняя секунды видеофрагмента отсекались и производился учёт изменения массы за 3 секунды, при этом варианты опыта производились в пятикратной повторности.

3.3 Методика экспериментальных исследований сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади

С целью определения качества работы сошника и системы дозирования была проведена серия экспериментов, в ходе которых оценивалась степень равномерности распределения минеральных удобрений по площади. Для этого на предварительно подготовленной площадке расстилалось бумажное полотно с клейкой основой. При этом бумажное полотно располагалось непосредственно под сошником, предназначенным для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений (рисунок 3.3).

Так как равномерность внесения минеральных удобрений должна соблюдаться при различных нормах внесения минеральных удобрений, то важным параметром будет являться и режим работы дозирующего устройства. В этой связи экспериментальные исследования проводились по следующей методике.

На трактор Class Axion 850 на трёхточечной навеске навешивался культиватор подкормщик, после чего трактор выезжал на начало отрезка из заранее подготовленной бумаги. Затем механизатор устанавливал культиватор

подкормщик на необходимую высоту так, чтобы зубья рассеивателя приводились в движение от контакта с поверхностью, при этом окучивающие лапы находились над поверхностью. После чего в бункер для минеральных удобрений загружалась порция удобрений. Далее трактор начинал движение со скоростью 8 км/ч, после чего на дозирующее устройство со смартфона при помощи программы управления системой дозирования твердых минеральных удобрений выбиралась необходимая норма внесения удобрений [102].



Рисунок 3.3 – Общий вид культиватора-подкормщика при исследовании равномерности распределения удобрений

На первом этапе оценивалось влияние конструкции рассеивателя на равномерность распределения удобрений по специально подготовленной поверхности. Для этого было изготовлено 9 модификаций зубчатого рассеивателя в которых варьировался угол наклона зуба от 3 до 9 градусов и размеры рассеивателя, таким образом, чтобы высота взаимодействующих с гранулами зубьев рассеивателя варьировалась в диапазоне от 100 до 200 мм от поверхности. На данных вариантах опыта выбиралась единая норма внесения удобрений.

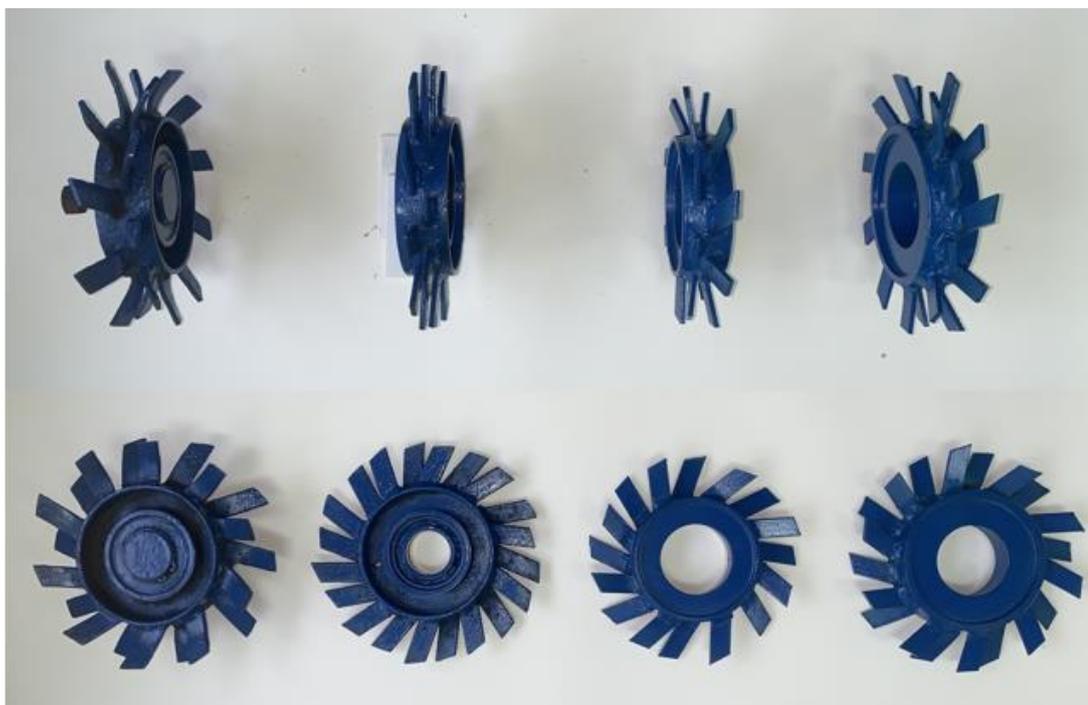


Рисунок 3.4 – Образцы зубчатых рассеивателей

После определения оптимальной конструкции рассеивателя оценивалось качество его работы при различных режимах системы дозирования. В ходе эксперимента были выбраны три нормы внесения максимальная, минимальная и случайная промежуточная норма.

В каждом из вариантов опыта трактор проходил расстояние в 5 м, после чего останавливался и возвращался на исходную позицию. После внесения удобрений по поверхности листа осуществлялась оценка качества распределения. Для этого на лист с удобрениями в случайном порядке накладывалась масштабная рамка размером 300x300 мм (рисунок 3.4).

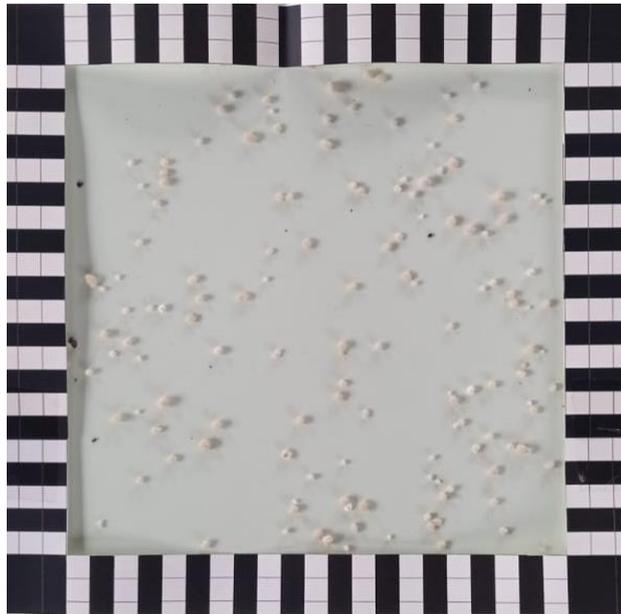


Рисунок 3.5 – Общий вид рамки с распределенными минеральными удобрениями

Затем производилась фотографирование рамки с находящимися внутри неё удобрениями. Для каждого из вариантов опыта делалось по 5 фотографий. После чего определялось количество гранул на площади и оценивалась неравномерность распределения. Для этого каждый оцениваемый участок разделялась на элементарные участки шириной по 50 мм, на которых высчитывалось количество гранул минеральных удобрений. После чего вычислялось среднее значение гранул удобрений на площади:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{эл } i}}{n} \quad (3.1)$$

где $N_{\text{ср}}$ – среднее число гранул удобрений на оцениваемом участке, шт;
 $N_{\text{эл } i}$ – среднее число гранул удобрений на i -м элементарном участке, шт;
 n – число элементарных участков.

После чего определялось стандартное отклонение количества гранул минеральных удобрений на оцениваемом участке:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_{\text{эл } i}^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

где $\Delta N_{\text{эл } i}^2$ – отклонение количества гранул удобрений на i -м элементарном участке от среднего значения, шт.

Далее определялась неравномерность распределения удобрений N_y , %, по следующей формуле:

$$N_y = \frac{\sigma}{N_{cp}} \cdot 100 \quad (3.3)$$

Полученные значение заносились в таблицу для последующего анализа.

3.4 Методика экспериментальных исследований сошника для оценки распределения удобрений в гребне

При дифференцированном локальном внесении твёрдых минеральных удобрений важным фактором является их равномерное распределение по площади гребня. Для оценки равномерности распределения гранул минеральных удобрений были проведены экспериментальные исследования. С этой целью был изготовлен ящик пробоотборник, представляющий собой куб с размером граней 400x400x400 мм. Одна из сторон куба имеет просечки через каждые 50 мм, предназначенные для установки шибберных заслонок (рисунок 3.5).



Рисунок 3.6 – Ящик пробоотборник

Для определения равномерности распределения гранул твёрдых минеральных удобрений по площади гребня в процессе эксперимента производилось внутрпочвенное внесение цветных пластиковых гранул

размером от 3,5 до 5 мм имитирующих гранулы минеральных удобрений. Внесение осуществлялось при помощи разработанного культиватора-подкормщика, для этого на машине задавалась единая доза внесения удобрений. В бункер для минеральных удобрений загружались пластиковые гранулы, после чего культиватор-подкормщик в сцепке с трактором производил обработку 100 погонных метров поля.

После внесения пластиковых гранул производился отбор проб почвы из гребня, для этого на гребне выделялся участок длиной 300 мм куда устанавливался пробоотборник в форме куба. Для оценки распределения гранул по высоте гребня пробоотборник устанавливался вертикально в гребень так, чтобы просечки для установки шиберных заслонок находились с боку от гребня. Установка пробоотборника производилась на глубину равную глубине обработки культиватора-подкормщика. После установки пробоотборника в каждую из просечек устанавливались шиберные заслонки, тем самым отсекая пробы почвы.

Для оценки распределения гранул по ширине гребня выделялся участок длиной 400 мм куда также устанавливался пробоотборник в форме куба, при этом пробоотборник устанавливался горизонтально в гребень так, чтобы просечки для установки шиберных заслонок находились параллельно гребню. Далее процесс отбора проб выполнялся аналогично первому случаю.

Для оценки распределения гранул по длине гребня выделялся участок длиной 400 мм куда также устанавливался пробоотборник в форме куба. При этом для возможности установки пробоотборника производилось удаление гребня на участке в 400 мм, предшествующем выбранному участку. Пробоотборник устанавливался горизонтально в гребень так, чтобы просечки для установки шиберных заслонок находились перпендикулярно гребню. Далее процесс отбора проб выполнялся аналогично первому случаю.

Для каждого из варианта отбор проб проводился в трёхкратной повторности. После отбора проб производился подсчёт пластиковых гранул в

каждой из элементарных проб, отсечённых при помощи шиберных заслонок, при этом объём элементарной пробы составлял 0,008 м³.

3.5 Методика полевых исследований локального внесения удобрений

В зависимости от технологии возделывания сельскохозяйственных культур, видов, форм минеральных удобрений, сроков и способов их внесения и т.д., коэффициент использования элементов питания, находящихся в них, может варьироваться в среднем от 15-60 %. Например, азотные удобрения за счёт жизнедеятельности денитрифицирующих микроорганизмов «частично превращаются в газообразные соединения и улетучиваются в атмосферу. Кроме того, часть удобрений попадает в грунтовые подпочвенные воды, тем самым загрязняя их, в то время как другая часть остаётся в почве и может быть использована последующими культурами, выращиваемыми на данных почвах» [34, 101, 131, 140, 150].

При этом важным фактором, влияющим на извлечение элементов питания из почвы, а также вносимых в неё минеральных и органических удобрений является наличие в ней здоровой микрофлоры. Однако в последнее время в связи с нарушением севооборотов, использованием технологий интенсивного земледелия, а также общим ростом загрязняющих факторов наблюдается снижение плодородия почв. В свою очередь использование биологически модифицированных минеральных удобрений позволяет снизить экологическую нагрузку на почву, повысить эффективность использования питательных элементов растениями, раскрыть почвенно-климатический потенциал агроландшафта и потенциал сельскохозяйственных культур [34, 103, 131].

Биологическая модификация минеральных удобрений заключается в том, что на гранулированные или в жидкие минеральные удобрения вносят биологические препараты, направленные на: повышение фунгицидная и

бактерицидная активность, стимулирование роста и развитие растений, снижение стрессовых факторов для растений, фиксацию молекулярного азота и т.д.

При этом биологическую модификацию минеральных удобрений можно производить в стационарных условиях производя их обработку в специально разработанных установках, при изготовлении тукосмесей на тукосмесительных линиях и заводах, а также в процессе их внесения.

Разработанный культиватор-подкормщик позволяет производить одновременное локальное внесение твердых минеральных удобрений и жидких биопрепаратов. В связи с чем для определения эффективности одновременного внесения минеральных удобрений и биопрепаратов был проведён полевой опыт, в ходе которого оценивалась эффективность внесения минеральных удобрений.

Производственные испытания проводились в ООО "Авангард" на поле площадью 145 га. Исследования производились для трёх вариантов технологий: технология, реализуемая в хозяйстве (контроль), локальное внесение минеральных удобрений (опыт №1) и локальное внесение минеральных удобрений с гуматом калия (опыт №2).

Технология, реализуемая в хозяйстве (контроль), включала в себя осеннюю и весеннюю обработки. Осенняя обработка включала в себя следующие операции: вспашка при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с плугом Amazone Nektor 7+1 на глубину 25-27 см в сроки с 27.09.2021 по 02.10.2021 г.; с последующим внесением минеральных удобрений с нормой расхода 460 кг/га калий-хлор осуществляемым при помощи трактора Claas Axion 850 в сцепке с распределителем Amazone ZG-TS 8000 в сроки с 05.10.2021 по 06.10.2021 г.; после чего производилась культивация при помощи трактора Challenger MT845 в сцепке с дисковым глубокорыхлителем Case Ecolotiger 6 в сроки с 05.10.2021 по 06.10.2021 г. Весенняя обработка состояла из следующих операций: культивация на глубину 15-17 см при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с комбинированным культиватором

FLEXI-COIL ST 820 оборудованным для внесения аммиака (норма) в сроки с 04.05.2022 по 07.05.2022; далее производилось фрезерование на глубину 18-20 см при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с ротационной бороной Lemken Zirkon 6000 в сроки с 20.05.2022 по 29.05.2022 г.; после чего осуществлялась посадка картофеля при помощи трактора MasseyFerguson MF в сцепке с картофелесажалкой Grimme GL34T с внесением удобрений амофос 70 кг/га в сроки с 21.05.2022 по 31.05.2022 г.; формирование гребня при помощи трактора New Holland T7060 в сцепке с гребнеобразователем Grimme GF 75-4 в сроки с 25.05.2022 по 5.06.2022.

Для опытов №1 и №2 агротехнология также состояла из осенней и весенней обработок. При этом осенняя обработка состояла из следующих операций: вспашка при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с плугом Amazone Нектор 7+1 на глубину 25-27 см в сроки с 27.09.2021 по 02.10.2021 г.; затем производилась культивация при помощи трактора Challenger MT845 в сцепке с дисковым глубокорыхлителем Case Ecolotiger 6000 в сроки с 05.10.2021 по 06.10.2021 г.; после чего нарезка гребней и локальное внесение удобрений при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с культиватором-подкормщиком, норма внесения для опыта №1 составляла 250 кг/га калий-хлор, для опыта №2 – 250 кг/га калий-хлор и 250 л/га рабочего раствора гумата калия концентрацией 0,08% в сроки с 07.10.2021 по 08.10.2021 г.

Весенняя обработка для данных опытов состояла из следующих операций: формирование гребня при помощи трактора New Holland T7060 в сцепке с гребнеобразователем Grimme GF 75-4 в сроки с 20.05.2022 по 29.05.2022 г.; после чего осуществлялась посадка картофеля при помощи трактора MasseyFerguson MF в сцепке с картофелесажалкой Grimme GL34T с внесением удобрений амофос 70 кг/га в сроки с 21.05.2022 по 31.05.2022 г..



Рисунок 3.7 – локальное внесение твердых минеральных удобрений и гумата калия при помощи культиватора-подкормщика



Рисунок 3.8 – формирование гребней в рамках весенней обработки для опытов №1 и №2

В качестве тест культуры использовался картофель сорта Манифест.

Для всех вариантов опыта проводились обработки средствами защиты растений при помощи самоходного опрыскивателя Challenger RoGator 1100,

по следующей схеме: первая гербицидная обработка почвы препаратом Сойл Агро Эксперт в дозе 1 л/га, вторая гербицидная обработка препаратом Зенкор Ультра в дозе 0,3 л/га, третья гербицидная обработка препаратом Хантер в дозе 2 л/га, первая обработка фунгицидами производилась препаратом Рапид Голд Плюс в дозе 2,5 кг/га, вторая обработка фунгицидами проводилась препаратами Консенто в дозе 2 л/га и микроудобрения Вигор Форте в дозе 0,05 кг/га, третья обработка фунгицидами производилась препаратами Инфинито в дозе 1,6 л/га и микроудобрение Вигор Форте в дозе 0,05 кг/га, инсектецидная обработка препаратом Монарх в дозе 0,025 кг/га, четвертая обработка фунгицидами осуществлялась препаратом Улис в дозе 0,6 кг/га, десекация при помощи препарата Голден Ринг в дозе 2 л/га.

В течение вегетационного периода осуществляли фенологические наблюдения, определяли динамику формирования всходов, высоту растений, количество стеблей (рисунок 3.8).



Рисунок 3.9 – определение размерно-весовых характеристик клубней картофеля

Перед началом уборки на каждом из вариантов опыта выкапывалось по 5 кустов на трёх различных участках. После чего подсчитывалось количество клубней на каждом кусте, каждый из клубней взвешивал при помощи весов МН-500 и измерялся при помощи штангенциркуля по длине, ширине и толщине. Полученные данные заносились в таблицу.

Уборка урожая осуществлялась при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с картофелеуборочным комбайном GRIMME SE 150-60



Рисунок 3.10 – Общий вид уборочного агрегата: трактор CLAAS Axion 940 и картофелеуборочный комбайн GRIMME SE 150-60

Учёт урожайности осуществлялся методом сплошной уборки на основании показателей весовой хозяйства. Полученные данные заносились в таблицу, после чего производился их анализ при помощи программы Excel.

Выводы по 3 главе

Экспериментальные исследования проводились на основе теоретических предпосылок с использованием стандартных методик для технологических процессов машин по уходу за растениями и методик, разработанных на их основе. При исследовании использовались сертифицированные приборы. В экспериментальных исследованиях применяли специально изготовленное оборудование для исследования равномерности и точности дозирования твердых минеральных удобрений дозирующим устройством шнекового типа с регулируемым выгрузным окном.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты экспериментальных исследований дозирующего устройства для локального внесения удобрений

На основе полученных видеофрагментов производился учёт подачи дозирующего устройства в момент времени. Полученные значения подачи заносились в таблицу, на основе данных которой в программе статистика был построен график изменения подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека разработанного дозирующего устройства (рисунок 4.1).

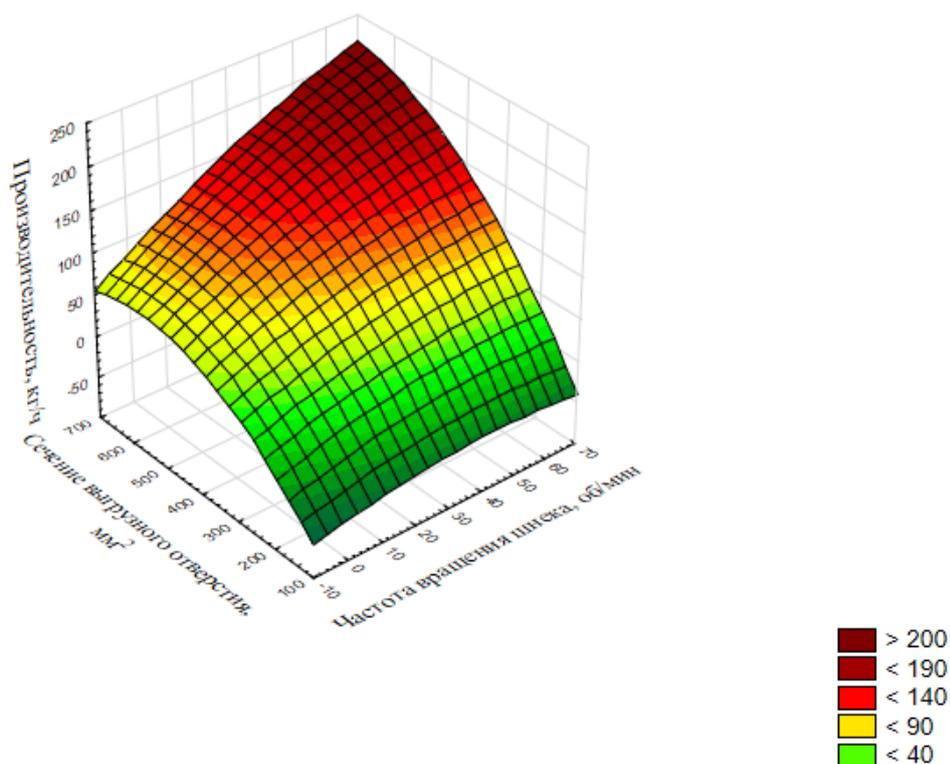


Рисунок 4.1 – Зависимость подачи шнекового дозирующего устройства от частоты вращения шнека и сечения выгрузного отверстия

На основании опытных данных было получено уравнение регрессии, описывающее изменения подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека разработанного дозирующего устройства:

$$\begin{aligned} P_r = & -117,0187 + 0,5236 \cdot n_{ш} + 0,7037 \cdot F_{пот} - 0,009 \cdot n_{ш}^2 + \\ & + 0,003 \cdot n_{ш} \cdot F_{пот} - 0,0006 \cdot F_{пот}^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

где P_r – подача дозирующего устройства, кг/ч;

$F_{пот}$ – площадь проходного сечения потока удобрений, мм²;

$n_{ш}$ – частота вращения шнека, об/мин.

Адекватность уравнения регрессии опытным данным подтверждена коэффициентом детерминации $R^2=0,93427438$, а также коэффициентом регрессии $R = 0,9665787$. Наиболее значимым фактором является площадь проходного сечения потока удобрений дозирующего устройства.

Анализ рисунка 4.1 показал, что с увеличением площади проходного сечения потока удобрений подача дозирующего устройства существенно возрастает, при незначительной частоте вращения шнека подача дозирующего устройства замедляется при площади проходного сечения потока удобрений около 500 мм². Наилучшая равномерность подачи удобрений наблюдается при частоте вращения шнека 50 об/мин и площади проходного сечения 350 мм², что соответствует подаче дозирующего устройства 163,51 кг/ч.

4.2 Результаты экспериментальных исследований сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади

В ходе экспериментальных исследований сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади была проведена серия экспериментов, в ходе которых были получены фотографии гранул минеральных удобрений, расположенных на поверхности листа, ограниченной масштабными рамками. Полученные изображения загружались в программу по определению равномерного распределения минеральных удобрений и их гранулометрического состава [52], где оценивалось их количество по ширине и по длине, а также неравномерность их распределения.

На основании полученных опытных данных в программе Statistica был построен график зависимости неравномерности распределения от изменения угла наклона зубьев и высоты их расположения над землей (рисунок 4.2).

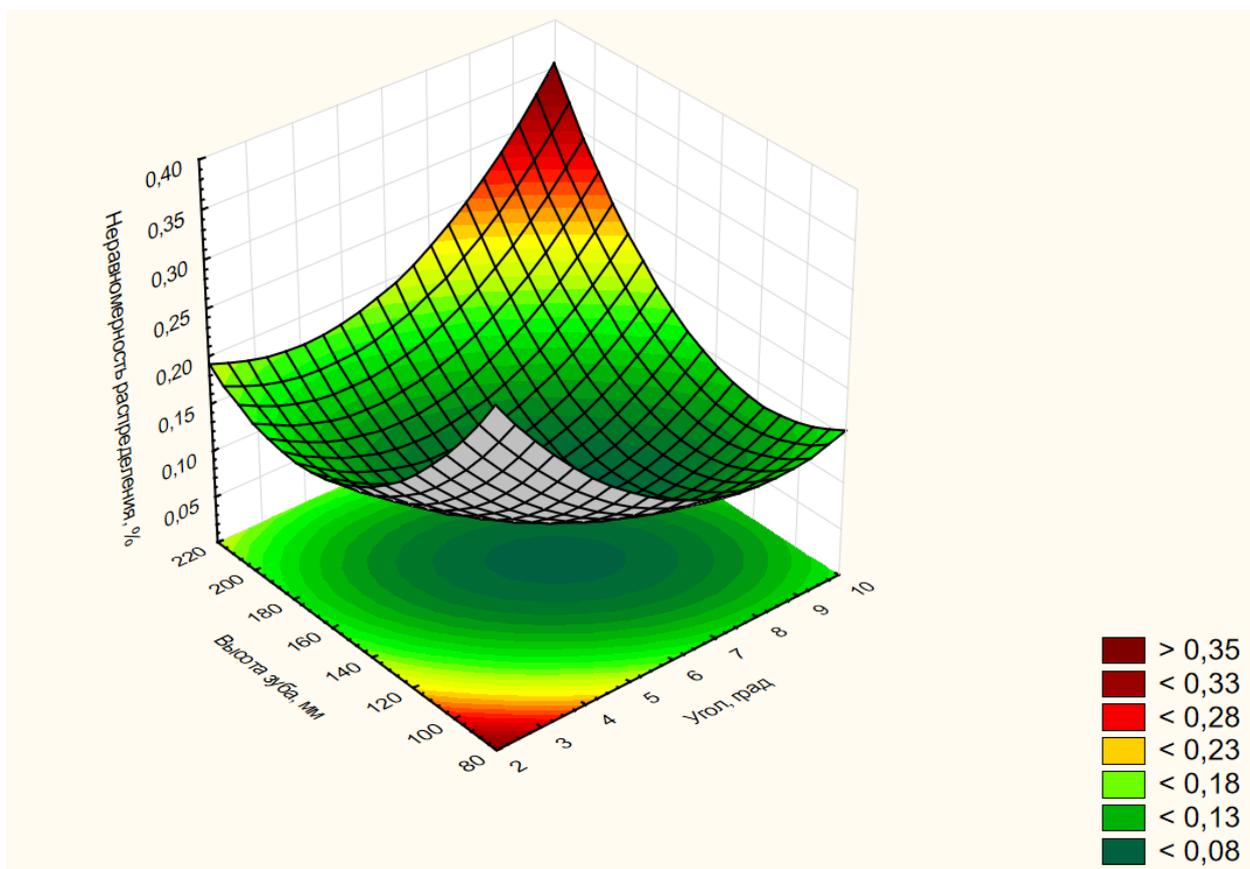


Рисунок 4.2 – график зависимости неравномерности распределения гранул по поверхности от угла установки и высоты зуба

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$N_p = 1,0141 - 0,1121 \cdot \alpha - 0,0081 \cdot h_z + 0,0052 \cdot \alpha^2 + 0,0003 \cdot \alpha \cdot h_z + 2,118 \cdot 10^{-5} \cdot h_z^2 \quad (4.2)$$

где N_p – неравномерность распределения, %;

α – угол наклона зуба, град;

h_z – высота зуба над поверхностью, мм.

Адекватность уравнения регрессии опытным данным подтверждена коэффициентом детерминации $R^2=0,72121644$, а также коэффициентом регрессии $R=0,84924463$.

Анализ графика показал, что наименьшее значение неравномерности распределения удобрений по поверхности достигается при угле наклона

зубьев рассеивателя в диапазоне от 5 до 8 градусов и высоте их расположения над поверхностью от 120 до 160 мм. Таким образом на основе полученных результатов был выбран рассеиватель со следующими характеристиками: диаметр колеса 150 мм, высота зубьев 80 мм, угол наклона зубьев 6 градусов.

После выбора и установки рассеивателя производилась оценка эффективности его работы при различных режимах работы системы дозирования. На основе полученных данных были построены графические зависимости распределения гранул минеральных удобрений по ширине и по протяжённости внесения.

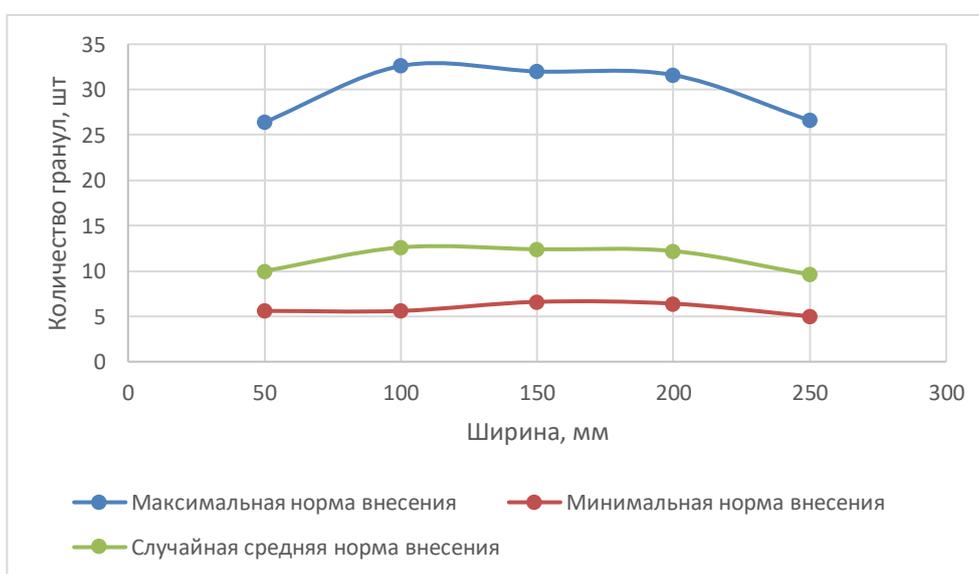


Рисунок 4.3 – График распределения минеральных удобрений по ширине

Полученные данные оценивались на воспроизводимость результатов эксперимента с использованием критерия Кохрена. Для этого в каждой серии опытов определялась дисперсия, и производился расчёт критерия по следующей формуле:

$$k_{кр} = \frac{D_{imax}}{\sum_i^m D_i} \quad (4.3)$$

где D_{imax} – наибольшее значение дисперсий из числа рассматриваемых параллельных серий n ;

D_i – сумма дисперсий n серий.

Полученные значения критерия Кохрена сравнивались с табличными данными. Так для проведенной серии опытов расчётное значение критерия Кохрена составляло: для максимальной нормы внесения 0,29; для минимальной нормы внесения 0,36; для случайной промежуточной нормы внесения 0,31; в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74.

Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными.

Анализ графика показывает, что большая часть удобрений распределяется в диапазоне от 100 до 200 мм при этом значения количества гранул на данных участках колеблется для каждой из норм внесения не превышает 3%, при этом на крайних участках (50 и 250 мм) равномерность распределения гранул составляет 13,8%, что соответствует агротехническим требованиям.

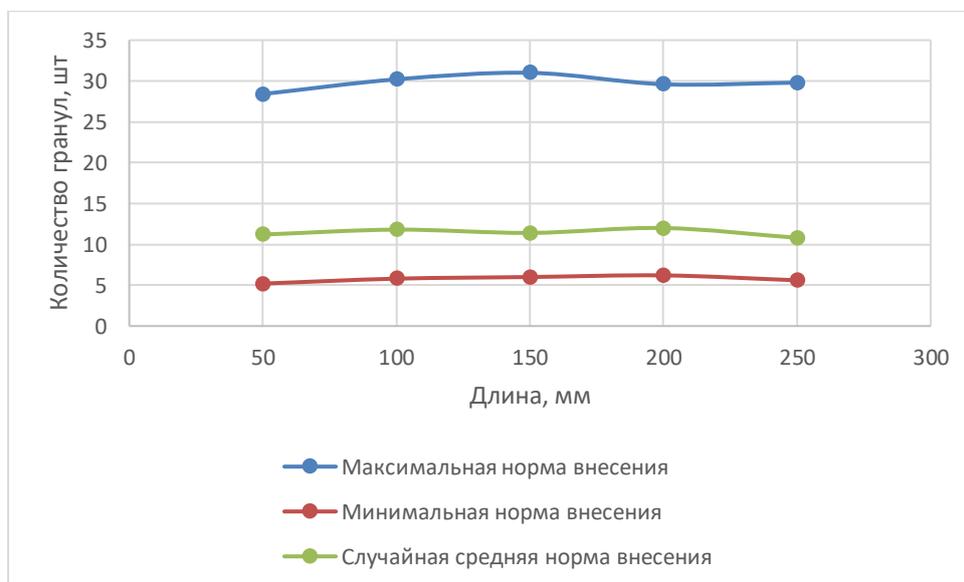


Рисунок 4.4 – График распределения минеральных удобрений по протяжённости

Для серии опытов определяющей распределение минеральных удобрений по протяжённости расчётное значение критерия Кохрена составляло: для максимальной нормы внесения 0,13, для минимальной нормы внесения 0,3, для случайной промежуточной нормы внесения 0,11, в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74.

Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными.

Анализируя полученный график можно обратить внимание, что на протяжённости элементарного участка в 250 мм, для испытываемых норм внесения наблюдается высокая равномерность распределения гранул минеральных удобрений, при этом отклонение по количеству гранул колеблется в диапазоне 10%. Стоит отметить тот факт, что на данный показатель также будет влиять постоянность скорости движения трактора.

В результате можно сделать вывод, что использование сошника для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений способствует равномерному их распределению по площади.

4.3 Результаты экспериментальных исследований сошника для оценки распределения удобрений в гребне

В процессе определения равномерности распределения гранул минеральных удобрений по объёму гребня была проведена серия экспериментальных исследований. В ходе которых оценивалась распределение удобрений по высоте, ширине и длине гребня.

Оценка достоверности с помощью критерия Кохрена

В процессе исследований оценивалось количество гранул, находящихся в одной элементарной пробе. Полученные данные агрегировали в таблицы для каждого из вариантов опыта. На основе полученных данных в программе

Statistica были построены графические зависимости распределения гранул по площади гребня.

На основании опытных данных было получено уравнение регрессии описывающее распределение гранул по ширине гребня:

$$b = -5,62 + 0,2826 \cdot N - 0,0008 \cdot N^2 \quad (4.4)$$

где b – ширина распределения удобрений, мм;

N – количество гранул минеральных удобрений, шт.

Проверку работоспособности регрессионной модели осуществляли по коэффициенту детерминации. Адекватность регрессионной модели характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,80$, в связи с чем регрессионная модель в достаточной степени объясняет полученные опытные данные.

Анализ значимости коэффициентов регрессионной модели показал, что коэффициенты уравнения являются значимыми.

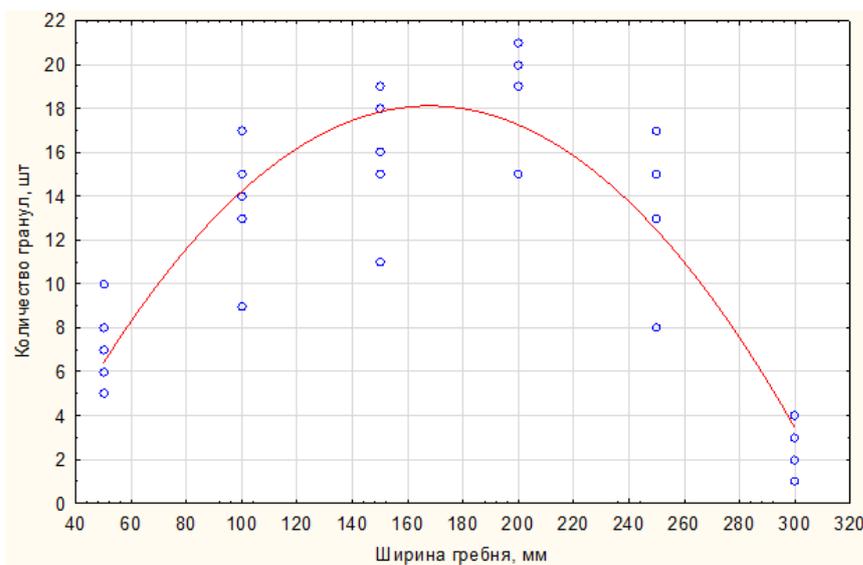


Рисунок 4.5 – График распределения гранул удобрений по ширине гребня

Для серии опытов, определяющей распределение минеральных удобрений по ширине гребня расчётное значение критерия Кохрена составляло 0,27, в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74.

Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными.

Анализ рисунка 4.4 показал, что основное количество минеральных удобрений располагается в центре гребня. Также благодаря рассеивателю с разнонаправленными зубьями обеспечивается распределение гранул по ширине гребня. Следует отметить, что положение трубопровода относительно рассеивателя влияет на характер распределения гранул минеральных удобрений.

Также на основании опытных данных было получено уравнение регрессии описывающее распределение гранул по глубине:

$$h = 3,0667 + 0,0369 \cdot N + 0.0002 \cdot N^2 \quad (4.5)$$

где h – глубина распределения гранул удобрений, мм;

Проверку работоспособности регрессионной модели осуществляли по коэффициенту детерминации. Адекватность регрессионной модели характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0.94$, в связи с чем регрессионная модель в достаточной степени объясняет полученные опытные данные.

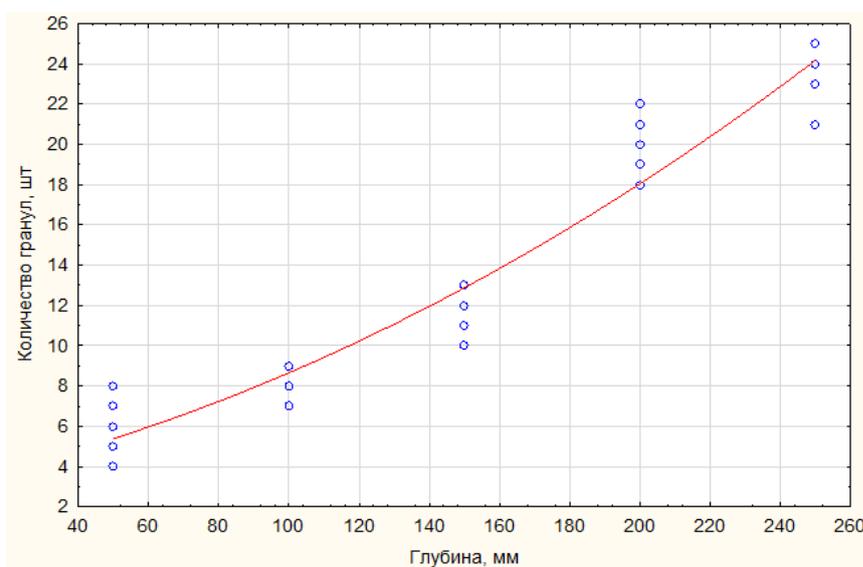


Рисунок 4.6 – График распределения гранул удобрений по глубине гребня

Анализ значимости коэффициентов регрессионной модели показал, что второй коэффициент уравнения регрессии является наиболее значимым, при переменной обозначающей количество гранул высеянных удобрений.

Для серии опытов определяющей распределение минеральных удобрений по глубине гребня расчётное значение критерия Кохрена составляло 0,26, в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74.

Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными.

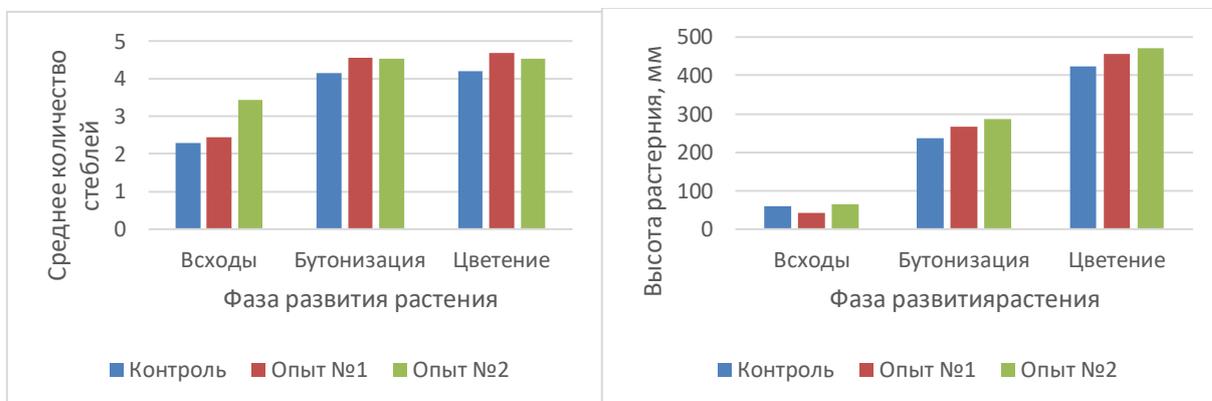
Анализ рисунка 3 показал, что основное количество минеральных удобрений располагается внизу гребня на глубине 150-250 мм. Также благодаря рассеивателю с разнонаправленными зубьями обеспечивается распределение гранул по глубине гребня за счет его вращения и заглубления разнонаправленных зубьев в почву.

4.4 Результаты полевых исследований локального внесения удобрений

В ходе производственных испытаний производились фенологические исследования, в рамках которых оценивалась количество стеблей и высота растения. Для этого рандомизированным образом для каждого из вариантов опыта выбиралось 5 участков, где подряд бралось по 5 кустов на которых производились измерения. Полученные данные заносились в таблицу, после чего осуществлялась их обработка в программе Excel.

Анализ данных показал, что оба опыта показали прибавку в зелёной массе в сравнении с контрольным вариантом, так несмотря на менее активные всходы в варианте опыта с локальным внесением твёрдых минеральных удобрений (опыт №1) к фазе цветения средняя высота растений картофеля была выше на 7,5 % по сравнению с контролем. В свою очередь больший

положительный эффект был получен при использовании технологии с совместным локальным внесением твердых минеральных удобрений и гумата калия (опыт №2), так на данном варианте растения в среднем были выше на 14 % по сравнению с контролем.



Количество стеблей

Высота растения

Рисунок 4.7 – Фенологические показатели растений

В рамках исследований производилась оценка урожайности и фракционного состава картофеля. При определении фракционного состава производилось измерение клубней по трём параметрам (длина, ширина, толщина), при этом для определения среднего диаметра клубня пользовались следующей формулой:

$$d_{к.ср.} = \sqrt[3]{l_k \cdot b_k \cdot c_k} \quad (4.6)$$

где $d_{к.ср.}$ – средний диаметр клубня, мм;

l_k – длина клубня, мм;

b_k – ширина клубня, мм;

c_k – толщина клубня, мм.

Полученные данные заносились в таблицу и анализировались в программе Excel.

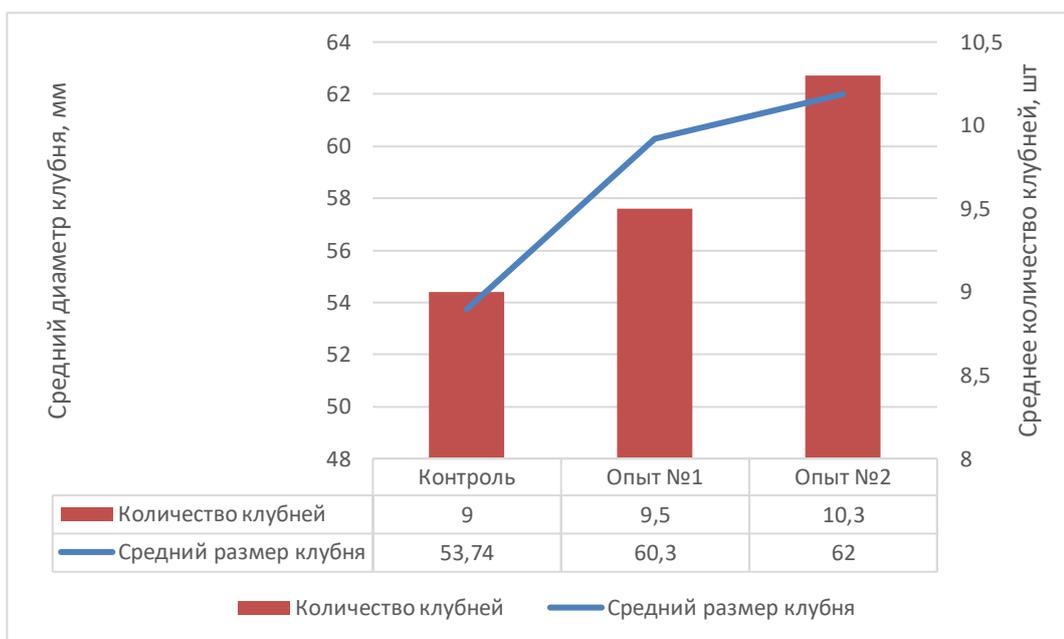


Рисунок 4.8 – Влияние технологии внесения минеральных удобрений на количество клубней и их размер

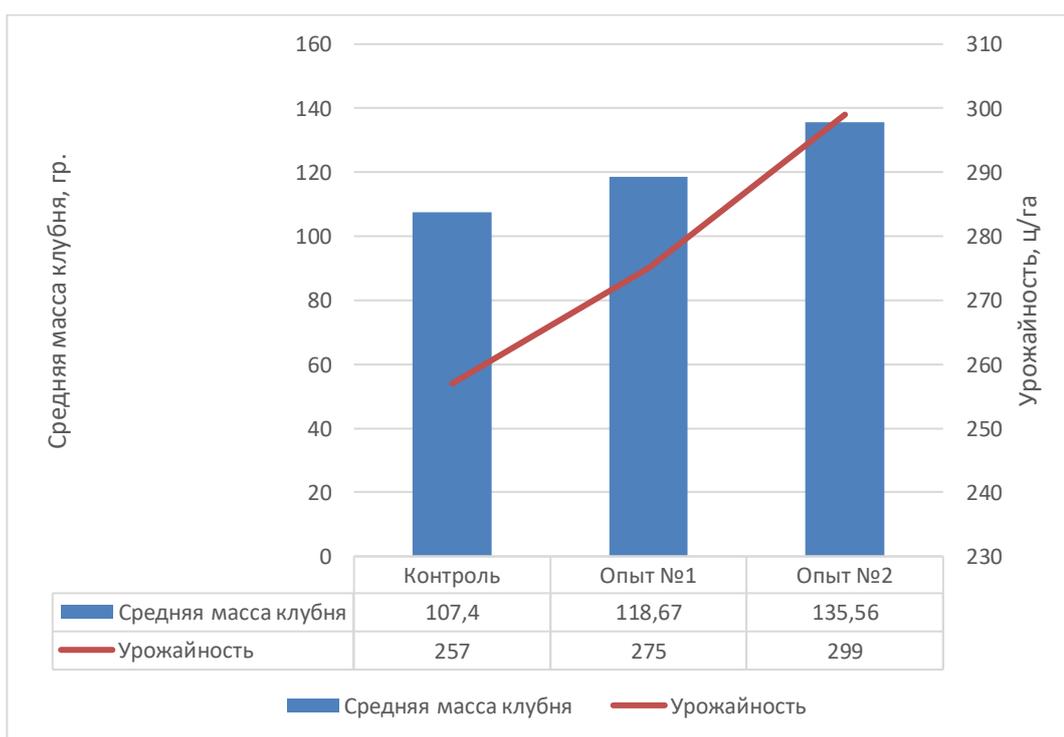


Рисунок 4.9 – Влияние технологии внесения минеральных удобрений на массу клубня и биологическую урожайность

Анализ полученных данных показал, что при использовании технологии локального внесения минеральных удобрений и гумата калия (опыт №2)

наблюдалось увеличение среднего размера клубней по сравнению с контролем на 15,4%, при увеличении среднего числа клубней на 14,4%.

Определение урожайности картофеля определялось на основе данных, полученных на основании показателей весовой хозяйства. На основе полученных данных был построен график влияние технологии внесения минеральных удобрений на массу клубня и биологическую урожайность.

Анализ графика показывает, что внесение твёрдых минеральных удобрений локально способом (опыт №1) позволило повысить урожайность на 7% по сравнению с контролем при увеличении средней массы клубней на 10,5%, в свою очередь использование технологии совместного локального внесения твердых минеральных удобрений и гумата калия (опыт №2) позволило повысить урожайность на 16,3% с увеличением средней массы клубней на 26,2%.

Выводы по 4 главе

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что равномерность подачи удобрений дозирующим устройством наблюдается при частоте вращения шнека 50 об/мин и площади проходного сечения 350 мм², что соответствует подачи дозирующего устройства 163,51 кг/ч.

2. Установлено, что большая часть удобрений распределяется в диапазоне от 100 до 200 мм при этом значения количества гранул на данных участках колеблется для каждой из норм внесения не превышает 3%, при этом на крайних участках (50 и 250 мм) равномерность распределения гранул составляет 13,8%, что соответствует агротехническим требованиям.

3. Установлено, что основное количество минеральных удобрений располагается внизу гребня на глубине 150-250 мм. Также благодаря рассеивателю с разнонаправленными зубьями обеспечивается распределение гранул по глубине гребня за счет его вращения и заглубления разнонаправленных зубьев в почву.

4. Установлено, что внесение твёрдых минеральных удобрений локальным способом позволило повысить урожайность на 7% по сравнению с контролем при увеличении средней массы клубней на 10,5 %, в свою очередь использование технологии совместного локального внесения твёрдых минеральных удобрений и гумата калия позволило повысить урожайность на 16,3 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 %.

ГЛАВА 5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ГРЕБНИ

Расчет экономических показателей осуществлялся согласно методике представленной в ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.». Вычисления проводили в удельных единицах выработки, то есть на 1 гектар.

«Затраты труда на внесение удобрений определяли по формуле» [30, с. 3]:

$$Z_{\text{тp}i} = \frac{\lambda_{\text{мex}i}}{W_{\text{cm}i}}, \quad (5.1)$$

где $\lambda_{\text{мex}i}$ – «количество механизаторов, обслуживающих машину для дифференцированного внесения удобрений, чел.»;

$W_{\text{cm}i}$ – «производительность за 1 ч сменного времени, га»

«Прямые эксплуатационные затраты, приходящиеся на внесения удобрений $Z_{\text{экс}i}$, руб/га. определяли по формуле» [30, с. 3]:

$$Z_{\text{экс}i} = Z_{\text{o.т}i} + Z_{\text{гсм}i} + Z_{\text{p}i} + A_i, \quad (5.2)$$

где $Z_{\text{o.т}i}$ – «затраты на оплату труда механизаторов, руб/га.»;

$Z_{\text{гсм}i}$ – «затраты на горюче-смазочных материалов (ГСМ), руб/га.»;

$Z_{\text{p}i}$ – «затраты на ТО и ремонт, руб/га.»;

A_i – «амортизационные отчисления, руб/га.»

«Затраты на оплату труда механизаторов определяли по формуле» [30, с. 3]:

$$Z_{\text{o.т}i} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{мex}}} \lambda_k \tau_k K_3}{W_{\text{cm}i}}, \quad (5.3)$$

где λ_k – «количество механизаторов и вспомогательных рабочих, чел.»;

τ_k – «часовая оплата труда механизаторов, руб/га.»;

K_3 – «коэффициент, социальных отчислений.»;

$n_{\text{мex}}$ – «число механизаторов, чел.»

«Затраты на оплату ГСМ определяли по формуле» [30, с. 3]:

$$Z_{\text{гсм}i} = g_{\text{т}i} \cdot \Pi_{\text{т}} \cdot K_{\text{см.м}}, \quad (5.4)$$

где $g_{\text{т}i}$ – «удельный расход дизельного топлива, кг /га.»

C_T – «цена дизельного топлива, руб/кг;»

$K_{см.м}$ – «коэффициент учета цены смазочных материалов.»

«Затраты на ТО и ремонт определяли по формуле» [30, с. 3]:

$$Z_{pi} = \frac{\sum_{j=1}^{n_M} B_{mj} K_{pj}}{W_{эки}} \cdot 10^{-4}, \quad (5.5)$$

где n_M – «единицы техники, в составе МТА, шт.;»

B_{mj} – «стоимость техники, руб;»

K_{pj} – «отчисления на ТО и ремонт техники на 100 ч, принятый, %;»

$W_{эки}$ – «часовая производительность техники, га.»

«Часовую эксплуатационную производительность определяли по формуле» [30, с. 4]:

$$W_{эки} = W_{oi} \left(\frac{1}{K_{смj}} + \frac{1}{K_{Гj}} - 1 \right)^{-1}, \quad (5.6)$$

где W_{oi} – «часовая производительность техники, га;»

$K_{смj}$ – «коэффициент использования сменного времени;»

$K_{Гj}$ – «коэффициент готовности.»

«Амортизацию определяли по формуле» [30, с. 4]:

$$A_i = \frac{1}{W_{эки}} \sum_{j=1}^{n_M} \frac{B_{mj}}{R_{mj}}, \quad (5.7)$$

где R_{mj} – «амортизационный ресурс, ч.»

«Совокупные затраты на внесение удобрений, руб/га, определяли по формуле» [30, с. 4]:

$$Z_{совi} = Z_{эки} + I_{вми}, \quad (5.8)$$

где $I_{вми}$ – «издержки на приобретение удобрений, руб.»

«Издержки на приобретение удобрений определяли по формуле» [30, с. 4]:

$$I_{вми} = \sum_{f=1}^{n_{в.м}} g_f C_{в.мf}, \quad (5.9)$$

где g_f – «удельный расход f -го удобрения, кг /га;»

$C_{в.мf}$ – «цена единицы f -го удобрений, руб/кг;»

$n_{в.м}$ – «число наименований удобрений, шт.»

«Совокупные затраты за годовой условный объем внесения удобрений, руб, определяли по формуле» [30, с. 5]:

$$Z_{\text{сов.рi}} = Z_{\text{совi}} F_y^{\Gamma}, \quad (5.10)$$

где F_y^{Γ} – «годовой условный объем работ по внесению удобрений, га.»

«Годовую экономию совокупных затрат в расчете на годовой фактический объем работ по внесению удобрений, руб, определяли по формуле» [30, с. 5]:

$$Э_{\text{г.техj}} = Z_{\text{сов.техj}}^{\Gamma.\text{a}} - Z_{\text{сов.техj}}^{\Gamma.\text{н}}, \quad (5.11)$$

где $Z_{\text{сов.техj}}^{\Gamma.\text{a}}$, $Z_{\text{сов.техj}}^{\Gamma.\text{н}}$ – «совокупные затраты в расчете на годовой фактический объем работы на внесение удобрений по аналогу и разработанному культиватору-подкормщику, руб.»

«Годовую экономию совокупных затрат в расчете на годовой условный объем работ на внесение удобрений, руб, определяли по формуле» [30, с. 6]:

$$Э_{\text{г.рi}} = Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{a}} - Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{н}}, \quad (5.12)$$

где $Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{a}}$, $Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{н}}$ – «совокупные затраты в расчете на годовой условный объем работ на внесение удобрений по аналогу и разработанному культиватору-подкормщику, руб.»

«Снижение себестоимости внесения удобрений разработанным культиватором-подкормщиком, %, определяли по формуле» [30, с. 6]:

$$m_{\text{ci}} = \frac{Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{н}} - Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{a}}}{Z_{\text{сов.рi}}^{\Gamma.\text{a}}} 10^2, \quad (5.13)$$

«Снижение потребности в механизаторах и вспомогательных рабочих для выполнения годового объема работ по внесению удобрений в гребни, %, определяли по формуле» [30, с. 6]:

$$m_{\text{мехi}} = \frac{\lambda_{\text{мехi}}^{\Gamma.\text{н}} - \lambda_{\text{мехi}}^{\Gamma.\text{a}}}{\lambda_{\text{мехi}}^{\Gamma.\text{a}}} 10^2, \quad (5.14)$$

где $\lambda_{\text{мехi}}^{\Gamma.\text{н}}$, $\lambda_{\text{мехi}}^{\Gamma.\text{a}}$ – «годовая потребность в механизаторах и вспомогательных рабочих для выполнения годового объема работ по

внесению удобрений в гребни по разработанному культиватору-подкормщику и аналогу, чел.»

Показатели экономической оценки приведены в таблицах 5.1-5.3.

Таблица 5.1 – «Показатели экономической оценки внесения удобрений»
[30, с. 8]

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	новой технике
Вид механизированной работы	внесение удобрений в гребень	внесение удобрений в гребень
Марка техники (состав МТА)	МТЗ-80 + КОН-2,8	МТЗ-1221 + культиватор-подкормщик
Производительность МТА за 1 ч сменного времени, га/ч	1,10	2,84
Удельный расход дизельного топлива, кг/га	5,70	6,16
Совокупные затраты, руб/га, в том числе:	816,42	647,76
- затраты на оплату труда	71,90	27,85
- затраты на ГСМ	383,04	413,95
- затраты на ТО и ремонт	139,80	79,65
- амортизация	221,68	126,31
Затраты труда, чел.-ч/га	0,91	0,35

Анализ таблицы 5.1 показал, что культиватор-подкормщик имеет высокую производительность в сравнении с культиватором окучником растениепитателем КОН-2,8 за счет увеличения объема бункера и уменьшения времени загрузки удобрений. В результате увеличения производительности совокупные затраты в расчете на 1 гектар ниже, чем у культиватора КОН-2,8 на 20,65%, а затраты труда 61,53%.

Таблица 5.2 – «Показатели ресурсосбережения» [30, с. 8]

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	новой технике
Совокупные затраты на годовой объем работы, руб	229414,02	182020,56
Годовой объем внесения удобрений в гребни, га	281	281
Совокупные затраты на годовой объем внесения удобрений в гребни, руб	3109664,02	3230870,56
Потребность в капиталовложениях, руб	3339078,04	3412891,12
Потребность в механизаторах и вспомогательных рабочих, чел.	3	2
Потребность в дизельном топливе, кг	1601,70	1730,96

Анализ таблицы 5.2 показал, что совокупные затраты на условный годовой объем работ сократились на 47393,46 рублей за счет уменьшения количества агрегатов для внесения удобрений в гребни с 2 у культиваторов КОН-2,8 до 1 у разработанного культиватора-подкормщика.

Таблица 5.3 – «Показатели сравнительной экономической эффективности на объем внесения удобрений в гребни» [30, с. 8]

Наименование показателя	Значение показателя по новой технике
Годовая экономия совокупных затрат, руб	47393,46
Снижение себестоимости, %	55,38

Анализ таблицы 5.3 показал, что несмотря на увеличение капиталовложений, расхода топливо-смазочных материалов и удобрений за счет увеличения производительности культиватора-подкормщика снижение себестоимости работ составило 55,38%.

Выводы по 5 главе

1. Установлено, что культиватор-подкормщик имеет высокую производительность в сравнении с культиватором окучником растениепитателем КОН-2,8 за счет увеличения объема бункера и уменьшения времени загрузки удобрений. Совокупные затраты на условный годовой объем работ сократились на 47393,46 рублей за счет уменьшения количества агрегатов для внесения удобрений в гребни с 2 у культиваторов КОН-2,8 до 1 у разработанного культиватора-подкормщика.

2. В результате увеличения производительности культиватора-подкормщика совокупные затраты на внесение удобрений в гребни на 1 гектар ниже, чем у культиватора КОН-2,8 на 20,65%, а затраты труда 61,53%, снижение себестоимости работ составило 55,38%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа установлено, что перспективным направлением развития культиваторов-подкормщиков является совершенствование дозирующих устройств и сошников для внесения минеральных удобрений в гребни.

2. Теоретически определено, что рациональными параметрами дозирующего устройства являются площадь выгрузного окна в диапазоне от 100 мм² до 600 мм² и частота вращения составного шнека от 40 до 70 об/мин. Применение сошника оборудованного рассеивателем с разнонаправленными зубьями позволяет обеспечивать равномерное распределение гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня. Моделирование расстояния отскока гранул удобрений позволило установить, что рациональными параметрами рассеивателя являются: угол наклона зубьев 5...60; высота расположения зуба при соударении 0,15м.

3. Экспериментальными исследованиями установлено, что равномерность подачи удобрений дозирующим устройством наблюдается при частоте вращения шнека 50 об/мин и площади проходного сечения 350 мм², что соответствует подачи дозирующего устройства 163,51 кг/ч. Установлено, что использование сошника, оборудованного рассеивателем с разнонаправленными зубьями, обеспечивает равномерность по ширине борозды 13,8%, что соответствует агротехническим требованиям.

4. Внесение твердых минеральных удобрений в гребни позволило повысить урожайность на 16,3 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 %. В результате совокупные затраты культиватора-подкормщика на внесение удобрений в гребни на 1 гектар ниже, чем у культиватора КОН-2,8 на 20,65%, снижение себестоимости работ составило 55,38%.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Целесообразно продолжить научные исследования в направлении совершенствования рабочих органов машин для локального внесения

минеральных удобрений в гребни на основе составления электронных карт-заданий.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности функционирования машин для локального внесения минеральных удобрений в гребни необходимо использовать системы точного земледелия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин, Н.С. Локальное внесение удобрений / Н.С. Авдонин, С.А. Хак, Л.И. Фроловская // Агрехимия. – № 11. – 1973. – С. 79-85.
2. Анализ конструктивных свойств чизельных культиваторов / Л. М. Нургалиев, А. С. Ибраев, Б. Т. Алибаев, Е. С. Шамина // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 242.
3. Анализ конструкций туковысевающих аппаратов / Н. В. Липатов, М. Ю. Костенко, О. А. Тетерина, В. С. Тетерин // Научно-технологические приоритеты в развитии агропромышленного комплекса России : Материалы 73-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 21 апреля 2022 года. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 69-74.
4. Андреев К.П. Влияние неравномерности внесения удобрений на урожайность // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Рязанский гос. агротехнологический ун-т им. П.А. Костычева. 2017. С. 13-17.
5. Андреев К.П. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / Андреев К.П., Макаров В.А., Шемякин А.В., Костенко М.Ю. // Вестн. Рязанского гос. агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. 2017. № 1. С. 54-59.
6. Белых, С. А. Новые методы дифференцированного внесения удобрений / С. А. Белых, В. Б. Любченко, С. В. Митрофанов // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2016. – № 10. – С. 138-145.
7. Блажинский Г. Внесение сыпучих минеральных удобрений штанговыми распределителями с гибким шнеком /Г. Блажинский. -Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук –Горки. -1984.-20 с.

8. Боева Т.В., Байрамбеков Ш.Б., Соколов А.С. Влияние органических удобрений на урожайность и качество картофеля в условиях Астраханской области // Агрэкоинфо. –2019. – № 1 (35). – С. 3.
9. Боева, Т.В. Влияние органических удобрений на урожайность и качество картофеля в условиях Астраханской области / Т.В. Боева, Ш.Б. Байрамбеков , А.С. Соколов // АГРОЭКОИНФО. – 2019. – № 1 (35). – С. 3.
10. Борисов, В.А. Удобрение картофеля и овощей / В.А. Борисов, В.А. Сухоиванов. – М.: Россельхозиздат. – 1974. – 72 с.
11. Будин, К.З. Повышение эффективности производства и хранения картофеля / К.З. Будин. Науч. – техн. Бюл. ВИР. – 1984. – вып. 138. – С. 10-13.
12. Булаев, В.Е. Эффективность ленточного внесения основного минерального удобрения при посадке картофеля / В.Е. Булаев, Е.А. Каменева, В.П. Кустарев / Бюл. ВИУА. – 1974. – № 18. – С. 44-51.
13. Вахромеев, Ю.И. Локальное внесение удобрений / Ю.И. Вахромеев, Б.А. Нефедов и др. // Росагропромиздат. – М., 1990. – 141 с.
14. Вильдфлуш, Р.Т. Миграция питательных веществ в почве и особенности питания растений при локальном внесении основного минерального удобрения / Р.Т. Вильдфлуш // Бюл. ВИУА. – 1974. – № 18. – С. 64-79.
15. Витковская, С. Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов / С. Е. Витковская. – Санкт-Петербург : Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2011. – 52 с.
16. Витковская, С. Е. Оценка пространственной неоднородности агрохимических параметров почвы в пределах делянки полевого опыта / С. Е. Витковская, А. А. Изосимова, П. В. Лекомцев // Агрохимия. – 2010. – № 3. – С. 75-82.
17. Влияние микроэлементов в хелатной форме при выращивании клубнеплодов картофеля и топинамбура / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина [и др.] // Вестник Воронежского

государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14, № 1(68). – С. 61-70.
– DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_1_61. – EDN BTEORJ.

18. Влияние средообразующих факторов на урожайность картофеля / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина [и др.] // *Агроинженерия*. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 4-10. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-5-4-10. – EDN TMSOOM.

19. Выращивание картофеля и топинамбура с применением микроэлементов / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина, В. А. Чайка // *Вестник ИрГСХА*. – 2022. – № 108. – С. 41-52. – DOI 10.51215/1999-3765-2022-108-41-52. – EDN ZZMJPT.

20. Гаджиев, П. И. Агрегат для уменьшения потерь урожая картофеля и снижения эрозии почвы / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // *Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященные памяти д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича, Рязнь, 28 февраля 2023 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ/ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА» АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ*. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 12-19.

21. Гаджиев, П. И. Анализ современных технологий возделывания картофеля / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, С. В. Костин // *Перспективы инновационного развития и прогресс в агротехнических и энергетических системах : МАТЕРИАЛЫ МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ*, Балашиха, 09 декабря 2021 года. – Балашиха: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. – С. 10-14. – EDN VMJSKC.

22. Гаджиев, П. И. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля / П. И. Гаджиев, А. П. Башкиров, Г. Г. Рамазанова [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 3(57). – С. 41-47. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

23. Гаджиев, П. И. Модель формирования рационального парка машин для сельскохозяйственных работ / П. И. Гаджиев, Н. В. Романова, К. В. Кулаков [и др.] // . – 2022. – № 9. – С. 38-40. – EDN LMUIOC.

24. Гаджиев, П. И. Теоретическое исследование подкапывающего лемеха картофелеуборочного агрегата для снижения потерь урожая и эрозии почвы / П. И. Гаджиев, Е. В. Шестакова, Г. Г. Рамазанова // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 2. – С. 263-278. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202202.263-278. – EDN XLQTQK.

25. Гаджиев, П. И. Фрезерование почвы под посадку картофеля / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2021. – 94 с. – ISBN 978-5-4365-7821-7. – EDN OUMELI.

26. Гайбарян М. А. Модернизация технического средства для внутрипочвенного внесения органоминеральных удобрений / М. А. Гайбарян, В. С. Тетерин, В. И. Сидоркин, Н. Н. Гапеева // Технический сервис машин. – 2020. – № 2(139). – С. 12-20. – DOI 10.22314/2618-8287-2020-58-2-12-20.

27. Гапич, Д. С. Способы разрушения почвенного пласта с минимальными затратами энергии / Д. С. Гапич, Р. А. Косульников, С. А. Чумаков // Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию окончания Сталинградской битвы, Волгоград, 31 января – 02 2018 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2018. – С. 246-252. – EDN OXIXSN.

28. Гапич, Д. С. Структурирование функциональных зон рабочих органов чизельных орудий / Д. С. Гапич, В. А. Моторин, Д. Б. Курбанов //

Орошаемое земледелие. – 2019. – № 4. – С. 51-54. – DOI 10.35809/2618-8279-2019-4-11. – EDN МКЖНОО.

29. Горячкина И. Н. Анализ технических средств для внесения биологических удобрений и биопрепаратов / И. Н. Горячкина, М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович [и др.] // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 124-128.

30. ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки – М.: Стандартинформ, 2018 – 15 с.

31. Даниленко Ж. В., Шемякин А. В., Ерочкин А. Д. и др. Координатное внесение удобрений на основе полевого мониторинга // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 4(40). С. 167-172.

32. Дорохов А. С. Картофелесажалка для клонового семеноводства с автоматизированной системой обработки клубней / А. С. Дорохов, Н. С. Панферов, В. С. Тетерин, Е. В. Пестряков // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 7(277). – С. 16-21. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-16-20.

33. Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В. Интеллектуальная технология формирования системы удобрения // Техника и оборудование для села. 2020. N7(277). С. 2-5.

34. Завалин А.А., Чеботарь В.К., Ариткин А.Г., Сметов Д.Б. Биологизация минеральных удобрений как способ повышения эффективности их использования // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №9. – С. 45-47.

35. Замотаев, А.И. Интенсивная технология производства картофеля. Уборка картофеля / А.И. Замотаев, В.М. Лубенцов, А.С. Воловик и др. – М.: Росагропромиздат. – 1989. – С. 187-205.

36. Замотаев, А.И. Посадка картофеля в предварительно нарезанные гребни / А.И. Замотаев, В.И. Черников // Картофель и овощи. – 1974. – №1. – С. 16.

37. Зернов, В. Н. Обоснование конструкции и режима работы ленточного элеватора автоматической посадочной машины / В. Н. Зернов, А. Г. Пономарев // Картофель и овощи. – 2022. – № 12. – С. 33-37. – DOI 10.25630/PAV.2022.37.63.007.

38. Изыскание рабочих органов и типов машин для ухода за картофелем при экологическом земледелии / Э. В. Заяц, А. И. Филиппов, В. Н. Салей, П. В. Заяц // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию А.П.Тарасенко, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, Воронеж, 10 января 2017 года / Под общей редакцией Н.И. Бухтоярова, В.И. Орбинского, И.В. Баскакова. Том Часть II. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2017. – С. 219-227.

39. Исследование влияния ширины междурядья на урожайность при возделывании продовольственного картофеля / В. И. Старовойтов, А. В. Коршунов, О. А. Старовойтова [и др.] // Наука в центральной России. – 2021. – № 3(51). – С. 40-47. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-3-40-47. – EDN FNBAУВ.

40. Исследование крошения почвы при её предпосадочной подготовке к последующей комбайновой уборке картофеля / П. И. Гаджиев, М. С. Шикалов, Г. Г. Рамазанова, А. И. Алексеев // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 4(262). – С. 20-23. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-4-20-23.

41. Исследование работы почвообрабатывающей фрезы с зубчатым лезвием ножей / П. И. Гаджиев, В. И. Славкин, А. И. Алексеев [и др.] // Вестник

Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2020. – № 1(95). – С. 14-18. – DOI 10.34677/1728-7936-2020-1-14-18.

42. Калугин, Д. С. Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров дозатора туковысевающего аппарата для подкормки пропашных культур: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Калугин Денис Сергеевич. – зерноград, 2016. – 157 с.

43. Калугин, Д. С. Сравнительные испытания туковысевающих аппаратов / Д. С. Калугин, Н. Е. Руденко, Е. В. Кулаев // Научное обозрение. – 2016. – № 3. – С. 59-62.

44. Кирюшен, В.И. Экологические основы земледелия. М. Колос, 1996. – 367 с.

45. Колчин, Н. Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, С. Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 14-16. – DOI 10.25630/PAV.2019.48.28.002.

46. Колчин, Н. Н. Новая техника для картофелеводства / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 26-29. – DOI 10.25630/PAV.2019.77.31.006.

47. Комбинированные культиваторы для дифференцированной обработки почвы в системе точного земледелия / М. Н. Чаткин, С. Е. Федоров, М. В. Бычков [и др.] // Сельский механизатор. – 2022. – № 12. – С. 2-3. – DOI 10.47336/0131-7393-2022-12-2-3-14. – EDN DQONDX.

48. Компьютерные исследования рабочего органа в программном комплексе FLOWVISION / С. Г. Мударисов, А. В. Ардисламова, Д. Д. Ардисламов [и др.] // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники : материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной

120-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки БАССР, профессора Александра Петровича Ланге, Уфа, 24–25 ноября 2016 года. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2016. – С. 233-239.

49. Коршунов, А.В. Картофель России. т. 2. Технология возделывания / под редакцией А.В. Коршунова. М.: ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ». – 2003. – 321 с.

50. Коршунов, А.В. Управление урожаем и качеством картофеля / А.В. Коршунов. – М., 2001. – 369 с.

51. Костенко М. Ю. Теоретическое обоснование параметров рабочих органов разбрасывателя центробежного типа / М. Ю. Костенко, М. А. Гайбарян, В. С. Тетерин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 2(284). – С. 16-20. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-2-16-20.

52. Костенко, М. Ю. Дифференцированное-дробное внесение удобрений при производстве картофеля в ООО "Авангард" Рязанского района / М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов, И. В. Егорова, В. С. Тетерин // Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященной 80-летию д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича 27 января 2022 года, Рязань, 27 января 2022 года / Министерство сельского хозяйства РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 42-47.

53. Костенко, М. Ю. К вопросу совершенствования гребнеобразующего культиватора-подкормщика / М. Ю. Костенко, В. С. Тетерин, Н. В. Липатов, А. С. Терентьев // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 2(296). – С. 10-14. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-2-10-14.

54. Косульников, Р. А. Почвообрабатывающее орудие с рабочими органами принудительного вибрационного типа / Р. А. Косульников, Д. С. Гапич, С. Ю. Фандеев // Развитие АПК на основе принципов рационального

природопользования и применения конвергентных технологий : Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета, Волгоград, 30 января – 01 2019 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2019. – С. 148-153. – EDN ZVCYGK.

55. Кузнецов, А.Е. Уход за посадками / А.Е. Кузнецов // Эффективные технологии производства картофеля: Прилож. к ж. “Агро XXI”. М.: Агрорус. –1999. – С. 13-14.

56. Кучаев, Р. Л. Теоретическая И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ПОЛОСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ / Р. Л. Кучаев, С. Г. Мударисов // Наука молодых – инновационному развитию АПК : МАТЕРИАЛЫ VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, Уфа, 08 декабря 2015 года. Том Часть 1. – Уфа: башкирск, 2015. – С. 302-306.

57. Лачуга Ю.Ф. Стратегия машинно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции России на период до 2010 года / Ю.Ф. Лачуга, Е.И. Назин, С.Г. Митин и др. – М.: ВИМ. – 2003. – 64 с.

58. Личман, Г.И. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия / Г.И. Личман, С.А. Белых, А.Н. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. N4. С. 4-9.

59. Макаров, В.А. Технические средства для внесения удобрений / В.А. Макаров, М.С. Кулешов, О.И. Журавлева // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: сб. науч. тр. / ФГБНУ ВНИМС. – Рязань: ВНИМС, 2015. - С.

60. Манохина, А.А. Влияние сочетания технологических приемов на урожайность и качество клубней картофеля / А.А. Манохина, О.А. Старовойтова // В сб.: Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства материалы

международной научнопрактической конференции, посвящ. 100-летию кафедры схм агроинженерного факультета Воронежского ГАУ имени императора Петра I. Воронежский ГАУ им. Императора Петра I. – 2015. – С. 119-124.

61. Математическая модель формирования рационального парка машин для сельскохозяйственных работ / П. И. Гаджиев, К. В. Кулаков, Г. Г. Рамазанова [и др.] // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2022. – № 41(46). – С. 99-103. – EDN ALNPMC.

62. Матюк, Н.С. Действие различных систем удобрения и приемов обработки дерново-подзолистой почвы на содержание гумуса, элементов / Н.С. Матюк, В.А. Шевченко // Плодородие. – 2017. – № 1 (94). – С. 26-29.

63. Матюк, Н.С. Изменение плодородия при разных технологиях обработки почвы питания и урожайность культур севооборота / Н.С. Матюк, В.А. Николаев, Л.И. Щигрова // Агрехимический вестник. – 2019. – № 2. – С. 13-16.

64. Матюк, Н.С. Оптимальные параметры пахотного слоя почвы и способы их поддержания в современной земледелии / Н.С. Матюк, Ф.А. Цвирко, В.А. Шевченко // Плодородие. – 2004. – № 1. – С. 33.

65. Матюк, Н.С. Урожайность культур и плодородие почвы в зависимости от её обработки и удобрения Зоде. / Н.С. Матюк, В.Д. Полин, Е.Д. Абражкина, В.А. Шевченко, Осама // Плодородие. – 2008. – № 1 (40). – С. 38-40.

66. Милюткин, В. А. Внутрипочвенное внесение удобрений агрегатом XTENDER с культиватором CENIUS TX при высокоэффективном влагонакоплении / В. А. Милюткин, В. Э. Буксман // Аграрная наука - сельскому хозяйству : сборник статей: в 3 книгах, Барнаул, 07–08 февраля 2017 года / Алтайский государственный аграрный университет. Том Книга 3. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2017. – С. 41-43.

67. Милюткин, В. А. Высокоэффективный агрегат для внутрипочвенного внесения удобрений XTender с культиватором Cenius - TX

(AMAZONEN-Werke, АО "Евротехника") в технологиях No-Till, Mini-Till и гребне-рядовых / В. А. Милюткин, В. Э. Буксман // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК : Материалы XIV Международной научной конференции, Брянск, 24–26 мая 2017 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2017. – С. 488-493.

68. Митрофанов, С. В. К вопросу разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений / С. В. Митрофанов, С. А. Белых, Д. А. Благов [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2020. – № 1(2). – С. 141-150.

69. Митрофанов, С. В. Цифровые технологии в проектировании систем удобрения в сельскохозяйственных предприятиях / С. В. Митрофанов, Д. А. Благов, В. С. Никитин, С. А. Белых // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 7(265). – С. 14-17. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-7-14-16.

70. Моделирование процесса износа рабочих органов чизельного плуга / В. А. Моторин, Д. С. Гапич, И. Б. Борисенко, Д. Б. Курбанов // Трение и износ. – 2020. – Т. 41, № 1. – С. 95-103. – EDN VLLFEE.

71. Мударисов, С. Г. Анализ методов моделирования взаимодействия рабочих органов и колес машин с почвой / С. Г. Мударисов, И. А. Гайнуллин, Р. Ю. Багаутдинов // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК : материалы международной научно-практической конференции в рамках XXXI Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2021», Уфа, 23–26 марта 2021 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ; МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН; ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»; ООО «БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ». Том Часть 2. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2021. – С. 100-106.

72. Мударисов, С. Г. Моделирование в агроинженерии / С. Г. Мударисов. – Москва, Берлин : ООО "Директмедиа Паблишинг", 2021. – 216 с. – ISBN 978-5-4499-2506-0.

73. Обоснование дифференцированных параметров рабочих органов культиватора для предпосевной обработки почвы / М. Н. Чаткин, С. Е. Федоров, М. В. Бычков, А. А. Жалнин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : материалы Международной научно-практической конференции, Саранск, 24–25 ноября 2021 года. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2022. – С. 37-41. – EDN НУНКFG.

74. Обоснование параметров комкоразрушающего битерного барабана машины для предпосадочной подготовки почвы к комбайновой уборке картофеля / П. И. Гаджиев, М. С. Шикалов, Г. Г. Рамазанова, А. И. Алексеев // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 8(266). – С. 15-18. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-8-15-18.

75. Омельченко А.А. О некоторых теоретических предпосылках к расчету винтовых транспортеров/А.А. Омельченко, Л.М. Куцин//Тракторы и сельхозмашины – 1984. - №12. – С.22...24.

76. Определение диссипативных характеристик почвенного фона / Р. А. Косульников, Д. С. Гапич, Е. А. Назаров [и др.] // Сельский механизатор. – 2020. – № 12. – С. 12-13. – EDN RMSZXF.

77. Особенности расчета массово-упругих характеристик вибратора рабочего органа почвообрабатывающего орудия / Р. А. Косульников, Д. С. Гапич, Е. А. Назаров, А. Ю. Попов // Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий : материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой отечественной войне 1941-1945 гг., Волгоград, 29–31 января 2020 года. Том 3.

– Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2020. – С. 273-279. – EDN DMICBY.

78. Оценка неоднородности агрохимических показателей почвы и параметров урожая в полевом опыте / С. Е. Витковская, А. А. Изосимова, Т. П. Шидловская, П. В. Лекомцев // Материалы координационного совещания и научной сессии Агрофизического института Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, 24–26 марта 2009 года. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 89-92.

79. Панферов, Н. С. Разработка лабораторного стенда для исследования рабочих органов распределителей удобрений центробежного типа / Н. С. Панферов, В. С. Тетерин, С. А. Пехнов, Д. Г. Сухоруков // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 7(277). – С. 26-29. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-26-29.

80. Пат. 110589 Российская Федерация, МПК А01С 15/08, А01С 17/00. Рядковый туковысевающий аппарат / Фирсов А. С., Голубев В. В., Руда Д. М. – № 2011121476/13; заявл. 27.05.2011; опубл. 27.11.2011, Бюл. № 33. – 9 с.

81. Пат. 2454058 Российская Федерация, МПК А01С 15/00, А01С 7/00. Туковысевающий аппарат для точного земледелия / Ларионов М. А., Личман Г. И., Батурин В. А. – № 2011107583/13 ; заявл. 28.02.2011 ; опубл. 28.02.2001, Бюл. № 18. – 7 с.

82. Пат. 2472334 Российская Федерация, МПК А01С 7/16. Туковысевающий аппарат / Пономаренко И. Г., Татаркин Р. В., Дмитриев В. В. – № 2011127434/13 ; заявл. 04.07.2011 ; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. – 8 с.

83. Пат. 2565717 Российская федерация, МПК А01С 15/16. Туковысевающий аппарат / Смирнов В. П. – № 2013123095/13; заявл. 21.05.2013 ; опубл. 20.10.2015, Бюл. №29. – 7 с.

84. Патент 4693122 США G 06 F 19/20. Method and apparatus for calibrating a materialspreading applicator /Griffith Charles.-№830226; Заявл. 18.02.1986; Опубл. 15.09.1987 //Рефер. в ВИНТИ РЖ Такторы и с.-х. машины и орудия. – 1988. - №7.- С. 21.

85. Патент № 2612809 С Российская Федерация, МПК А01В 35/22. Рабочий орган для обработки почвы : № 2016110926 : заявл. 24.03.2016 : опубл. 13.03.2017 / И. Б. Борисенко, В. И. Пындак, Д. С. Гапич, М. А. Садовников ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ). – EDN ILVIZA.

86. Патент № 2644561 С1 Российская Федерация, МПК А01В 35/22, А01В 15/02, А01В 13/08. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия : № 2017116564 : заявл. 11.05.2017 : опубл. 13.02.2018 / И. Б. Борисенко, М. А. Садовников, П. И. Борисенко, Д. С. Гапич ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ). – EDN XOSOZW.

87. Патент № 2690431 С1 Российская Федерация, МПК А01В 35/00. Культиватор : № 2018137777 : заявл. 25.10.2018 : опубл. 03.06.2019 / Р. А. Косульников, Д. С. Гапич, А. Н. Цепляев [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ). – EDN LLVKSQ.

88. Патент № 2701676 С1 Российская Федерация, МПК А01В 35/12. Рабочий орган культиватора с генератором вибрации : № 2018146961 : заявл. 26.12.2018 : опубл. 30.09.2019 / Р. А. Косульников, Д. С. Гапич, В. А. Моторин, А. А. Карсаков ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ). – EDN RLYLVA.

89. Патент на полезную модель № 194724 U1 Российская Федерация, МПК А01В 35/32, А01В 79/00. Устройство для поверхностного рыхления почвы ультразвуком : № 2019135651 : заявл. 07.11.2019 : опубл. 19.12.2019 / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, С. И. Старовойтов [и др.] ; заявитель

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

90. Патент на полезную модель № 204465 U1 Российская Федерация, МПК А01В 13/14. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия : № 2021103635 : заявл. 20.07.2020 : опубл. 26.05.2021 / И. Б. Борисенко, Д. С. Гапич, В. А. Моторин [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет". – EDN КОЮОМЮ.

91. Писарев, Б.А. Использование семенных клубней разной крупности / Б.А. Писарев, Э.П. Смирнова // Науч. тр. НИИКХ. – М., 1970. – С. 15-23.

92. Применение микроэлементов при выращивании картофеля - предпосылки использования дронов / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина [и др.] // Агроинженерия. – 2021. – № 4(104). – С. 14-20. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-4-14-20. – EDN GADZFD.

93. Проблемные вопросы повышения энергоэффективности МТА с упруго закрепленными рабочими органами / Д. С. Гапич, В. А. Эвиев, Р. А. Косульников, С. А. Чумаков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1(49). – С. 312-318. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-01-312-318. – EDN YZKHDN.

94. Пшеченков К.А. Окучник – гребнеобразователь / К.А. Пшеченков, В.И. Старовойтов и др. А. С. СССР № 1464935. Кл А01В 13/02. Б. И. 1989. № 10.

95. Пшеченков, К.А. Интенсивная технология производства картофеля / К.А. Пшеченков. – М.: Росагропромиздат. – 1989. – 303 с.

96. Результаты испытаний чизельных рабочих органов из высокоуглеродистых сплавов / Д. С. Гапич, В. А. Моторин, Е. В. Ширяева [и др.] // Сельский механизатор. – 2019. – № 7. – С. 36-37. – EDN VIDLQQ.

97. Рекомендации по применению технологий агрохимических, агробиологических и реабилитационных мероприятий / под общей редакцией А.И. Иванова. СПб., 2009. – 208 с.

98. Самсонова, В.И. Вклад Е.А. Дмитриева в разработку проблемы опробования почв // Масштабные эффекты при исследовании почв. – М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 86-98

99. Самсонова, В.И. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв. – М.: Издательство ЛКИ. 2008. – 160 с.

100. Саранин Е.К. Изменение биологических свойств почвы при внедрении биологизированных систем земледелия // Доклады РАСХН. – 1996. – №4. – С. 24-26.

101. Саранин Е.К. Принципы биологизации земледелия Нечерноземья России // Химия в сельском хозяйстве. – 1997. – №1. – С. 6-7.

102. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665285 Российская Федерация. Программа управления системой дозирования твердых минеральных удобрений: № 2022664284: заявл. 01.08.2022: опубл. 12.08.2022 / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, А. Ю. Овчинников [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

103. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610948 Российская Федерация. Программа по определению равномерного распределения минеральных удобрений и их гранулометрического состава : № 2020666794 : заявл. 16.12.2020 : опубл. 20.01.2021 / В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. М. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

104. Секция культиватора адаптивного принципа действия / Д. С. Гапич, С. М. Головчанский, Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин // Научное обоснование стратегии развития АПК и сельских территорий в XXI веке :

материалы Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 10 ноября 2020 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 9-12. – EDN EODUOE.

105. Сибирев, А. В. Роботизированные системы в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур / А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, А. Г. Пономарев [и др.] // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021 : Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 21–22 октября 2021 года / под ред. В.В. Альта. – Новосибирск - Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, 2021. – С. 337-343. – DOI 10.26898/agroinfo-2021-337-343.

106. Скурятин Н.Ф. Четыре операции за один проход / Н.Ф. Скурятин, А.Н. Скурятин, А.С. Новицкий, А.Л. Жилияков // Сельский механизатор. 2014. № 12. С. 4-5.

107. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в овощеводстве / Р. А. Мещерякова, А. Ф. Разин, И. И. Ирков, А. М. Меньших // История науки и техники. – 2020. – № 10. – С. 13-27. – DOI 10.25791/intstg.10.2020.1217.

108. Создание устойчивой среды при выращивании картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина, В. А. Чайка // Агроинженерия. – 2020. – № 5(99). – С. 15-20. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-5-15-20. – EDN LEQLIQ.

109. Старовойтов, В.И. Автоматизация контроля качества картофеля, плодов и овощей / В.И. Старовойтов и др. ВО «Агропромиздат». – 1987. – 272 с

110. Старовойтов, В.И. Грядочная технология возделывания картофеля / В.И. Старовойтов, О.А. Павлова // Науч. тр. ВИМ – М.: 2002. – т. 141. – ч. 1. – С. 175-181.

111. Старовойтов, В.И. Инновационные грядковые технологии и технические средства для возделывания картофеля и топинамбура / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова // Земледелие. – 2015. – № 7. – С. 40-42.

112. Старовойтов, В.И. Прецизионное земледелие и цифровизация – основа органического картофелеводства / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, Н.В.Воронов, В.Б. Сапунов // В сборнике: Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвящается 115-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – С. 75-78.

113. Старовойтов, В.И. Технология производства картофеля с учетом глобального изменения климата / В.И. Старовойтов // Сборник мат-лов науч.-практич. конференц. 19-20 февраля 2009 г. в г. Чебоксары. КУП ЧР АгроИнновации. – 2009. – С. 33-34.

114. Старовойтова, О. А. Технологии внесения удобрений и применения средств защиты при возделывании картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, Н. П. Мишуров [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – 84 с. – ISBN 9785736715596.

115. Старовойтова, О. А. Техническое обеспечение внесения минеральных удобрений и средств защиты при возделывании картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина // Актуальные вопросы совершенствования систем земледелия в современных условиях: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Махачкала, 26–27 ноября 2020 года. – Махачкала: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», 2020. – С. 243-247.

116. Старовойтова, О.А. Конкуренентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля / О.А. Старовойтова, С.В. Жевора и др. МСХ, ФГБНУ Росинформагротех. – М., 2018. – 236 с.

117. Студенников, И. В. Современная технология полосовой обработки или STRIP-TILL / И. В. Студенников // Научно-практические аспекты развития АПК : Материалы национальной научной конференции, Красноярск, 12 ноября 2020 года. Том Часть 1. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 218-220.

118. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений / Н. С. Панферов, В. С. Тетерин, С. В. Митрофанов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 12(294). – С. 18-24. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.

119. Тетерина, О. А. Совершенствование машин для внесения минеральных удобрений / О. А. Тетерина, Н. А. Костенко // Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2017 : Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научной конференции. В 2-х томах, Курск, 27–28 сентября 2017 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 202-205.

120. Тимошина, Н.А. Влияние новых органоминеральных удобрений на рост и развитие, продуктивность и качество картофеля в условиях дерновоподзолистой супесчаной почвы: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук 06.01.09. Тимошина Наталья Александровна. Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства. – Москва, 2004. – 26 с.

121. Трухачев, Е. Д. Обоснование режима работы и конструктивных параметров высевающей части сеялки для посева несypучих семян кормовых растений / Е. Д. Трухачев, В. Х. Малиев // Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – № 2 (10). – С. 127–131.

122. Трухачев, Е. Д. Особенности движения несыпучего семенного материала в бункере сеялки при использовании спиралей в качестве транспортирующих средств и их производительности / Е. Д. Трухачев, В. Х. Малиев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 49. № 4–4. – С. 221–227.
123. Туковысевающие аппараты / Н. Е. Руденко, Д. С. Калугин, Е. В. Кулаев, Е. В. Герасимов. – Ставрополь : Издательство "АГРУС", 2015. – 32 с. – ISBN 978-5-9596-1124-8.
124. Умбеталиев, Н. А. Обоснование параметров рабочих органов чизельного культиватора / Н. А. Умбеталиев, Ж. И. Даулетова, Э. А. Жатканбаева // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 11-5(67). – С. 49-53.
125. Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я., Колчина Л.М. Интеллектуальные системы в сельском хозяйстве: науч. анализ. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 156 с.
126. Федотова, Л.С. Об удобрениях, модифицированных микро-и мезоэлементами / Л.С. Федотова, Н.А. Тимошина, М.А. Новиков // Плодородие. – 2004. – № 4. – С. 4.
127. Федотова, Л.С. Роль удобрений в формировании урожая и улучшении качества продукции / Л.С. Федотова, Л.А. Тимошина, М.А. Новиков // Картофель и овощи. – 2002. – № 5. – С. 11.
128. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: Россельхозакадемия, 2002. – 80 с.
129. Хампл-Мати У. Питание растений в экологическом земледелии // Земледелец. вып.1. – М.: Прогресс Лебен унд Умвольт, 1991. – 164 с.
130. Харин В.К. Равномерность работы шнекового распределителя / В.К. Харин. // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства – 1982. – №5 – С.58.

131. Чеботарь В.К., Завалин А.А., Ариткин А.Г. Применение биомодифицированных минеральных удобрений: [моногр.]. – М.:ВНИИИА, Ульяновск, 2014. – 142 с
132. Шильников И.А., Сычев В.Г. и др. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия: моногр. – М.: ВНИИА, 2008. – 340 с.
133. Шильников, И.А. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия: монография / И.А. Шильников, В.Г. Сычев и др. – М., ВНИИА, 2008. – 340 с.
134. Шмонин В.А. Состояние и тенденции развития конструкций машин для внесения минеральных (твердых) удобрений /В.А. Шмонин, Ю.П., Каюшников, М.Г. Гриценко. /Обзор. Вып.5. –М.: ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш - 1979. –24 с.
135. Щедровский, Г.П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок /Г.П. Щедровский //Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. –М.: Наука. - 1981. -С. 193 – 227.
136. Эффективность применения микроэлементов в хелатной форме в технологии выращивания картофеля сорта Колобок / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, Н. В. Воронов [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 2(99). – С. 157-164. – DOI 10.24411/0131-5226-2019-10160. – EDN RQCSFR.
137. Янчин С.К. К исследованию производительности горизонтального шнека/С.К. Янчин, В.В. Петринский //Проектирование зерноуборочных машин. – Ростов н/Д. - 1982. – С.79...83.
138. Asaf Z., Rubinstein D., Shmulevich I. Determination of discrete element model parameters required for soil tillage //Soil and Tillage Research. – 2007. – Т. 92. – №. 1-2. – С. 227-242.

139. Baysal-Gurel, F. Management of soil-borne diseases in organic vegetable production / F. Baysal-Gurel. ISE Workshop Jefferson City, Missouri, 04-05 June. – 2013. the Ohio State University. – P. 32-34
140. Chen, X., Han, X.Z., Yan, J., Lu, X.C., Hao, X.X., Wang, W., Biswas, A., Zhu-Barker, X. & Zou, W.X. Land use and mineral fertilization influence soil microbial biomass and residues: A case study of a Chinese Mollisol // *European Journal of soil biology* – 2020. – Vol. 100. – Article number: 103216 (2020).
141. Comparative assessment of discrete element methods and computational fluid dynamics for energy estimation of the cultivator working bodies / S. Mudarisov, I. Farkhutdinov, R. Aminov [et al.] // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2020. – Vol. 18, No. 2. – P. 198-206. – DOI 10.5937/jaes18-24730.
142. Evaluation of loosening and soil compaction with a working tool of tillage machines using a hydrodynamic model / S. Mudarisov, I. Farkhutdinov, A. Mukhametdinov [et al.] // *International Review on Modelling and Simulations*. – 2020. – Vol. 13, No. 6. – P. 394-399. – DOI 10.15866/iremos.v13i6.19224.
143. Hwang S.J., Nam J.S. DEM simulation model to optimise shutter hole position of a centrifugal fertiliser distributor for precise application. *Biosystems Engineering*. 2021. N204. 326-345.
144. Mak J., Chen Y., Sadek M. A. Determining parameters of a discrete element model for soil–tool interaction // *Soil and Tillage Research*. – 2012. – T. 118. – C. 117-122.
145. Marigo M., Stitt E. H. Discrete element method (DEM) for industrial applications: comments on calibration and validation for the modelling of cylindrical pellets // *KONA Powder and Particle Journal*. – 2015. – T. 32. – C. 236-252.
146. Martin, R.J. The effect of nitrogen fertilizer on the recovery of nitrogen by a potato crop / R.J. Martin // *Proceeding of Annual Conference Agronomy Society of New Zealand*. – 1995. – P. 97-104.
147. Mikheev, V. V. The methodology of modeling and optimization of technologies in crop production / V. V. Mikheev, A. G. Ponomarev, P. A. Eremin,

V. S. Mikheev // AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. – 2020. – Vol. 51, No. 3. – P. 52-57.

148. Modeling the technological process of tillage / S. G. Mudarisov, I. I. Gabitov, Y. P. Lobachevsky [et al.] // Soil & Tillage Research. – 2019. – Vol. 190. – P. 70-77. – DOI 10.1016/j.still.2018.12.004.

149. Obermayr M. et al. Prediction of draft forces in cohesionless soil with the Discrete Element Method //Journal of Terramechanics. – 2011. – T. 48. – №. 5. – C. 347-358.

150. Rusch H. P. Bodenfruchtbarkeit: eine Studie biologischen Denkes / Xanten: Organischer Landbau Verl., 2004. – 256 S.

151. Schneider, S.M. Mapping of potato yield and quality /S.M. Schneider, R.A. Boydston, S. Han, R.G. Evans // Precision agriculture'1997. – Vol. I: – 253-261 pp.

152. Schneider, S.M. Precision agriculturefor potatoes in the Pacific Northwest: Proc. / S.M. Schneider, S. Han, R.H. Campbell, R.G. Evans, S.L. Rawlins // 3rd Intl. Conf. Precision Agr. ASA–CSSA–SSSA Press, Madison,Wis., 1996. – 443-452 pp.

153. Shmulevich I. State of the art modeling of soil–tillage interaction using discrete element method //Soil and Tillage Research. – 2010. – T. 111. – №. 1. – C. 41-53.

154. Simard, R.R. Application of Precision Farming to Potato Production in Québec / R.R. Simard, M.C. Nolin, A.N. Cambouris // Better Crops. – 1998. – № 2. – 22-24 pp.

155. The Results of Laboratory Studies of the Device for Evaluation of Suitability of Potato Tubers for Mechanized Harvesting / A. Dorokhov, A. Ponomarev, V. Zernov [et al.] // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – Vol. 12, No. 4. – DOI 10.3390/app12042171.

156. Tillage implement with vibrating working body / R. A. Kosulnikov, P. V. Konovalov, D. S. Gapich, A. A. Karsakov // IOP Conference Series: Earth and

Environmental Science : 2, Volgograd, 10–11 мая 2020 года. – Volgograd, 2020. – P. 012014. – DOI 10.1088/1755-1315/577/1/012014. – EDN PJMIPM.

157. Ucgul M., Saunders C., Fielke J. M. A Method of quantifying discrete element method simulations of top soil burial from a mouldboard plough //2016 ASABE Annual International Meeting. – American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2016. – С. 1.

158. Wulkow, A. Effect of calcium and boron in potato tubers (*Solanum tuberosum*) of various cultivars differing in blackspot susceptibility. – Conference of European Association for potato research / A. Wulkow, E. Pawelzik, B. Heckl. Brasov // Potato for a changing world: 17-th triennial Conference of European Association for potato research: abstract of papers and posters. Brasov. – 2008. – P. 228-229.

159. Zhao H. et al. Applications of discrete element method in the research of agricultural machinery: A review //Agriculture. – 2021. – Т. 11. – №. 5. – С. 425.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2762212

Гребнеобразующий культиватор-подкормщик

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)**

Авторы: **Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Новиков Николай Николаевич (RU), Пехнов Сергей Александрович (RU), Сидоркин Владимир Иванович (RU)**

Заявка № 2021110486

Приоритет изобретения **14 апреля 2021 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **16 декабря 2021 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **14 апреля 2041 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Назиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2780210

Дозатор твёрдых минеральных удобрений

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Пехнов Сергей Александрович (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Панферов Николай Сергеевич (RU)*

Заявка № 2022109181

Приоритет изобретения 07 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 20 сентября 2022 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 07 апреля 2042 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 213790

СОШНИК

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Липатов Николай Васильевич (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Шемякин Александр Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Бойбобоев Набижон Гуломович (UZ), Рембалович Георгий Константинович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU)*

Заявка № 2022115755

Приоритет полезной модели 09 июня 2022 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 29 сентября 2022 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 09 июня 2032 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022665285

Программа управления системой дозирования твердых минеральных удобрений

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Дорохов Алексей Семенович (RU), Аксенов Александр Геннадьевич (RU), Овчинников Алексей Юрьевич (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Сазонов Николай Викторович (RU)*

Заявка № 2022664284

Дата поступления 01 августа 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 августа 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполнительный директор

ООО «Авангард»

Рязанского района

Рязанской области

Красников И. Г.

«15» ноября 2022 года



АКТ

испытаний машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 в ООО «Авангард» Рязанского района

Комиссия в составе: представителей ООО «Авангард» исполнительного директора Красников И. Г., агронома по картофелеводству и семеноводству Егоровой И.В., представителей ФГБОУ ВО РГАТУ заведующего кафедрой ТМ и РМ Рембаловича Г.К., профессора кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцента кафедры ТМ и РМ Безносюка Р.В. и аспирантов кафедры ТМ и РМ Липатова Н.В., Ликучева А.И. и представителя ФГБНУ ФНАЦ ВИМ старшего научного сотрудника лаборатории № 7.1 «Машинных технологий для возделывания и уборки овощных культур открытого грунта» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Тетерина В. С. составила настоящий акт о том, что машина для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 проходила испытания с ноября 2021года по ноябрь 2022 года в ООО «Авангард» Рязанского района в структурном подразделении «Подвязье».

Полевые исследования машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 велись по двум основным направлениям: проверка предшествующих теоретических и практических проработок в реальных условиях осенней нарезки гребней с дифференцированным внесением твердых минеральных удобрений с гуматом калия под картофель и сравнительная оценка агротехнических показателей и качественных показателей урожайности.

Полевые испытания показали:

1. Работоспособность и эффект от использования машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 обеспечивается при осенней нарезке гребней с дифференцированным внесением твердых минеральных удобрений с гуматом калия под картофель. Применение машины МДВУ – 3000 позволило сократить объём основного внесения минеральных удобрений в два раза (до 250 кг/га) в сравнении с технологией сплошного разбросного внесения, применяемой в хозяйстве.

2. Установлено, что на опытном участке развитие растений картофеля происходило более интенсивно, так к фазе цветения средняя высота растений картофеля на варианте опыта с ленточным внесением твердых минеральных удобрений была выше на 7,5 % по сравнению с контролем, а в варианте опыта с ленточным внесением минеральных удобрений и гумата калия данный показатель был выше на 14 % по сравнению с контролем.

3. Перед уборкой проводилась оценка структуры урожая картофеля, в ходе которой было установлено, что на варианте опыта с одновременным ленточным внесением минеральных удобрений и гумата калия наблюдалось увеличение среднего размера клубней по сравнению с контролем на 15,4%, при увеличении среднего числа клубней на 14,4%.

4. В результате уборки картофеля комбайном Grimme SE 150 – 60 урожайность сорта «Манifest» на варианте опыта с одновременным ленточным внесением минеральных удобрений и гумата калия составила 299 ц/га, что на 16,3 % выше чем урожайность полученная по технологии используемой в хозяйстве, которая составила 257 ц/га на контрольном участке.

Подписи:

Исполнительный директор ООО «Авангард»		Красников И.Г.
Агроном по картофелеводству и семеноводству ООО «Авангард»		Егорова И.В.
Заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Рембалович Г.К.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Липатов Н.В.
Старший научный сотрудник лаборатории № 7.1 «Машинных технологий для возделывания и уборки овощных культур открытого грунта» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ		Тетерин В. С.