

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н. И. Вавилова»

*На правах рукописи*

**Семенов Дмитрий Олегович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ  
ПОД ВОЗДЕЛЫВАНИЕ КАРТОФЕЛЯ  
ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ АГРЕГАТА  
ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Специальность 05.20.01 – «Технологии  
и средства механизации сельского хозяйства»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук,  
доцент Шардина Галина Евгеньевна

Саратов 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Раздел 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ .....	13
ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ ПОД ВОЗДЕЛЫВАНИЕ КАРТОФЕЛЯ .....	13
1.1 Изучение агротехнических решений.....	13
по улучшению структуры почвы под возделывание картофеля .....	13
1.2 Технологическое и техническое обеспечение подготовки .....	19
почвенной среды под возделывание картофеля.....	19
1.2.1 Обработка почвенной среды под возделывание картофеля .....	19
в индустриальном картофелеводстве .....	19
1.2.2 Технические средства для внесения удобрений .....	21
при обработке почвы.....	21
1.3 Техника, применяемая для подготовки почвенной среды .....	40
под развитие картофеля с внесением минеральных удобрений.....	40
1.4 Выводы по разделу.....	47
Раздел 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТА .....	49
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЕБНЕВИДНОГО ПОЧВЕННОГО ФОНА .....	49
С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ .....	49
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ.....	49
2.1 Технологическое обоснование конструкционной схемы агрегата .....	49
2.2 Описание принципиальной схемы разработанного агрегата .....	52
2.3 Параметры рабочих органов агрегата для формирования гребневидного	55
почвенного фона с послойным дифференцированным распределением	55
минеральных удобрений.....	55
2.4 Исследование процесса разрушения почвенного слоя.....	59
подрезающей лапой.....	59
2.5 Теоретическое обоснование процесса подготовки почвенной среды .....	63
под развитие картофеля рабочими органами агрегата .....	63
2.5.1 Исследование транспортирования удобрений пневмосистемой.....	63
2.5.2 Обоснование параметров ножей, вносящих удобрение.....	67
2.6 Исследование дифференцированного количества минеральных удобрений, .....	76
вносимых туконаправительными пластинами .....	76
2.7 Методика расчета параметров агрегата .....	87

2.8 Выводы по разделу.....	92
Раздел 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА.....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	93
3.1 Описание опытного образца агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений .....	93
3.2 Программа экспериментальных исследований.....	97
3.3 Методика проведения опытов и анализ априорной информации.....	98
3.3.1 Конструкционные и режимные параметры агрегата.....	99
3.3.2 Порядок проведения исследований.....	99
3.3 Методика определения физико-механических свойств .....	
минеральных удобрений.....	102
3.4 Методика исследования послойного распределения .....	
минеральных удобрений по слоям .....	104
3.5 Методика обработки экспериментальных данных .....	
и оценки точности измерений.....	109
3.6 Методика расчета по методу наименьших квадратов .....	113
3.7 Выводы по разделу.....	115
Раздел 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРЕГАТА .....	
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЕБНЕВИДНОГО ПОЧВЕННОГО ФОНА .....	
И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ .....	
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ.....	116
4.1 Результаты исследования физико-механических свойств гранул .....	
минеральных удобрений.....	116
4.2 Предлагаемая технология обработки почвы под развитие картофеля с дифференцированным внесением удобрений .....	117
4.3 Экспериментальные исследования агрегата .....	
для формирования гребневидного почвенного фона .....	119
с дифференцированным распределением удобрений .....	119
4.3.1 Обоснование параметров башмака.....	119
4.3.2 Экспериментальное исследование режимов работы агрегата.....	121
4.3.3 Влияние скорости воздушного потока.....	
на качество дифференцированного распределения удобрений .....	127
4.4 Влияние послойного дифференцированного распределения удобрений на урожайность картофеля .....	128
4.5 Результаты производственных испытаний опытного агрегата.....	

для формирования гребневидного почвенного фона .....	
с дифференцированным распределением удобрений .....	129
4.6 Сходимость результатов теоретических .....	
и экспериментальных исследований .....	131
4.7 Выводы по разделу.....	132
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АГРЕГАТА .....	
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЕБНЕВИДНОГО ПОЧВЕННОГО ФОНА .....	
С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ .....	
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ.....	134
5.1 Обоснование затрат и экономической эффективности агрегата.....	
для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений с аналогичным оборудованием.....	134
5.3. Выводы по разделу.....	143
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	147
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	165

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время среди огромного количества сельскохозяйственных культур важнейшее место занимает картофель, значение которого для человека сложно переоценить.

Прежде всего, картофель широко используется в пищу, из него можно приготовить сотни различных блюд [27, 49]. Благодаря высокому содержанию крахмала, картофель в значительной мере восполняет потребность человеческого организма в углеводах, так как в 1 кг его содержит до 830 ккал.

Биологическая ценность продукта – сравнительно высокое содержание минеральных солей и витамина С. Употребление в пищу 300...400 г картофеля может удовлетворить половину потребности в витамине С и предупредить ряд заболеваний [16, 95]. Такого же количества достаточно, чтобы обеспечить организм человека необходимыми ему железом и некоторыми витаминами группы В (тиамином, никотиновой кислотой).

Важность картофеля в создании продовольственной безопасности мирового сообщества подчеркнута Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО): Генеральной Ассамблеей ООН 2008 год был объявлен Международным годом картофеля.

Картофель широко применяется в животноводческой отрасли сельского хозяйства в качестве корма. В среднем с 1 га картофельного поля можно получить больше кормовых единиц, чем с 2 га, засеянных овсом, ячменем или рожью [154].

При возделывании картофеля применяются частые обработки производственных полей, снижающие количество сорной растительности на культивируемых участках. Это делает его хорошим предшественником для многих сельскохозяйственных культур и позволяет применять в качестве первой культуры при освоении целины [52, 146].

Используется картофель и в качестве сырья в различных видах производств – спиртовом, крахмало-паточном, текстильном, фармацевтическом, хлебопекарном, целлюлозно-бумажном, каучуковом и в других отраслях промышленности [5, 12].

В нашей стране на протяжении длительного периода картофель всегда был самым популярным продуктом аграрного производства. Средняя величина потребления картофеля в расчете на одного человека составляет 115 кг в год [117, 97], т. е. он у населения Российской Федерации по-прежнему находится на втором месте после хлебных изделий из продукции растениеводства.

Российская Федерация по производству картофеля, валовый сбор которого в 2011–2018 гг., варьировал от 30 до 33 млн т [93], занимает третье место в мире после Китая и Индии, обеспечивая вместе с ними более 45 % мирового объема производства.

Однако при этом следует учитывать, что в США, например, при посевных площадях картофеля, более чем в 4 раза меньших, сбор его составляет 20 млн т, что указывает на невысокую результативность картофелеводства в нашей стране.

Всего в России на долю картофеля приходится около 2,2 млн га от общей площади, культивируемых под сельскохозяйственные культуры земель. Это более 4 % общей посевной площади России и почти 8 % мировых производств картофеля.

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации [155], критерием её оценки служит удельный вес продовольствия и сельскохозяйственной продукции в общем объеме товарных ресурсов на внутреннем рынке, в котором картофель должен составлять не менее 95 %.

В соответствии с Планом деятельности Министерства сельского хозяйства РФ на 2019–2024 гг. увеличение производства сельскохозяйственного производства в хозяйствах всех категорий в 2024 г. в сравнении с 2017 г. должен составить 13,8 %, объем экспорта – 45 млрд долл.; картофеля в сельскохозяйственных организациях, включая индивидуальных предпринимателей, – до 7 млн т [116, 118].

Основные площади под картофельное производство в Российской Федерации размещены в Центральном федеральном округе, где под картофель отводится 625,2 тыс. га [12], и в Приволжском федеральном округе – 518 тыс. га. В других регионах страны, таких как Сибирский, Уральский, Южный федеральные округа,

также имеются площади под посадку, но меньшего размера, – соответственно – 369,8, 157,2, 139,3 тыс. га.

Несмотря на относительно высокие количественные показатели, эффективность отечественного картофелеводства остается по многим факторам на низком уровне, что выражается в небольшой урожайности картофеля и его не высоком товарном качестве. Объясняется это снижением его возделывания в промышленных масштабах, вследствие чего накопленный потенциал в этой отрасли в значительной степени был утрачен [26, 124]. Картофелеводство в нашей стране не является в развитой степени индустриальным – промышленное возделывание картофеля составляет менее 20 % [22] от общего валового объема производства. В большей степени выращиванием картофеля занимаются в подсобных хозяйствах населения, где преобладает преимущественно мелкотоварное производство с невысоким уровнем механизации и значительной долей ручного труда, что значительно увеличивает себестоимость картофеля и существенно снижает уровень его товарности.

Кроме того, уменьшились и объемы рационального ведения картофелеводства. Агроприемы и операции возделывания, адаптированные под региональные условия хозяйств, практически не применяются (повсеместно проводятся традиционные операции), качество подбора семенного материала под конкретные почвенно-климатические условия находится на крайне низком уровне. Научно-исследовательская обоснованность ведения картофелеводства и количественные и качественные показатели внедрения технологий интенсификации в производство картофеля снизились. Преобладание площадей возделывания в подсобных хозяйствах населения неблагоприятно сказалось на производстве и усовершенствовании средств механизации, выполняющих операций по возделыванию картофеля.

Фактическая урожайность картофеля в хозяйствах России, имеющих разную форму собственности, составляет 9...15 т/га, тогда как в развитых странах она достигает 48 т/га [93].

Очевидна необходимость повышения степени эффективности картофелеводства в нашей стране, что возможно при рациональном развитии промышлен-

ного производства данной культуры, и применения научно обоснованных технологий возделывания и технические средства их реализации, позволяющие повысить урожайность и качество товарного картофеля [23, 153].

**Актуальность темы исследования.** Россия занимает 3-е место в мире по валовому сбору картофеля, имея в 4 раза больше площадей под его возделывание, чем США, и уступает только Индии и Китаю. При урожайности картофеля 9–15 т/га Россия получает 30–33 млн т в год, США при урожайности 42–48 т/га – 20 млн т.

Один из важнейших факторов, определяющих потенциальные показатели будущих урожаев, – создание благоприятной почвенной среды для развития картофеля. В настоящее время повсеместно используется традиционная гребневая технология его возделывания. В гребнях создается нужная структура почвы, где свободно развивается корневая система, имеющая лучшие условия для вентиляции. Гребни быстрее прогреваются, давая возможность раньше приступить к весне – полевым работам.

При совершенствовании подготовки почвы для получения товарного картофеля высокого качества должны быть обоснованы применяемые виды её обработки и целесообразность использования современных способов внесения минеральных удобрений в почву для формирования необходимой растениям питательной среды.

В связи с мировой тенденцией интенсификации растениеводства применение минеральных удобрений в сельском хозяйстве стабильно растет. Рациональная обработка почвы в совокупности с эффективным внесением минеральных удобрений позволяет повысить рентабельность картофелеводства, особенно в засушливых регионах. Где эффективное развитие его зависит от способа внесения в почву минеральных удобрений и распределения их в ней, а также от видов сопутствующих операций возделывания. Таким образом, внедрение современных рабочих органов и технологий внесения удобрений под возделывание картофеля - актуальная научно-техническая задача.

Работа выполнена в соответствии с приоритетным научным направлением



ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК» (регистрационный номер 01201151795) – разработка почвообрабатывающих машин нового поколения; Концепцией развития агропромышленного комплекса Саратовской области до 2020 года (п. 3.4.3 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК»).

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами выбора технологии возделывания картофеля для регионов с засушливым климатом на почвах с малой водоудерживающей способностью, а также способов внесения удобрений занимались ученые: К.А. Пшеченков, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов, С.А. Турко, В.Г. Иванюк, Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, А.Н. Цепляев, М.Ю. Костенко, А.И. Дементьев, С.Н. Карманов, В.С. Серебренков, В.П. Кирюхин, А.В. Коршунов и др.

На основании анализа литературного обзора предложено использовать гребневую технологию возделывания картофеля с уменьшенными размерами гребней и посадкой его в почвы, а также послойно дифференцированное внесение в нее минеральных удобрений.

**Цель работы** - повышение эффективности подготовки почвенной среды под возделывание картофеля путем разработки агрегата для дифференцированного внесения минеральных удобрений в почву.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ существующих технологий и технических средств, применяемых для подготовки почвы под возделывание картофеля и определение основных направлений их совершенствования.

2. Обосновать конструктивно-технологическую схему агрегата, предназначенного для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений.

3. Теоретически обосновать конструктивно-режимные параметры агрегата с дифференцированным распределением минеральных удобрений и получить аналитические выражения для определения его производительности.

4. Экспериментально установить зависимости распределения минеральных удобрений, дифференцированных по слоям гребневидного почвенного фона, и производительность агрегата от его конструкционно-режимных параметров.

5. Определить экономическую эффективность предлагаемой технологии возделывания картофеля разработанным агрегатом.

**Объект исследования:** процесс дифференцированного распределения минеральных удобрений при формировании гребневидного почвенного фона рабочими органами предложенного агрегата.

**Предмет исследования:** закономерности влияния конструкционных и режимных параметров предложенного агрегата на распределение минеральных удобрений, дифференцированных по слоям гребневидного почвенного фона и производительность формирования гребневидного почвенного слоя.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- обосновании конструкционно-технологической схемы почвообрабатывающего и удобряющего агрегата (патент РФ на изобретение № 2671145);
- исследовании гребневидного способа подготовки почвы с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений;
- получении аналитических и экспериментальных зависимостей, описывающих распределение удобрений по слоям почвы и производительность агрегата;
- теоретическом обосновании оптимальных режимных и конструкционных параметров агрегата.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в получении аналитических выражений для определения скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, массы удобрений для послойного дифференцированного распределения в почве, скорости движения трактора, обеспечивающей послойное дифференцированное распределение минеральных удобрений. На основе проведенных теоретических и полевых исследований подготовки почвы под возделывание картофеля разработан и изготовлен агрегат, предназначенный для формирования гребневидного почвенного фона и послойного дифференцирован-

ного распределения минеральных удобрений. Опытный образец агрегата внедрен в КФХ «Родники» Калининского района Саратовской области для выращивания картофеля. Полученные результаты могут быть использованы научно-исследовательскими институтами, проектными и конструкторскими организациями при разработке агрегатов аналогичного назначения.

**Методология и методы исследования.** В работе использовали методы системного анализа и математической статистики. В теоретических исследованиях применены основные законы и методы механики, математики и статистики. Экспериментальные исследования выполнены с использованием существующих методик проведения экспериментов и действующих стандартов. Полученные данные обработаны методами математической статистики на ПК с использованием программ Microsoft Excel 2016 и Statistica 10.0.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- конструкционно-технологическая схема предлагаемого агрегата, предназначенного для формирования гребневидного почвенного фона, и технология дифференцированного распределения минеральных удобрений по слоям почвы;
- аналитические и экспериментальные зависимости, описывающие влияние конструкционно-технологических параметров агрегата на дифференцированное распределение минеральных удобрений в гребнях;
- результаты полевых исследований опытного образца агрегата для подготовки почвы под выращивание картофеля.

**Степень достоверности и апробация результатов** подтверждены достаточной сходимостью расчетных и экспериментальных данных, полученных в теоретических исследованиях и производственных условиях.

Содержание работы и основные результаты были обсуждены и получили положительную оценку:

- на Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко (г. Саратов, 2016 г.);

– на конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы СГАУ (г. Саратов, 2015–2017 гг.);

– на конференции, посвященной 100-летию Государственного аграрного университета имени императора Петра I «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (г. Воронеж, 2015 г.).

**Публикации.** По результатам исследования опубликованы 12 работ, в том числе 4-е в рецензируемых научных изданиях, включенных в «Перечень ведущих журналов и изданий ...» ВАК РФ, получено 2 патента РФ на изобретения (№2629283, № 2671145). Объем публикаций составил 4,37 печ.л., из которых лично соискателю принадлежит 1,11 печ.л.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, содержащего выводы и рекомендации, приложений и списка использованной литературы. Текст работы изложен на 178 страницах, содержит 46 рисунков, 17 таблиц, список использованной литературы включает в себя 223 наименований, в том числе 57 – на иностранном языке.

## **Раздел 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ ПОД ВОЗДЕЛЫВАНИЕ КАРТОФЕЛЯ**

### **1.1 Изучение агротехнических решений по улучшению структуры почвы под возделывание картофеля**

Создание оптимальной структуры почвы для получения высоких урожаев картофеля и улучшения его качества – сложный процесс. Он должен базироваться на биологических особенностях развития картофеля и требованиях к условиям его произрастания, учитывающим взаимодействие развивающихся клубней с другими биологическими системами и влияние на растения окружающей среды [10,13].

Аналитическое соизмерение различных факторов влияния на возделывание картофеля с почвенно-климатическими условиями позволит выявить технологические приемы и технические средства подготовки почвенной среды, благоприятной для роста клубней и повышения урожаев картофеля, а также обосновать пути совершенствования применяемых технологий и машин для обработки почвы и внесения удобрений.

В связи с вышеизложенным требуется рассмотреть жизненный цикл растений картофеля, используя те его особенности, на которые можно воздействовать при подготовке почвенной среды для развития клубней.

По своим биологическим свойствам картофель разительно отличается от большей части культурных аграрных растений, что связано с его способностью к широкому вегетативному размножению и клубнеобразованию [28, 55, 160].

В настоящее время в производстве проще и надежнее использовать размножение картофеля клубнями, несмотря на более значительное расходование семенного материала, в отличие от размножения его генеративным способом, применяемым преимущественно в селекционных исследованиях.

Для вегетативного размножения клубень картофеля как утолщенная часть подземного стебля имеет углубления, размещенные по спирали аналогично листьям на стеблях, представляющие собой их недоразвитые формы, называемые

глазками, в пазухи которых заложены группы почек. Из них в дальнейшем развивается мочковатая корневая система, характеризующаяся незначительной разветвленностью. Корневая система уже сформированного растения в основном находится в слое почвы 30...40 см с углублением некоторых ветвей до 60...70 см и состоит из ростковых, пристолонных и столонных стеблевых образований [148].

На последующих стадиях развития столонные стеблевые образования являются более светлыми и толстыми. Разрастаясь, они начинают формировать на своих молодых побегах новые клубни, которые обладают сходством по своему строению со столонами.

Вследствие более выраженной объемности подземных стеблевых образований и потребления прорастающими клубнями большого количества почвенного воздуха, в отличие от многих сельскохозяйственных культур, корневой системе картофеля для нормального развития требуются значительные пространства почвы, заполненные воздухом. Вместе с тем клубням при своем прогрессировании приходится совершать более значительные пространственные смещения окружающей почвы для освобождения места под растущие побеги [55]. При этом столонам, состоящим из относительно крупных клеток и обладающих недостаточной способностью раздвигать почвенные частицы, сложно противостоять механическим воздействиям со стороны почвы в случае ее уплотнения.

Для получения высокого урожая картофеля с клубнями правильной округлой формы требуется создание на протяжении всего роста растений мелкокомковатой, рыхлой, мало связной, с хорошо аэрируемой структурой почвенной среды [75].

Вместе с тем в Саратовской области, имеющей климатическую особенность - потенциально низкий уровень выпадения осадков в летний период и повышенный температурный режим, чрезмерная рыхлость почвы способствует значительным потерям влаги из-за увеличения диффузии и конвекции водяных паров.

Для производства товарного картофеля в засушливом климате необходимо

применять сберегающие влагу технологии и технические средства подготовки почвы, плотность которой после осенних и весенних обработок должна оставаться наиболее устойчивой к существующим почвенно-климатическим условиям и сохранять влагу для развития растений. Однако чрезмерное переувлажнение почвенной среды не менее губительно для картофеля и его урожая, как и недостаток влаги, поскольку при переизбытке орошения ухудшается необходимый воздушный режим в почве и увеличивается ее плотность.

В Саратовской области преобладают тяжелые, обладающие значительной связностью, черноземы и каштановые почвы, являющиеся по механическому составу глинистыми и суглинистыми [56, 61, 76, 99, 147]. Оптимальная плотность их, согласно существующим исследованиям, для производства товарного картофеля варьирует от 1,1 до 1,2 г/см<sup>3</sup> [64, 72, 73].

Одним из решений по улучшению рыхлости тяжелых суглинистых и глинистых почв является повышенное внесение органических удобрений. Однако в настоящее время из-за отсутствия повсеместного применения большого количества органических удобрений по причине незначительной численности животноводческих комплексов крупного рогатого скота в регионе, данное решение экономически не оправданно и практически не реализуемо на всех вероятных полях возделывания картофеля.

Другое решение, улучшающее не только показатели воздушно-водного режима почвы, но и позволяющие осуществлять регулирование температурного режима, применение различных видов мульчирования [158]. Один из них заключается в использовании послеуборочных остатков предшествующей культуры на корню. Такой вид мульчирования более эффективен [123], так как значительная часть земельных угодий Саратовской области подвержена ветровой эрозии, а также суховеям, особенно в летний период [61].

Наличие ветровой эрозии в регионе обуславливает и целесообразность подготовки почвы под возделывание картофеля рабочими органами машин, которые при выполнении почвообрабатывающих операций не осуществляют оборот почвенного пласта.

Вместе с тем требующуюся структуру почвы для возделывания картофеля необходимо обеспечивать применением таких способов агротехники, которые позволят не только создавать нужный почвенный фон, но и в дальнейшем проводить почвообрабатывающие операции по поддержанию нужного структурного состояния почвенного пласта для развития растений картофеля, поскольку почвы Саратовской области обладают высокой склонностью к уплотнению.

Благоприятную по структуре почвенную среду позволяет создать гребневая технология возделывания картофеля, что обуславливает ее широкое распространение [11, 60]. Несмотря на низкую целесообразность применения данной технологии в регионах с засушливым летним периодом на почвах с малой водоудерживающей способностью, она имеет ряд преимуществ – сформированные гребни имеют необходимую структуру почвы для свободного развития корневой системы картофеля, они быстрее прогреваются после схода снега [30, 65]. Это дает возможность раньше приступить к выполнению весенне-полевых работ, имеющих ограниченные агротехнические сроки, увеличить благоприятный начальный период формирования растений. Кроме того, упрощается и облегчается проведение следующих за посадкой агротехнических приемов, связанных с поддержанием почвы в надлежащем состоянии.

Следует отметить, что для обеспечения необходимого водного режима в почве, особенно в регионах с относительно низким уровнем выпадения осадков в летнее время, таких, как Саратовская область, предпочтительна осенняя нарезка гребней, которые в зимний период позволяют не только накапливать влагу в междурядьях, но и раньше, чем при гладкой технологии, использовать обеспеченный влагой период весны. При этом сами гребни достигают оптимального увлажнения при сходе с них снежного покрова раньше, чем с основного горизонта почвы, что с учетом негативного влияния переувлажнения почвы на развитие клубней также является весомым поводом для применения гребневой технологии.

Однако использование гребной технологии в регионах с засушливым климатом для возделывания картофеля - культуры относительно прохладного лета



[55], в настоящее время является не достаточно обоснованным и требует дальнейших исследований.

Помимо создания необходимого воздушно-водного режима почвы и ее структуры для получения высокого урожая картофеля требуется наличие в почве повышенного содержания питательных элементов. Это обусловлено биологическими особенностями картофеля, связанными с накоплением большого количества сухого вещества при относительно слабо развитой корневой системе, причем в доступном и легкоусвояемом состоянии [55]. Это требует определенного подхода к внесению минеральных удобрений, обособленного от множества сельскохозяйственных культур.

В практике при стремлении получить высокие урожаи картофеля удобрения многократно вносят в виде подкормки. Этот прием часто применяют без учета плодородия почвы и агротехники. Как показывают проведенные исследования [6, 145], при достаточном внесении в почву удобрений в период подготовки почвенной среды под возделывание картофеля, подкормка ими растений не дает положительного результата.

Вместе с тем известно, что внесение удобрений поверхностным способом [9] с последующей их заделкой в почву не позволяет создать нужный для картофеля питательный фон почвы и является менее эффективным в сравнении с глубинным размещением туков, особенно в засушливых условиях [23,58].

Созданию качественной питательной среды почвы для растений картофеля – задача, решить которую можно путем совершенствования приемов внутрипочвенного внесения удобрений, обеспечивающих лучшее взаимодействие их с почвой и растениями, а также оптимальное пространственное размещение удобрений относительно корневой системы картофеля с учетом климатических условий региона [142].

Потребность картофеля в питательных веществах, содержащихся в почве, на протяжении его вегетации не однородна [29, 55]. Картофель, в отличие от многих других сельскохозяйственных культур, в начальный период развития получает подкормку из запасов питательных веществ, отложенных в материнском клубне. Пробившиеся ростки переходят к активному питанию, хотя и в этот пери-

од не исключено использование питательных веществ из посадочных клубней. В фазу формирования ботвы картофелю требуется повышенное питание азотом. В фазу цветения начинают активно формироваться клубни, которые по химическому составу значительно отличаются от остальных органов растения – содержат гораздо меньше азота и потребляют больше фосфора и калия.

Начальный этап развития картофеля приходится на относительно более обеспеченный влагой весенний период, поэтому потребность его в питании не высока. При этом наличии удобрений желательно обеспечить вблизи материнского клубня, чтобы появляющиеся молодые побеги могли легче потреблять питательные вещества, т.е. в верхнем слое обработанного пласта почвы. Последующий рост растений будет происходить, в частности в Саратовской области, климат которой характеризуется постепенным возрастанием температурного режима при значительном уменьшении влажности почвы как из-за увеличения диффузии и конвекции водяных паров, содержащихся в почве, так и вследствие низкого уровня осадков в совокупности с сухим ветром. Иссущение верхних слоев обработанного пласта почвы с повышением температуры приводит к тому, что питательные вещества становятся малодоступными для растений картофеля, в связи с чем вносить удобрения не целесообразно. В более глубоких слоях, где к тому времени уже разрастается корневая система картофеля, влажность выше. Следовательно, обеспечивать растения картофеля минеральными удобрениями в большом количестве необходимо с увеличением глубины обработанного почвенного пласта.

Таким образом, определяющим качество урожая картофеля будет предпосадочное либо одновременное с посадкой внутрпочвенное внесение удобрений на оптимальном расстоянии от клубней и впоследствии от развивающейся внутри почвы корневой системы растений [53].

В настоящее время существует значительное количество технических средств, одновременно производящих обработку почвы, формирование гребней, внесение в обработанную почву и распределение в ней минеральных удобрений. Каждое из них, выпускаемых серийно и изготовленных экспериментально, имеет свои конструктивные и технологические преимущества и недостатки.

## **1.2 Технологическое и техническое обеспечение подготовки почвенной среды под возделывание картофеля**

### ***1.2.1 Обработка почвенной среды под возделывание картофеля в индустриальном картофелеводстве***

Несмотря на принятые правительством Саратовской области меры [92], в Приволжском федеративном округе пока не созданы крупные специализированные картофелеводческие предприятия. Некоторые хозяйства занимаются картофелеводством в незначительных объемах, так как производственные усилия направляют на основной вид деятельности и применяют при подготовке почвенной среды для возделывания картофеля сложившиеся в других регионах технологии и принятое для них техническое сопровождение.

Основную осеннюю обработку почвы производят лущением жнивья на глубину 8...12 см лемешными лущильниками, они заделывают пожнивные остатки и удобрения. Дисковые лущильники рекомендуется использовать в случаях сильного иссушения почвы, так как они обрабатывают почву на глубину 10...12 см.

Зяблевую обработку плугами на полную глубину пахотного слоя проводят, когда сорняки вновь дадут побеги – после лущения или культивации. Зяблевую обработку без предварительного лущения производят в случаях размещения картофеля после корнеплодов, овощных и других пропашных культур [50]. Безотвальное рыхление плоскорезами проводится на почвах, подверженных ветровой эрозии [66].

Раннее весеннее боронование, всегда считали обязательным приемом весенней предпосадочной обработке, применялся он на всех типах почв, считалось, что позволяет выполнить «закрытие влаги» [45, 46]. В настоящее время на суглинистых почвах выравненной зяблевой вспашки этот прием заменяют фрезерованием на глубину до 12...14 см [69]. Производят его при достижении пахотной спелости почвы, так как поверхностный слой под действием солнца пересыхает. Следствием является снижение числа операций по сравнению с тра-

диционной технологией, а также сокращение сроков проведения весенних полевых работ.

От типа почвы зависит выбор культиватора-гребнеобразователя. На почвах с тяжелым механическим составом используют фрезерные культиваторы с активными рабочими органами.

Иногда культивацию заменяют дискованием. При этом на поверхности поля образуется много почвенных комков, которые быстро высыхают и становятся прочными плохо разрушаясь даже при перепашке.

Для повышения качества подготовки почвы предпосадочную подготовку заканчивают нарезкой гребней с одновременным внесением комплексных минеральных удобрений. При традиционной технологии возделывания гребни формируют овальной формы высотой по вершине не более 8...10 см удобрения заделывают на глубину не менее 14...15 см, непосредственно вблизи расположения будущего клубня и основной части корневой системы картофеля [70].

На почвах, имеющих содержание гумуса свыше 3 %, в южных регионах России, на некоторых территориях Саратовской области применяется осенняя нарезка гребней, для создания в них мелкокомковатой структуру почвы. Весной гребни, при необходимости, оправляют, а затем высаживают в них клубни при наступлении тепла и прогрева в них почвы до 6...8 °С, минуя предпосадочную подготовку почвы. Нарезают гребни пропашным культиватором типа КОН-2,8ПМ или КРН, ими же вносят удобрения. При необходимости на культиватор возможно установить ярусные окучники для дополнительного рыхления почвы [63].

Практика показывает, что применяемые в производственной сфере картофелеводства Саратовской области классические способы и методы подготовки почвенной среды под возделывание картофеля не обеспечивают экономически приемлемой результативности, в связи с чем необходимо проведение анализа имеющихся опытных и исследовательских работ, связанных с операциями обработки почвы и внесением в нее минеральных удобрений.

### ***1.2.2 Технические средства для внесения удобрений при обработке почвы***

На сегодняшний день существует довольно значительный объем экспериментальных работ, направленных на создание обоснованного технологического и технического обеспечения подготовки почвенной среды для возделывания картофеля. Большая часть работ связана с усовершенствованием используемых на действующих машинах органов внесения удобрений при одновременном выполнении обработки почвы [42].

Представить общую картину объема существующих разработок в области подготовки воздушно-водного, структурного и питательного режимов почвы, потенциально подходящих для использования в Саратовской области, позволяет классификация машин, выполненная на основе анализа обзорных сведений о технологиях внесения удобрений и о работающих по этим технологиям устройствах и механизмах.

Классификация (рисунок 1.1) наглядно показывает применяемые направления в проектировании устройств для внесения удобрений при обработке почвы, позволяет сделать их сравнительный анализ и выявить машины необходимые для решения существующих задачи в данной области сельского хозяйства, или поставить их на более высокий уровень.

Поволжским научно-исследовательским институтом эколого-мелиоративных технологий с целью увеличения урожайности картофеля предложено использовать комбинированное почвообрабатывающее орудие для распределения минеральных удобрений равномерно по всей глубине пахотного горизонта [112]. Оно состоит из рамы 1 (рисунок 1.2), навесного устройства 2, оборудованного высоконапорным вентилятором 3 с напорным воздухопроводом 4 и воздухоотводящими патрубками 5. На раме смонтированы туковысевающие аппараты 6. К нижней части рамы 1 прикреплены плужные корпуса, состоящие из отвалов 7 и лемехов 8. В задней части отвалов 7 имеются тукопроводы 9, герметично соединенные с туковысевающими аппаратами 6. Выходной патрубок тукопровода

9 герметично соединен с окнами 10 на лемехе 8. Выходная полость окон 10 направлена по касательной к отвалу 7, а тукопровод 9 сопряжен с окнами 10 по дуге окружности. Плужные корпуса прикреплены к раме орудия с помощью стоек 11, а тукопроводы 9 защищены кожухами 12.

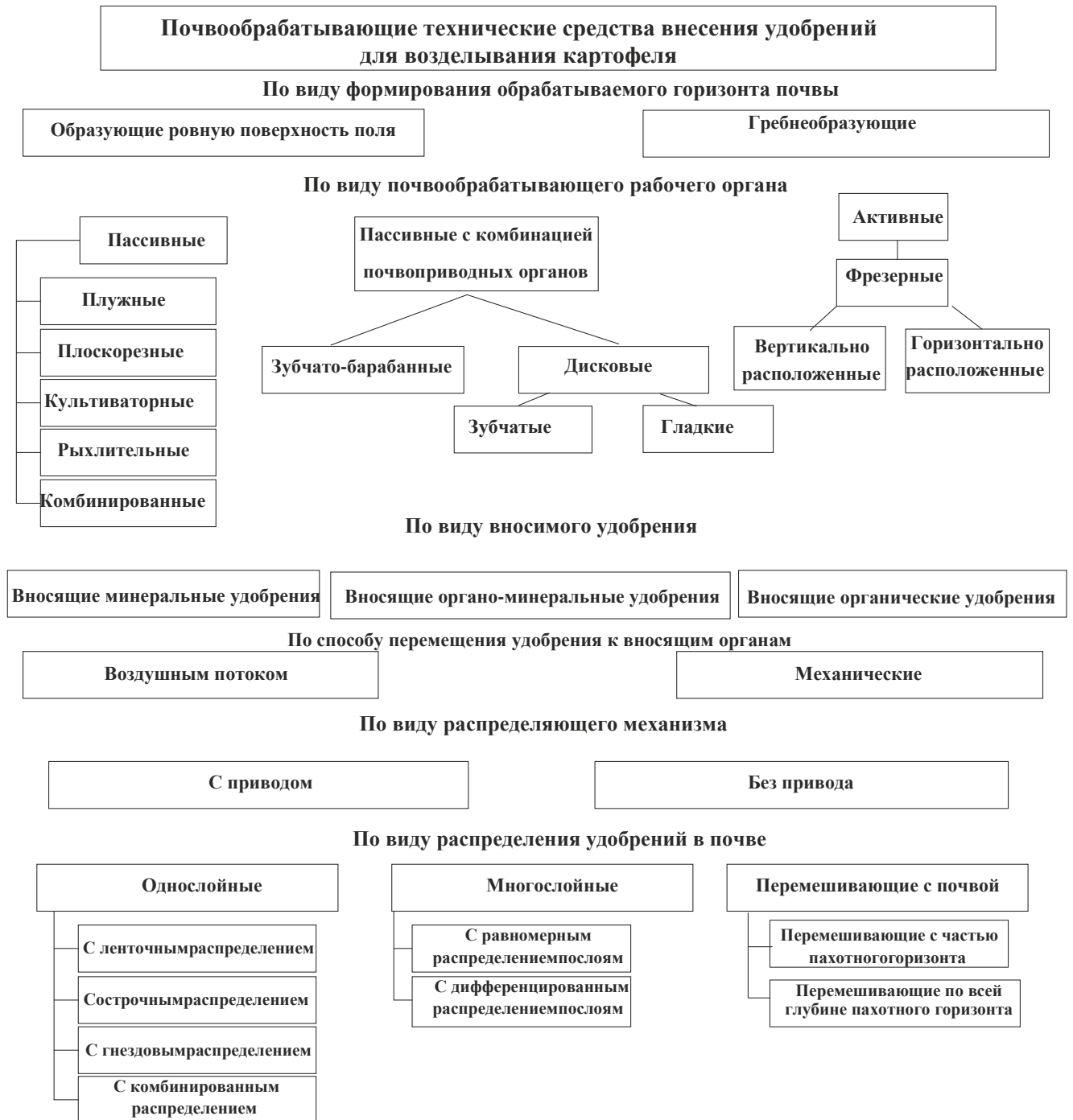


Рисунок 1.1 – Схема классификации почвообрабатывающих средств  
внесения удобрений для возделывания картофеля

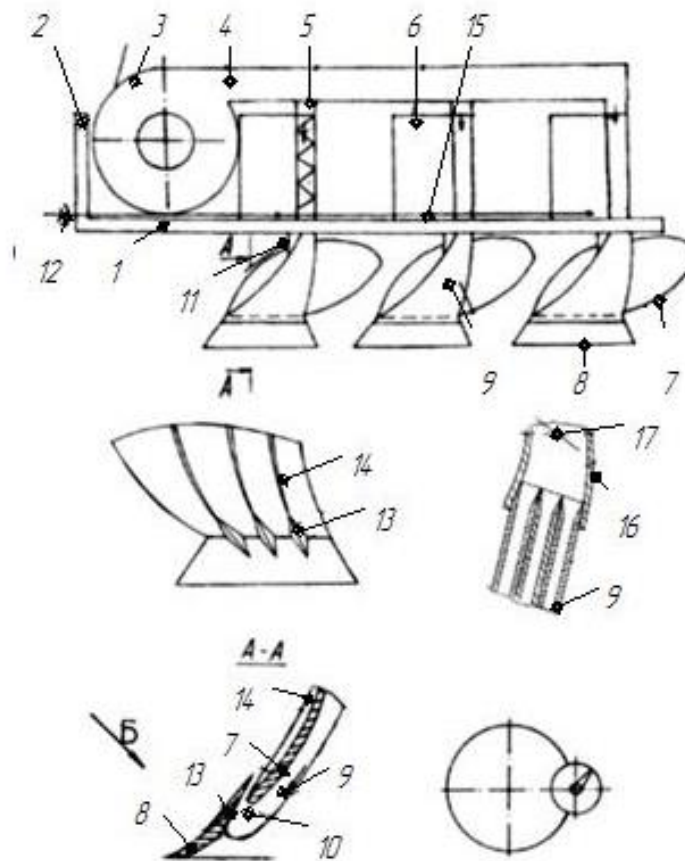


Рисунок 1.2 – Комбинированное почвообрабатывающее орудие

Над окнами *10* выполнены рыхлительные выступы *13*, режущая кромка которых направлена по траектории движения пласта почвы, подрезаемого лемехом *8*. Наружная режущая кромка рыхлительных выступов *13* сопряжена с рыхлительными направляющими *14*, установленными на наружной поверхности отвалов *7* по направляющим параболическим кривым. Режущая кромка рыхлительных выступов *13* имеет наплавку твердым износостойким сплавом.

В боковой стенке туковысевающего аппарата *6* выполнен дозатор-смеситель *15* удобрений, представляющий собой винтовой шнек левосторонней направленности. При этом боковая стенка кожуха шнека со стороны высевающего аппарата *6* отсутствует. Нижняя полость кожуха шнека *15* герметично соединена со смесителем-направителем *16*, который имеет дозирующую заслонку *17*. Смеситель-направитель *16* герметично соединен с тукопроводами *9*. Привод вентилятора *3*

осуществляется от гидромотора.

Комбинированное почвообрабатывающее орудие работает следующим образом.

При движении орудия в заглубленном состоянии лемех 8 подрезает пласт почвы в горизонтальной плоскости и направляет его на отвал 7. Рыхлительные выступы 13 разрезают пласт в вертикальной плоскости. При этом в разрезанную щель пласта из окна 10 под напором, создаваемым вентилятором 3, по тукопроводам 9 подается туковоздушная смесь. Так как рыхлительные выступы имеют режущую кромку, направленную по траектории движения пласта, то они сдвигают и разрушают пласт в поперечном направлении. На отвале 7 частично разрыхленный пласт подвергается воздействию рыхлительных направляющих 14, что улучшает крошение почвы. Туковоздушная смесь проникает в поры разрушенного пласта и обеспечивает удобрениями весь пахотный горизонт. Образуется она следующим образом. Напорный поток воздуха от вентилятора 3 по воздуховоду 4 подается к воздухоотводящим патрубкам 5, из которых он поступает на витки шнека 15 и приобретает левостороннее вращательное движение. При этом воздушный поток захватывает удобрения из туковысевающего аппарата 6 и образует туковоздушную смесь, которая направляется в смеситель-направитель 16, а из него по тукопроводам 9 - в окна 10. Норма внесения удобрений регулируется заслонкой 17.

Таким образом, данное орудие, несмотря на предусмотренные конструктивные приспособления, предназначенные для улучшения крошения обрабатываемой им почвы, не обеспечивает мелкокомковатую структуру почвенного пласта по всему объему. Не является оптимальным равномерное распределение удобрений по глубине. Кроме того, использование для обработки почвы отвальной поверхности не позволяет сохранить в верхнем горизонте стерневые остатки, необходимые для создания защитного слоя в зоне ветровой эрозии.

Лишен защитного слоя и созданный Казанским сельскохозяйственным институтом комбинированный рабочий орган для внесения удобрений [7], который также осуществляет глубинное распределение туков.

Разработанный рабочий орган содержит раму 1 (рисунок 1.3), на которой



закреплена стойка 2, плоскорежущая лапа 3, установленные за ней оси 4, малые 5 и большие 6 дисковые рыхлители, за которыми на стойке 2 и оси 7 закреплен плоский диск 8 с тукотранспортирующими лотками 9 и тукопровод 10.

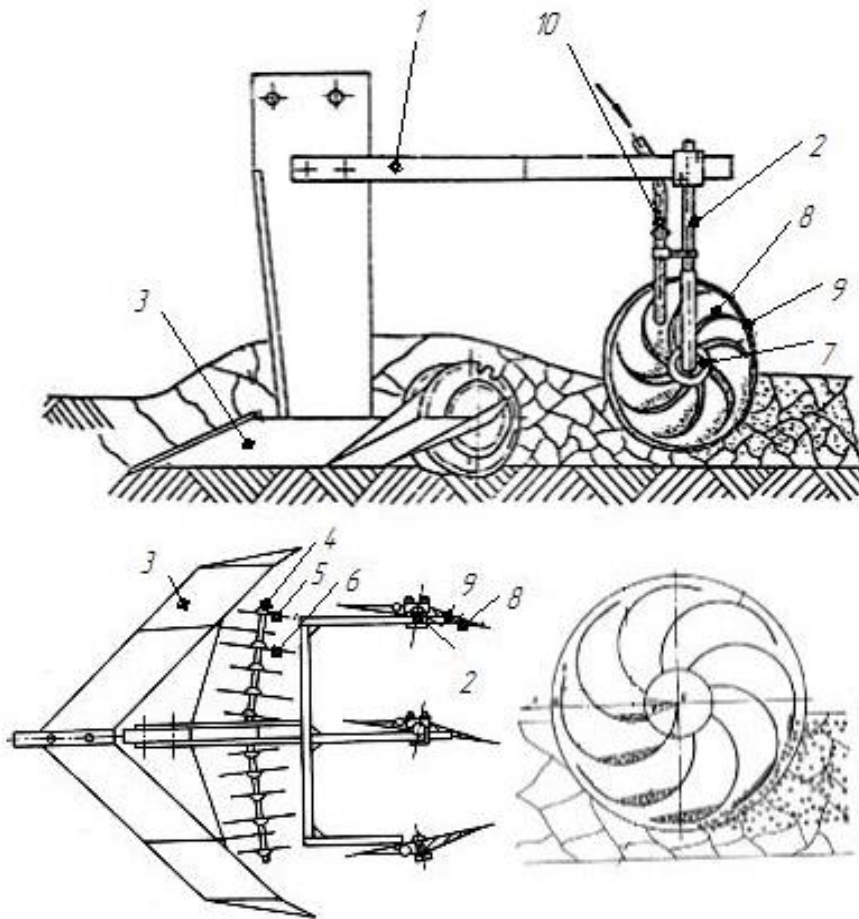


Рисунок 1.3 – Комбинированный рабочий орган для внесения удобрений

Криволинейные тукотранспортирующие лотки 9 в осевой части диска имеют кармашки 11. Тукопровод 10, прикрепленный к стойке 2, обеспечивает подачу туков со стороны направления вращения (по ходу вращения).

Причем криволинейная поверхность центральной части лотков 9 способствует направлению частиц удобрений в кармашки 11, в которых они скапливаются, так как форма лотков представляет собой две совмещенные кривые линии.

Удобрения при движении из центра к периферии диска должны располагаться с переменной толщиной по радиусу и обеспечивать стабильную подачу их во

время движения лотков в рабочей зоне при условии их полного опорожнения на линии выхода из почвы. Для выполнения поставленных условий необходимо, чтобы удобрения перемещались по линии с переменной кривизной, параметры которой связаны с конкретными размерами диска и углом поворота в рабочей зоне.

При движении рабочего органа пласт почвы в горизонтальной плоскости подрезается и без его оборота рыхлится дисковыми рыхлителями 5 и 6. Диск 8 под некоторым углом атаки погружается в рыхлую почву на глубину, не превышающую размер своего радиуса, вращается и разрезает почву, образуя щель. Одновременно удобрения подаются по тукопроводу 10 и накапливаются в верхней осевой части (кармашках) 11 криволинейных лотков 9. При вращении дисков 8 туки под действием гравитационных и инерционных сил перемещаются по лоткам 9 и по дуге скатываются вниз щели. В результате туки распределяются по высоте щели и захватываются почвой, приподнятой плоским диском 8. Тем самым создается сплошной вертикальный экран из удобрений. Причем распределение туков начинается в тот момент, когда конец лотка 9 занимает самое нижнее (на дне щели) положение, и заканчивается при выходе лотка из почвы.

Описанный рабочий орган не выполняет качественное мелкоструктурное рыхление верхнего пласта почвы и, подобно комбинированному орудью равномерно распределяет удобрения по глубине. При этом туки, находящиеся в поверхностном слое, оказываются малоподвижными для растения картофеля.

Более близкое к оптимальному распределению туков в почве обеспечивает способ внесения минеральных удобрений под картофель, разработанный группой ученых [6] Научно-исследовательского института картофельного хозяйства.

Согласно данному способу, минеральные удобрения вносят в гребни по всему объему с увеличивающейся по их глубине и ширине концентрацией. Способ реализуется посредством двухъярусной лапы, состоящей из верхней 1 (рисунок 1.4) и нижней 2 частей в сочетании с окучниками 6, установленными на пропашном культиваторе или гребнеобразователе.

При движении агрегата со скоростью 6...9 км/ч верхняя узкая часть 1 лапы рыхлит почву и раздвигает ее в стороны, а нижняя 2 - рыхлит нижний слой с об-

разованием вихреобразного потока почвы за счет угла наклона лезвия лапы к направлению движения и формированием воронки за стойкой двухъярусной лапы, за которой закреплены два тукопровода 3 и 4, смещающиеся относительно друг друга по ходу агрегата.

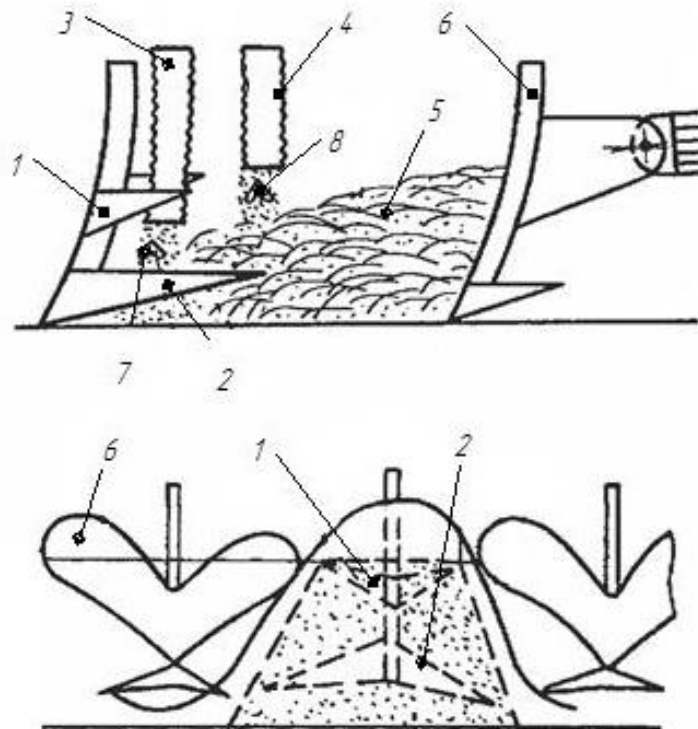


Рисунок 1.4 – Схема способа внесения минеральных удобрений под картофель

Высев удобрений регулируется таким образом. В тукопровод 3, размещенный ближе к двухъярусной лапе и закрепленный на стойке внутри раствора верхней ее части, поступает  $2/3$  удобрений, которые попадают в вихреобразный поток почвы, образуемый нижней частью 2 лапы, и перемешиваются с почвой в нижнем ярусе. Остальная часть удобрений поступает во второй тукопровод 4, установленный выше верхней части 3 лапы, что обеспечивает увеличение концентрации сверху вниз по глубине. При осыпании почвы и образовании почвенного вала 5 посредством окучника 6 удобрения из тукопровода 4 перемешиваются с почвой и располагаются выше, чем внесенные тукопроводом 3.

Ниже тукопроводов 3 и 4 установлены конусообразные экраны 7 и 8 с соответствующими размерами и углами для распределения удобрений по ширине гребня с увеличивающейся концентрацией от периферии.

Несмотря на распределение удобрений, близкое к оптимальному, данный способ при обработке почвы с помощью двухъярусной лапы в сочетании с окучниками, установленными на пропашном культиваторе-гребнеобразователе, также не образует достаточную для производства товарного картофеля мелкокомковатую структуру почвы, особенно склонной к уплотнению.

Способ, обеспечивающий требуемое на начальных стадиях развития посаженных клубней распределение удобрений, создан в Челябинском государственном агроинженерном университете [104]. Для применения разработанного способа используется устройство, включающее в себя бункер 1 для удобрений и выгрузное устройство 2 в виде вибрационного транспортера с приводом от редуктора 3, обеспечивающее сброс удобрений по лотку 4 и далее на почву лентой.

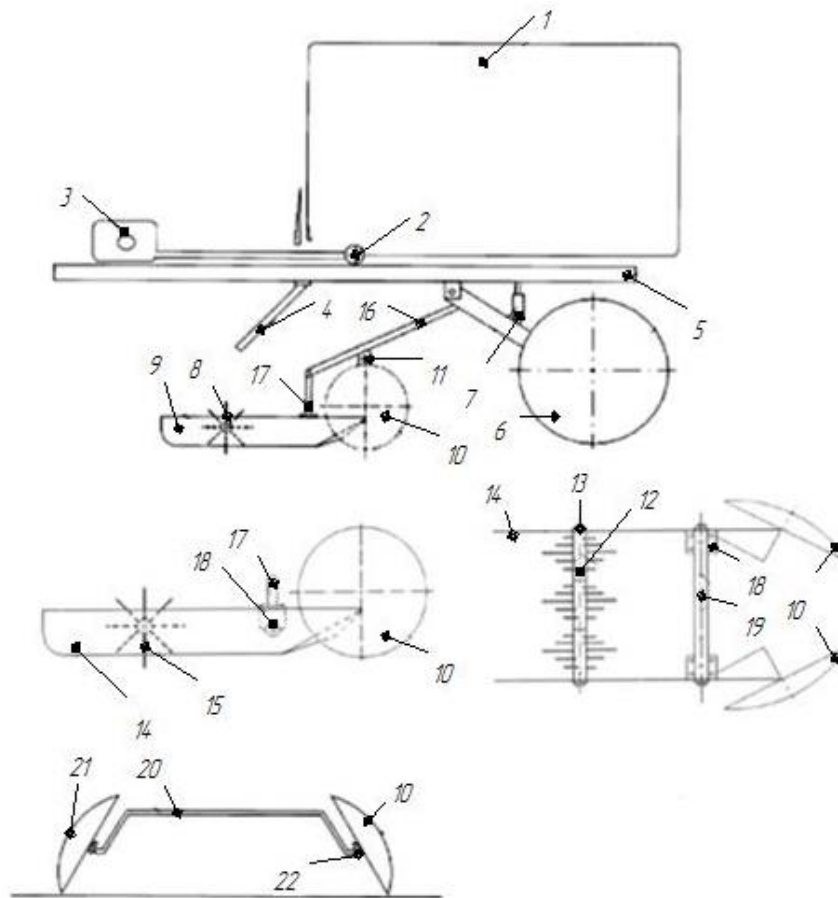


Рисунок 1.5 – Агрегат для внесения в почву сыпучих удобрений

На раме 5, опирающийся на колеса 6, установлен бункер 1. Гидроцилиндрами 7 возможна регулировка положение. Между двумя дисками 10 грядообразователя 11, установлен формирователь 9, между элементами которого находится рыхлитель почвы 8. Он представляет собой игольчатые роторы, собранные в блок, размещенные на валу 13. От количества игольчатых роторов зависит ширина захвата. Длина игл роторов принимается с учетом толщины образования удобренного слоя. Положения каждого ротора регулируется по высоте, для этого в пластинах 14 формирователя 9 выполнены вертикальные пазы 15, в которых проходит вал 13.

На раме 5 посредством каркаса 16, прикреплен формирователь 9. Функцию вертикального ножа выполняют пластины 14 грани которых заострены. Подъемные поверхности образованы задней нижней угловой частью пластин, установленных под углом.

Для изменения ширины гряды необходимо изменить расстояние между поперечными тягами 17 соединяющими кронштейны 18 и элементы формирователя 9. В поперечных тягах 17 специально для этого выполнены отверстия 19.

На внешней стороне формирователя 9 находится грядообразователь 11, состоящий из двух сферических дисков 10. Они расположены вогнутыми сторонами друг к другу имея возможность вращения с регулировкой угла атаки. К раме 5 посредством осей 21 крепятся диски 10. В свою очередь подрамник 20 посредством прижимов и болтов, помещенных в радиальные пазы 22, соединен с осями 21. При этом геометрическая ось проходит через верхний задний угол пластин 14.

При движении агрегата рыхлитель зубьями рыхлит почву, перемешивая ее с удобрениями, поступающими из бункера 1 по лотку 4. Укладка происходит равномерным слоем на почву перед роторами 12 рыхлителя 8. В результате образуется лента удобренной почвы, имеющая в поперечном сечении форму желоба.

Формирование гряды, внутри которой размещается удобренный слой, происходит следующим образом: диски 10 подрезают пласт почвы, часть которой смещается под приподнятый удобренный слой, а другая засыпает удобренный слой почвы сверху образуя при этом гряду.

Данный способ внесения удобрений обеспечивает на ранних этапах развития растений более доступное питание что отражается на их быстром росте. Однако последующие этапы развития картофеля при реализации способа не обеспечены необходимым более глубоким расположением удобрений. Кроме того, устройство при работе осуществляет слабое рыхление и только верхних слоев почвенной среды.

Типичным является рабочий орган для внесения минеральных удобрений [101], который включает в себя лапу 1 (рисунок 1.6) со стойкой 2, сзади которой монтируется тукопровод 3, в основании которого установлен корпус камеры 4 завихрения с патрубком 5 подвода сжатого воздуха. В растворе лемехов лапы 1 расположена распределительная камера 6, в которой по оси тукопровода 3 неподвижно крепится отражатель 7. К втулке 8 с помощью разъемного соединения (винтов) прикреплены пластины 10, которые могут перемещаться в вертикальной плоскости и по наружной поверхности втулки по фигурным пазам 9.

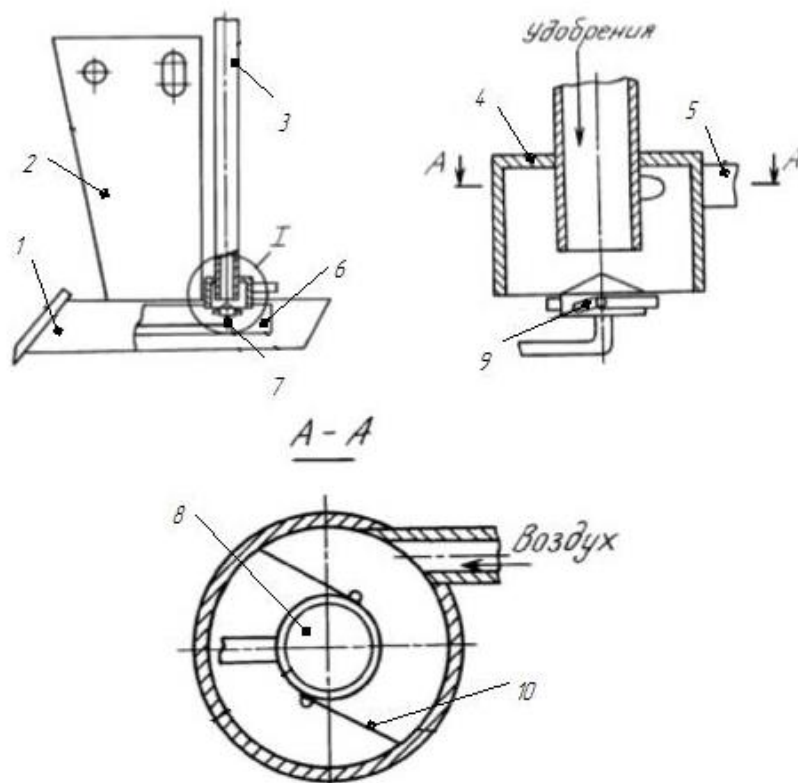


Рисунок 1.6 – Рабочий орган для внесения минеральных удобрений  
одновременно с безотвальной обработкой почвы

При движении в почве рабочий орган поднимает почвенный слой, под которым образуется пространство. Удобрения по тукопроводу 3 ссыпаются вниз к камере 4 завихрения воздушного потока. Сюда же по патрубку 5 поступает воздух, приобретающий в кольцевом зазоре тукопровода 3 вращательное движение. В это же движение вовлекаются частицы удобрений, которые также перемещаются вниз, где поочередно взаимодействуют с пластинами 10, со смещением по вертикали. Отражаясь от пластин 10, частицы удобрения равномерно распределяются по ленте определенной ширины захвата. Равномерность распределения удобрений в почвенном слое и угол их отражения от пластин 10 регулируются путем перемещения их по фигурным пазам 9 конической втулки 8.

Устройство для послойного внесения минеральных удобрений, создано в Самарской государственной сельскохозяйственной академии [110].

Оно состоит из стойки 1 (рисунок 1.7) с башмаком 2, на котором закреплены правый 3 и левый 4 лемехи и долото 5, установленное вдоль линии их соединения, и смесителя, прикрепленного к задней части стойки 1. Смеситель представляет собой воронку 6, в верхнюю часть которой встроены тукопровод 7, воздуховод 8 и прямоугольный патрубок 9.

Прямоугольный патрубок 9 разделен на два симметричных канала 10 разной длины с ярусным расположением их оснований. Под каждым из каналов 10 расположен отражатель-рассеиватель 11. Внутри патрубка 9 посредством шарнира 12 укреплен делитель 14, выполненный в виде равностороннего уголка 15, обращенного вершиной вверх, с поводком 16, размещенным вдоль его биссектрисы. Поводок 16 шарнирно связан посредством рычажно-шарнирного механизма 17 с верхним плечом долота 5, подпружиненного посредством пружины 18 относительно шарнирно установленного башмака 2.

При движении агрегата подпружиненное долото 5 в зависимости от твердости почвы отклоняется и посредством рычажно-шарнирного механизма 17 и поводка 16 изменяет положение делителя 14. В результате увеличивается или уменьшается проходное сечение каждого из симметричных каналов 10 прямоугольного патрубка 9.

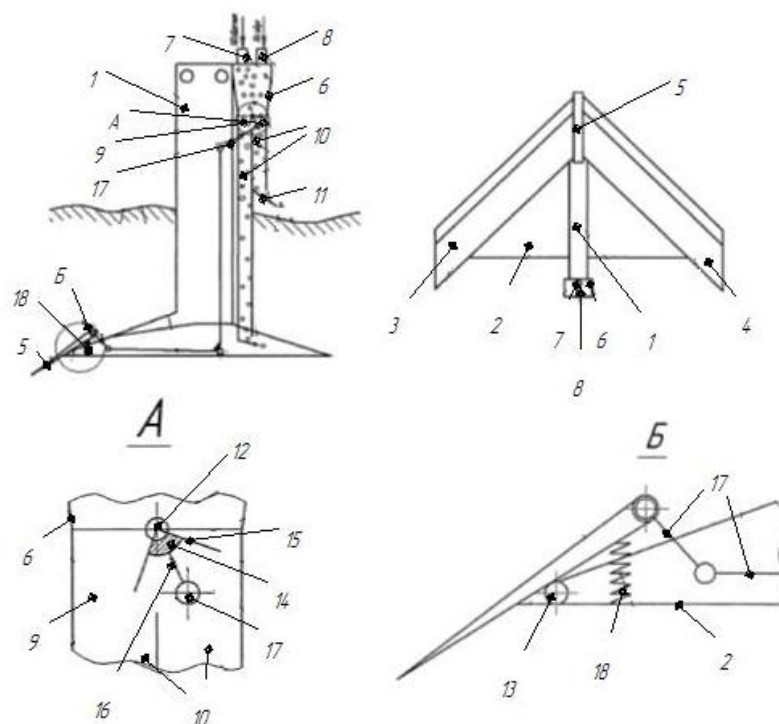


Рисунок 1.7 – Устройство для послойного внесения минеральных удобрений

Минеральные удобрения поступают через тукопровод 7 в воронку 6 смесителя. Одновременно вентилятором устройства через воздухопровод 8 подается воздух, который в воронке смесителя захватывает удобрения и переносит их в виде туковоздушной смеси к делителю 14, где она разделяется на два потока.

При дальнейшем движении по каналам 10 гранулы минеральных удобрений встречаются с отражателями-рассеивателями 11, которые отбрасывают их либо на поверхность поля, либо в подпочвенный слой.

Помимо использования в плоскорезной обработке для распределения удобрений воздушного потока и изменяющих его траекторию рассеивателей различного конструктивного исполнения, существуют разработки с применением разнообразных приводных механизмов для распределения туков.

Рабочий орган для рыхления почвы и внесения в нее удобрений имеет рыхлительную лапу 1 (рисунок 1.8), прикрепленную к стойке 2 [8].

За лапой внутри кожуха 3 установлен распределитель 4, изготовленный в виде шнеков 5 и 6 правой и левой навивкой витков. На торцевой части кожуха



выполнены опоры 7 и 8, на которых крепится распределитель. В средней части кожуха имеются продольный паз 9 и отверстие 10 для установки зубчатого колеса 11 распределителя и тукопровода 12. Зубчатое колесо расположено на середине распределителя.

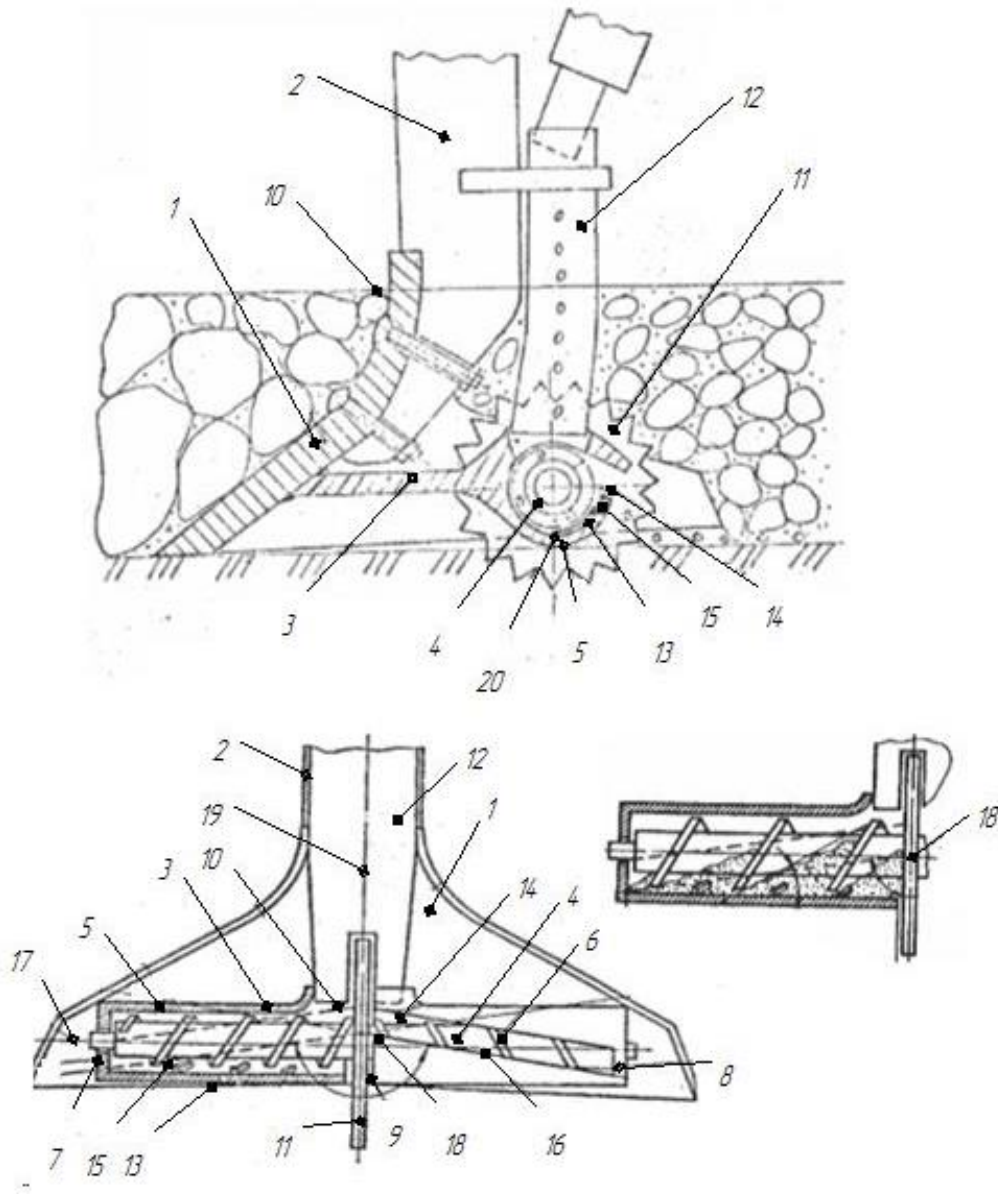


Рисунок 1.8 – Рабочий орган для рыхления почвы и внесения в нее удобрений

Нижняя часть кожуха представляет собой желоб 13, снабжена сгребателями. В задней части кожуха выполнено выходное отверстие 14. Правые 15 и левые 16 части нижней кромки выходного отверстия 14 выполнены наклонными относительно оси 17 вращения распределителя, так что линии продолжения их образуют

между собой тупой угол с вершиной 18, расположенной на вертикальной плоскости, проведенной через оси 19 симметрии рабочего органа.

Рабочий орган для рыхления почвы и внесения удобрений работает следующим образом.

При движении рабочего органа рыхлительная лапа 1 заглубляется в почву и рыхлит ее, а зубчатое колесо 11 за счет сцепления с почвой совершает вращательное движение по ходу рабочего органа. Одновременно с зубчатым колесом вращаются шнеки 5 и 6, которые перемещают по желобу 13 минеральные удобрения, поступающие по тукопроводу 12. При этом часть удобрений захватывается шнеками 5 и 6 и за счет взаимодействия со сгребателями частично выталкивается через выходное отверстие 14. Оставшаяся часть удобрений меньшего объема по желобу 13 вновь передвигается к шнекам 5 и 6. Так как кромка 15 находится ниже выходного отверстия 14, то через него этот объем удобрений частично выталкивается.

Высыпанные через выходное отверстие удобрения попадают на дно борозды, где засыпаются почвой, разрыхленной лапой 1 и сходящей с кожуха 3 под действием силы напора вновь поступающей на рыхлительную лапу.

Рассмотренные плоскорезные рабочие органы при обработке почвы под возделывание картофеля вносят удобрения ленточно и строчно (как видно из описания устройств). Кроме того, они не обеспечивают изрыхление верхнего горизонта почвенного пласта и достаточное для клубней рыхление нижних слоев плоскорезными лапами.

Для верхних слоев почвенного пласта при безотвальной обработке в Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии разработано комбинированное орудие [108].

На раме 1 (рисунок 1.9) установлена клинообразная стойка 2. На ее задней части смонтирован тукопровод 3 для подачи туковоздушной смеси. К стойке 2 с помощью кронштейнов 4 крепится рыхлительный барабан 5 с зубьями 6, которые размещены на ступице 7 барабана по линиям многозаходного винта. На левой половине барабана 5 винтовые линии зубьями 6 имеют левостороннюю направленность, а на пра-

вой половине барабана – правостороннюю. Впереди на клинообразной стойке 2 с помощью кронштейнов 8 установлен вертикальный дисковый нож 9. В нижней части стойки 2 находятся лемеха 10, образующие стрелчатую лапу. Под верхней кромкой лемехов 10 размещены тукораспределительные тукопроводы 11 с отверстиями для подачи туков. Кронштейны 4 и 8 рыхлительного барабана 5 и вертикального дискового ножа 9 прикреплены к стойке 2 с помощью болтов 12. Дисковый нож смонтирован на кронштейнах 8 с помощью ступицы 13. На раме 1 установлен также вентилятор 14 с приводом от гидромотора. Он соединен с тукопроводом 3 патрубком 15. Тукопровод 3 имеет воронку 16 для приема туков от тукораспределительного аппарата.

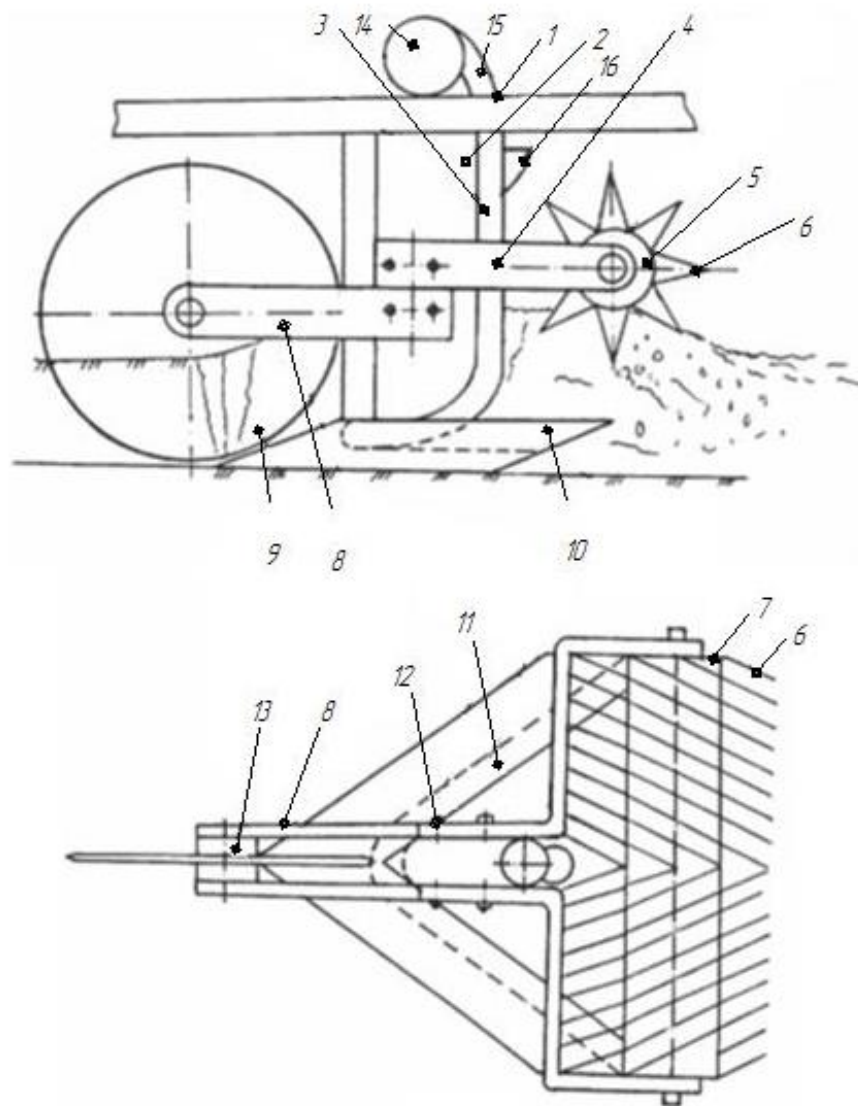


Рисунок 1.9 – Комбинированное орудие для обработки почвы с внесением удобрений

Комбинированное почвообрабатывающее орудие работает следующим образом.

При движении орудия по полю лезвийная часть вертикального дискового ножа 9 разрезает пласт почвы, содержащий корни, на глубину необходимой обработки, что предотвращает обволакивание стойки 2 растительными остатками, снижая тяговое сопротивление орудия.

Лемеха 10 подрезают пласт в горизонтальной плоскости, определяют его от почвенного массива. При этом происходит деформация почвы и ее сдвиг.

После скалывания пласт почвы скользит по поверхности лемехов 10, не претерпевая деформаций. Для рыхления на него воздействует рыхлительный барабан 5, зубья 6 которого внедряются в почву, рыхлят ее. В связи с тем, что зубья 6 размещены на ступице 7 по линиям многозаходного винта, происходит перемещение почвы зубьями 6 в поперечном направлении, что обеспечивает закрытие развальная борозды, образованной стойкой 2.

Таким образом, после прохода комбинированного почвообрабатывающего орудия поверхность поля будет выровненной со структурой, близкой к мелкокомковатой. При этом в воронку 16 подаются минеральные удобрения, а в тукопровод 3 вентилятором 14 - воздух. В тукопроводе 3 удобрения смешиваются с воздухом, и образованная смесь под напором подается в трубопроводы 11, через отверстия которых она поступает в разрыхленный слой почвы, что обеспечивает распределение удобрений по всему пахотному горизонту.

Аналогичное по подготовке почвенной среды под возделывание сельскохозяйственных культур устройство было разработано в Волгоградском государственном аграрном университете.

Спроектированный рыхлитель-удобритель [111] имеет раму 1 (рисунок 1.10), на которой установлена клинообразная стойка 2. К задней ее части закреплен тукопровод 3 с помощью кронштейнов 4.

Средняя часть стойки 2 соединена с горизонтальными кронштейнами 5, а рама 1 – с вертикальными кронштейнами 6.

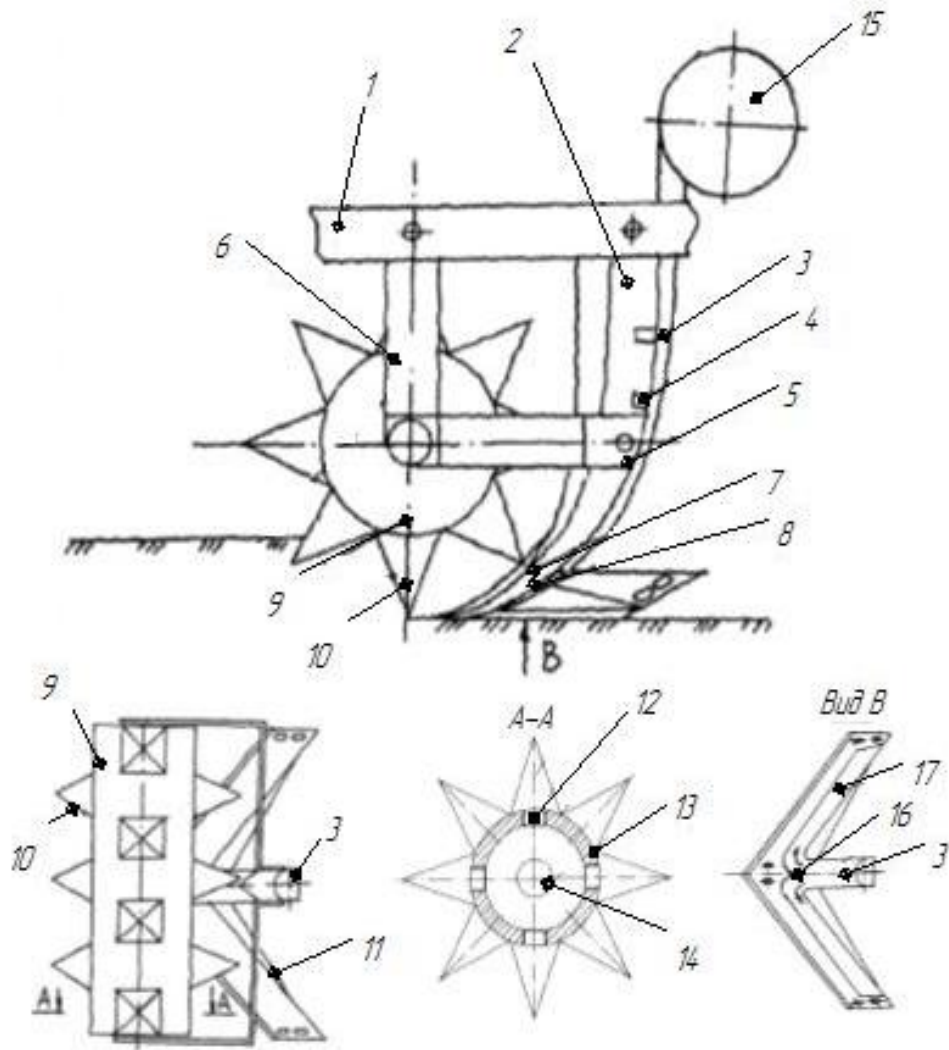


Рисунок 1.10 – Рыхлитель-удобритель

Нижняя часть стойки 2 имеет закругление 7, соединенное с башмаком 8. Перед стойкой 2 установлен зубовой рыхлительный барабан 9 со сменными зубьями 10, выполненными по форме четырехугольной правильной пирамиды. Высота зубьев 10 пирамиды равна максимально возможной величине заглубления зубьев в почву. К башмаку 8 присоединены лемеха 11 для подрезания пласта в горизонтальной плоскости. Зубья 10 рыхлительного барабана 9 крепятся с помощью резьбовых наконечников 12 на полом цилиндрическом барабане 13.

Полый цилиндрический барабан 13, установленный на оси 14, выполняет роль реборд и ограничивает заглубление лемехов 11. Для напорной подачи удобрений в тукопровод 3 предусмотрен вентилятор 15 с приводом от гидромотора. Тукопровод

3 под лемехами 11 соединен с помощью делителя 16 потока, выполненного с закруглениями по радиусу окружности, с распределительными трубопроводами 17, выходное окно которых сопряжено с наружной задней кромкой лемехов 11.

Живое сечение распределительного трубопровода 17 увеличивается от делителя потока до боковой стенки лемеха 11.

Рыхлитель-удобритель работает следующим образом.

При движении по поверхности поля рыхлительный барабан 9 внедряется зубьями 10 в наружную поверхность почвы и разрушает ее. При этом создаются благоприятные условия для подрезания пласта лемехами 11 в горизонтальной плоскости, что обеспечивает значительное снижение тягового сопротивления при работе рыхлителя-удобрителя. Разрушенный зубовым рыхлительным барабаном 9 слой почвы поднимается на лемеха 11 и падает с их наружной кромки в виде отдельных комьев. При этом в падающие комья вентилятором 15 подается воздушный поток, смешанный с минеральными удобрениями. Далее воздушный поток направляется по тукопроводу 3, распределяется делителем 16 потока и поступает в распределительные трубопроводы 17. При этом обеспечивается насыщение минеральными удобрениями пахотного горизонта.

Как и предшествующее устройство, данный рыхлитель-удобритель не обеспечивает нужный для возделывания картофеля уровень крошения обрабатываемого почвенного пласта. Кроме того, распределяемые им туки не располагаются в почвенной среде оптимальным для картофеля образом.

Такой же особенностью обладает и разработанное в Саратовском государственном аграрном университете устройство, в котором установленные выше плоскорежущей лапы механизмы не только разрыхляют верхние слои почвы, но и распределяют туки в обработанном пласте почвы более равномерно, что создает лучшие условия для возделывания клубней картофеля в засушливых условиях Саратовской области.

Данное устройство для многослойного внесения минеральных удобрений в почву [107] содержит стойку 1 (рисунок 1.11) с башмаком 2, правый и левый лемеха 3, закрепленные на башмаке.

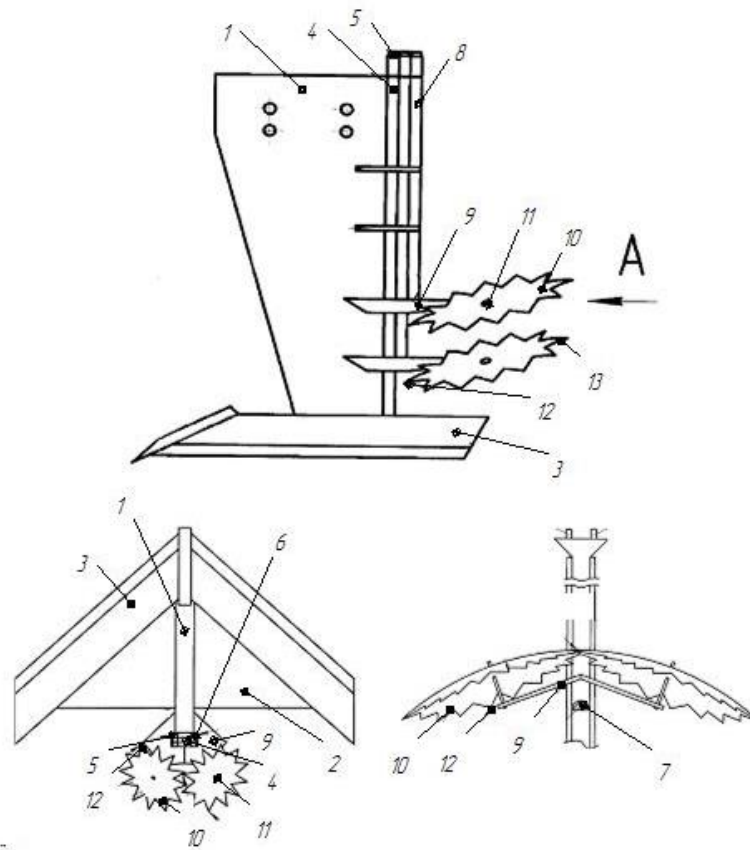


Рисунок 1.11 – Устройство для многослойного внесения минеральных удобрений в почву

К задней части стойки *1* прикреплен основной смеситель *4* с встроенными в его верхнюю часть тукопроводом *5* и воздухопроводом *6*. В основании основного смесителя *4* размещен отражатель-распределитель *7*. Сюда же присоединены дополнительные смесители *8*, которые имеют такую же конституцию, как и смеситель *4*. Кроме того, в верхнюю часть каждого смесителя *8* встроены тукопровод *5* и воздухопровод *6*. На уровне расположения основания каждого смесителя *8* при помощи кронштейнов *9* к стойке *1* прикреплена пара зубчатых сферических дисков *10*, образующих между собой свод с зубчатым зацеплением. Каждый зубчатый сферический диск *10* установлен с возможностью вращения вокруг оси *11*. Кроме того, передняя по ходу движения устройства кромка *12* диска *10* опущена ниже относительно его задней кромки *13*.

Устройство для многослойного внесения минеральных удобрений в почву работает следующим образом.

Из бункера агрегата для обработки почвы, в который помещают минеральные удобрения, туки поступают через тукопровод 5 в основной смеситель 4 и в дополнительные смесители 8. Одновременно вентилятором агрегата через воздухопровод 6 в основной смеситель 4 и дополнительные смесители 8 подается воздух, который в указанных смесителях захватывает удобрения и переносит их к отражателям-распределителям 7, установленным в основании каждого из указанных смесителей.

Отражатель-распределитель равномерно распределяет удобрения в почве во время движения агрегата для обработки почвы. Так как основной и дополнительные смесители имеют разную длину и их основания с отражателями-распределителями расположены ярусно по отношению друг к другу, то удобрения одновременно вносятся в разные слои почвы. Для эффективного распределения туков в слоях почвы приподнимают почвенные пласты на уровне каждого слоя, в который вносят удобрения. Приподнимание пластов почвы на уровне основания смесителя 4 осуществляется за счет правого и левого лемехов 3, на уровне основания каждого смесителя 8 - за счет пары зубчатых сферических дисков 10.

Предлагаемое устройство позволяет вносить минеральные удобрения в несколько слоев почвы, что обеспечивает благоприятное развитие растений в течение всего вегетационного периода.

Существует и ряд других работ [102, 103, 105, 106, 109], которые посвящены поиску более эффективных машин для обработки почвы и внесения удобрений под возделывание картофеля. Однако, как показал проведенный анализ их конструкций, данные машины при подготовке почвенной среды для возделывания картофеля в засушливых почвенно-климатических условиях Саратовской области малопригодны.

### **1.3 Техника, применяемая для подготовки почвенной среды под развитие картофеля с внесением минеральных удобрений**

Навесной культиватор КПП-2,2 (рисунок 1.12) предназначен для плоскорезной обработки почвы с одновременным однослойным внесением удобрений на



глубину 12...25 см с равномерным распределением их по всей ширине захвата орудия – 2,15 м, при ширине захвата одного рабочего органа - 1,1 м. КПГ-2,2 агрегируется с тракторами класса тяги 1,4.

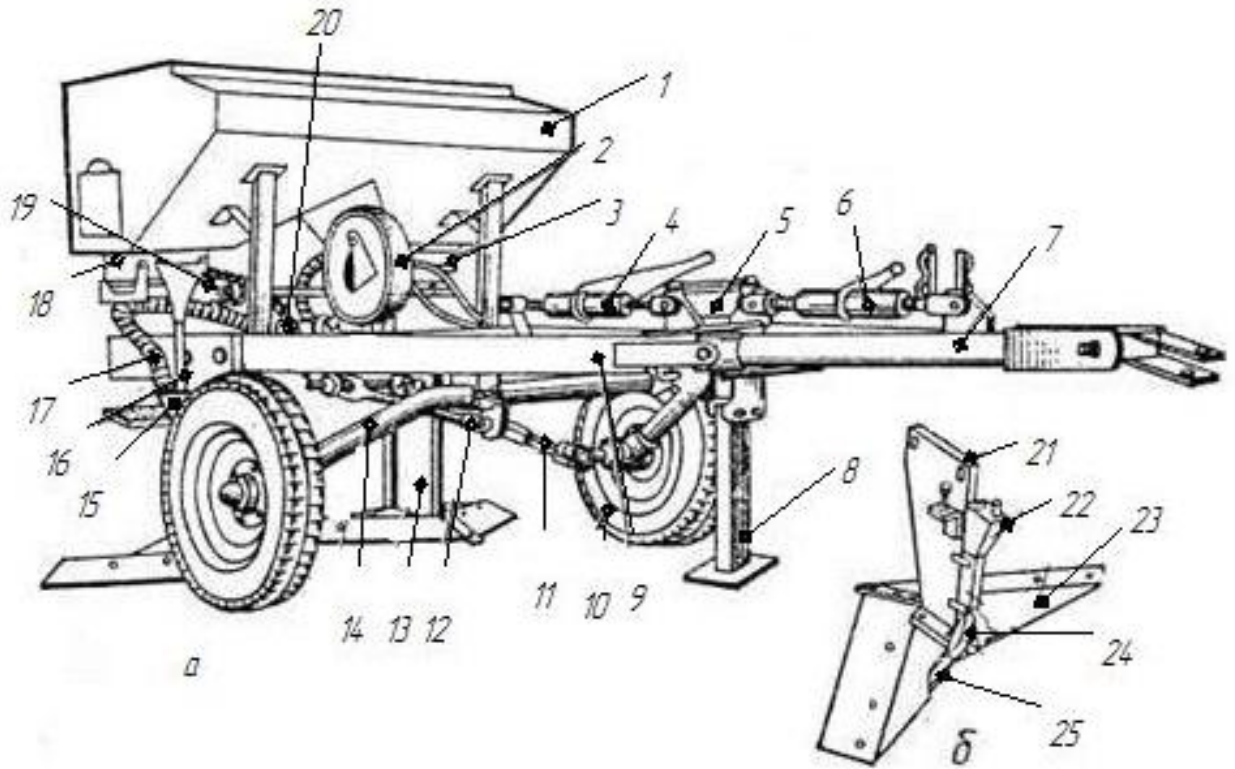


Рисунок 1.12 – Культиватор КПГ-2,2 плоскорез-глубококорыхлитель с приспособлением для внесения удобрений: *а* – общий вид; *б* – рабочий орган; 1 – бункер для минеральных удобрений; 2 – вентилятор; 3 и 18 – дозаторы; 4 – винтовая стяжка механизма регулирования глубины; 5 – гидроцилиндр механизма подъема; 6 – винтовая стяжка прицепа; 7 – удлинитель; 8 – подставка; 9 – рама; 10 – опорные колеса; 11 – карданная передача; 12 – вилка выключения привода дозаторов; 13 – рабочий орган; 14 – коленчатая ось; 15 – туконаправитель; 16 – тукопровод; 17 – воздухопровод; 19 – приводной вал; 20 – цепь привода дозаторов; 21 – стойка; 22 – смесительная камера; 23 – башмак; 24 – делитель; 25 – канал

Агрегат работает следующим образом.

Рабочие плоскорезающие органы подрезают пласт в плоскости дна борозды.

Сначала он поднимается по лемеху до верхнего обреза, затем движется по башмаку, потом падает на дно борозды. Равномерно распределить удобрения по дну борозды позволяет свободное пространство образованное между задним обрезом рабочего органа и сходящим с него пластом. Удобрения перемещаются воздушным потоком по тукопроводу. Установку глубокорыхлителя на заданную глубину производят на выровненной площадке перед выездом в поле.

Недостатками культиватора КПП-2,2 применительно к подготовке почвы под возделывание картофеля является то, что минеральные удобрения вносятся ленточно и только в дно борозды, а также не распределяются объёмно, что негативно сказывается на развитии корневой системы и картофеля в целом и в дальнейшем на урожае и его качестве. Культиватор не позволяет получить мелкокомковатую структуру почвенного фона, требуемую для нормального развития картофеля. Кроме того, при формировании оптимального почвенного фона технологические операции необходимо выполнять дополнительными устройствами, что увеличивает себестоимость товарного картофеля.

Навесной культиватор КРНВ-4,2 (рисунок 1.13) предназначен для междурядной обработки пропашных культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений [25]. Агрегатируется с тракторами класса тяги - 1,4. Ширина захвата - 4,2 м. Рабочая скорость - до 10 км/ч.

Культиватор предназначен для рыхления почвы в междурядьях на глубину 6...16 см, подрезания корней сорняков в междурядьях, подкормки, окучивания и нарезки гребней. При оборудовании сетчатыми или роторными боронами рыхлит почву и вырывает сорняки по всей поверхности поля.

Культиватор КРНВ-4,2 работает следующим образом. Лезвия лап подрезают корни сорняков, почва, поднимаясь по лапе и падая с нее, крошится. При установленных окучниках она сходит с них и попадает на рядки. Туковысевающий аппарат выставляют на определенную норму высева минеральных удобрений, а подкормочные ножи вносят удобрения в почву рядом с корневой системой. При нарезке гребней культиватор оборудуется маркерами.

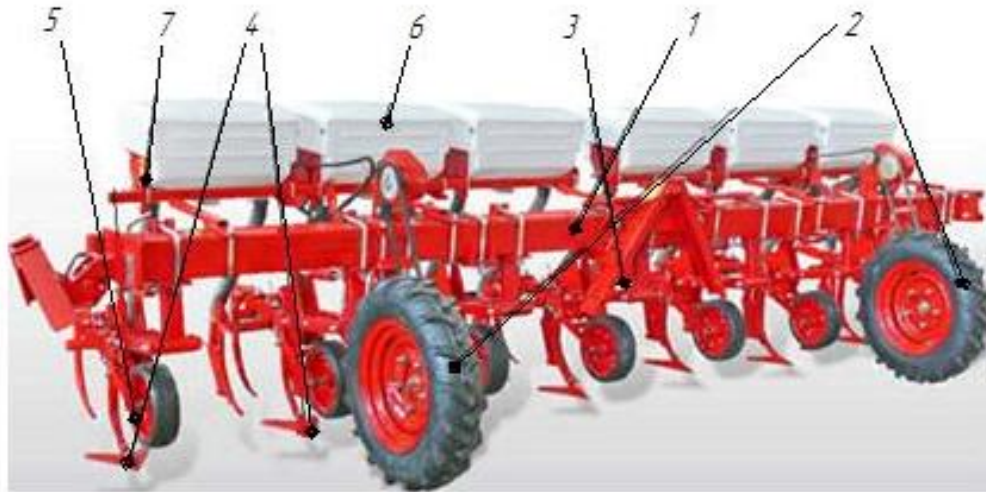


Рисунок 1.13 – Культиватор КРНВ-4,2: 1 – рама;  
2 – опорно-приводные колеса; 3 – навесное устройство; 4 – лапа;  
5 – стойка; 6 – бункер (6 шт.); 7 – туковысевающий аппарат АТ-2 (6 шт.)

Недостатками данного агрегата является ограниченное использование его при подготовке почвенного фона. Он не позволяет получить оптимальную мелкокомковатую структуру почвы, необходимую для нормального развития картофеля. Минеральные удобрения также вносятся ленточно в дно борозды, отсутствует объемное распределение, что негативно сказывается на развитии корневой системы картофеля и в дальнейшем на урожае и его качестве.

Культиватор с внесением удобрений Fertis 4,5 (рисунок 1.14) с технологией STRIP TILL – насыщения почвы воздухом, применяется для обработки почвы рядками на глубину до 35 см и а также для целенаправленного внесения удобрений в два слоя почвы. Благодаря данной технологии уменьшается дозировка удобрений с сохранением урожайности картофеля. Агрегатируется с 3-м классом тракторов. Производительность – 2...4,5 га/ч.

Культиватор Fertis 4,5 работает следующим образом. Чизельные лапы подрезают корни сорняков. Почва, поднимаясь по лапе и сходя с неё, частично крошится, образуя холмистую форму. Дозирующее устройство выставляют на определенную норму внесения минеральных удобрений (0...250 кг/га). С помощью действия вентилятора удобрения по тукопроводам транспортируются в удобрители.



Рисунок 1.14 – Культиватор с внесением удобрений Fertis 4,5:

- 1 – рама; 2 – опорные колеса; 3 – бункер для минеральных удобрений;  
 4 – вентилятор; 5 – дозирующее устройство; 6 – тукопроводы;  
 7 – чизельная лапа; 8 – стойка; 9 – удобрения; 10 – пружинная защита

Задний ряд долот обеспечивает рыхление междурядья, создавая грядки. За чизелями установлены удобрения, которые вносят удобрения в два слоя. Рыхление и двухслойное внесение удобрений повышает урожайность картофеля, прежде всего в засушливые или дождливые периоды.

Недостатком данного культиватора является то, что при его работе удобрения вносятся только в два слоя, не распределяясь объемно, что не отвечает в полной мере требованиям биологического развития картофеля, которому на каждой фазе роста необходимо определенное количество минеральных удобрений. Холмистая структура под действием мороза и влажности до весны распадается, вследствие чего возможности весной приступить к посадке картофеля раньше и



тем самым лучше использовать агротехнические сроки, предъявляемые к данной сельскохозяйственной культуре.



Рисунок 1.5 - Культиватор Digger 3 Fert + Compact

с дополнительно встроенным объёмным бункером и дозирующим механизмом:

1 – рама; 2 – бункер; 3 – дозирующее устройство Accord; 4 – шаговое колесо;

5 – вентилятор; 6 – чизельная лапа; 7 – стойка; 8 – удобрения;

9 – тукопроводы; 10 – диски измельчители; 11 – двойной зубчатый каток

Культиватор Digger 3 Fert+ Compact (рисунок 1.15) за один проход рыхлит подпахотный слой почвы с одновременным внесением минеральных удобрений в два слоя на глубину до 38 см. Он оснащен бункером объемом 2 000 л с дозирующим механизмом. Шнек подачи дозирует все виды удобрений. Дозатор приводится в действие механически шаговым колесом с возможностью точной дозировки от 70 до 300 кг/га в зависимости от вида удобрений. Вентилятор с гидравлическим приводом

транспортирует с помощью воздуха удобрения ко всем чизелям через распределительную головку.

Культиватор агрегируется с 3-м классом тракторов. Производительность его - 2,4...3,6 га/ч.

У культиватора существуют модификации Digger 3 Fert +, Digger 4 Fert +, Digger 3 N-P Fert + Compact, Digger 4 N-P Fert + Compact, различающиеся шириной захвата, количеством рабочих органов, вместимостью бункера для удобрений, способами навески.

Недостаток Digger 3 Fert + Compact заключается в том, что он применяется для культур с гладкой технологией обработки почвы, которая не подходит для возделывания картофеля. Кроме того, удобрения вносятся только в два слоя, отсутствует их объемное распределение, что не отвечает требованиям биологических особенностей картофеля, которому на каждой фазе роста необходимо определенное количество минеральных удобрений.

Высокую экономическую рентабельность возделывания картофеля в засушливых условиях Саратовской области можно обеспечить путем внедрения обоснованных прогрессивных технологий и технических средств для подготовки почвенной среды под развитие клубней картофеля.

Широкое распространение получила гребневая технология, которая позволяет создать благоприятную по структуре почвенную среду. В засушливых районах и на почвах с малой водоудерживающей способностью данная технология с нарезкой гребней меньшей высоты имеет ряд преимуществ:

- свободней и интенсивнее может развиваться корневая система картофеля в сформированных гребнях, которые имеют нужную структуру и лучшие условия вентиляции;

- гребни намного быстрее прогреваются, что позволяет увеличить благоприятный начальный период формирования растений, раньше начать весенне-полевые работы, имеющие сжатые агротехнические сроки;

- облегчается и упрощается поддержание в надлежащем состоянии почвы, т.е. проведение следующих за посадкой агротехнических приемов.

## 1.4 Выводы по разделу

Анализ существующих технических средств и применяемых современных технологий, улучшающих подготовку почвенной среды под возделывание картофеля, позволяет сделать следующие выводы:

1. Эффективной является технология, которая предусматривает создание оптимального по структуре и воздушно-водно-питательному режиму слоя почвы на протяжении всего периода вегетации растений картофеля.

2. Гребневидный способ подготовки почвы с послойным внесением минеральных удобрений позволит создать благоприятные условия для роста и развития картофеля в течение всего вегетационного периода. В регионах с засушливым климатом для обеспечения необходимого водного режима почвы следует проводить осеннюю нарезку гребней меньшей высоты, что дает возможность по сравнению с гладкой технологией раньше использовать влажный период весны.

3. Для сохранения влаги в почве и создания ее мелкокомковатой структуры предложен способ подготовки почвенной среды путем фрезерования вертикальными фрезами, которые частично сохраняют нижние влажные слои на прежней глубине их залегания, что снижает скорость испарения влаги из почвы в отличие от фрезерования горизонтальными фрезами, поднимающими нижние влажные слои на поверхность.

4. Формирование гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений позволит повысить эффективность обработки почвы, создать оптимальный почвенный фон под развитие картофеля и при последующих почвообрабатывающих операциях сохранить благоприятные условия структуры почвенного пласта для развития картофеля.

5. Применяемые в производственной сфере картофелеводства Саратовской области классические способы и методы подготовки почвенной среды под возделывание картофеля не обеспечивают его высокой урожайности и рента-

бельности производства, вследствие чего необходимо проводить работы по совершенствованию технологического процесса и технических средств подготовки почвенной среды под возделывание картофеля.

6. На основании обобщения научных материалов и практических исследований, а также выполненной автором классификации, в которой отражены технологические и конструктивные признаки современных почвообрабатывающих средств по виду формирования горизонта почвы для возделывания картофеля, определено перспективное для картофелеводства направление совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих и вносящих минеральные удобрения машин, позволяющих подготовить оптимальную воздушно-водно-питательную почвенную среду под возделывания картофеля в засушливых регионах.



## **Раздел 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЕБНЕВИДНОГО ПОЧВЕННОГО ФОНА С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

### **2.1 Технологическое обоснование конструкционной схемы агрегата**

Достигнутый на сегодняшний день опыт в картофелеводстве показывает, что для получения достойных урожаев качественного товарного картофеля на высоком уровне экономической рентабельности производства необходимо выполнение ряда условий.

Первое условие - наличие на всем протяжении развития клубней рыхлого слоя почвы мелкокомковатой структуры. Проведенный анализ технологий и технических средств для производства картофеля показал, что создать требуемый слой с сохранением его в дальнейшем в нужном состоянии позволяет безотвальная обработка почвы плоскорезами [67, 71]. При такой обработке должно быть проведено фрезерование верхнего слоя почвы с последующим образованием гребней для реализации гребневой технологии возделывания картофеля. При этом в регионах, подобных Саратовской области, где требуется бережное отношение к имеющейся в почве влаге, фрезерование необходимо выполнять вертикальными фрезами. В этом случае частично обеспечивается сохранение нижних влажных слоев, что снижает скорость испарения влаги из почвы, по сравнению с горизонтальными фрезами, которые поднимают нижние влажные слои на поверхность.

Вместе с тем возделывание картофеля в гребнях может приводить к перегреву и пересыханию зоны развития клубней [78]. Поэтому в засушливых регионах целесообразней использовать технологии нарезки гребней, имеющих высоту, меньшую, чем у полноценных гребней (рисунок 2.1), а посадку клубней осуществлять в основной горизонт обработанного почвенного слоя [113]. Нарезка меньших по высоте гребней в отличие от обычной гребневой технологии минимизирует негативное влияние потенциальных засушливых периодов на развивающиеся клубни.

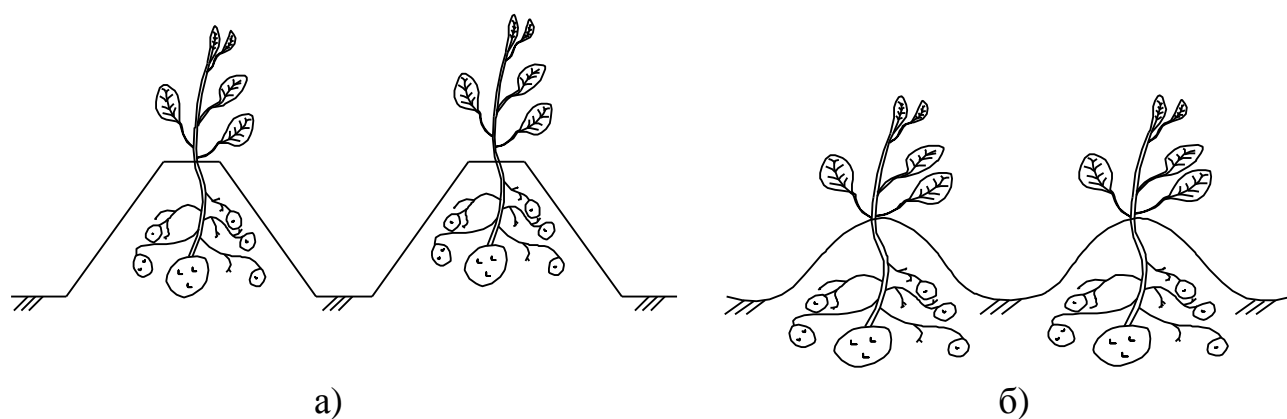


Рисунок 2.1 - Технологии возделывания картофеля:

*а* – традиционная гребневая технология возделывания картофеля;

*б* – гребневая технология возделывания с уменьшенными размерами гребней и увеличенной глубиной посадки клубней

Однако гребни должны быть достаточными по величине для реализации преимуществ данной технологии перед гладким способом возделывания. Такие гребни возможно формировать посредством окучников [130].

Другое важное условие высокой урожайности картофеля - организация в обработанном слое почвы питательного режима, необходимого растениям на всем протяжении их вегетации. Биологическая особенность картофеля заключается в слабо развитой корневой системы, которая распространяется на незначительную величину от материнского клубня. В связи с этим, питательные элементы, содержащиеся во вносимых поверхностным способом удобрениях, с приходом жаркого летнего периода перестают поступать в почву, что снижает их эффективность и уменьшает возможную продуктивность возделываемого картофеля.

Так как в Саратовской области преобладают тяжелые суглинистые почвы с низкой миграционной способностью элементов питания при недостаточности движения влаги в осенне-весенний период и при орошении [56, 61, 76, 99], то для подготовки питательного режима почвы под развитие клубней оптимальным будет внутрипочвенное размещение удобрений с максимальным их содержанием на глубине 25...30 см и уменьшением этого содержания с верхней поверхности почвы (рисунок 2.2).

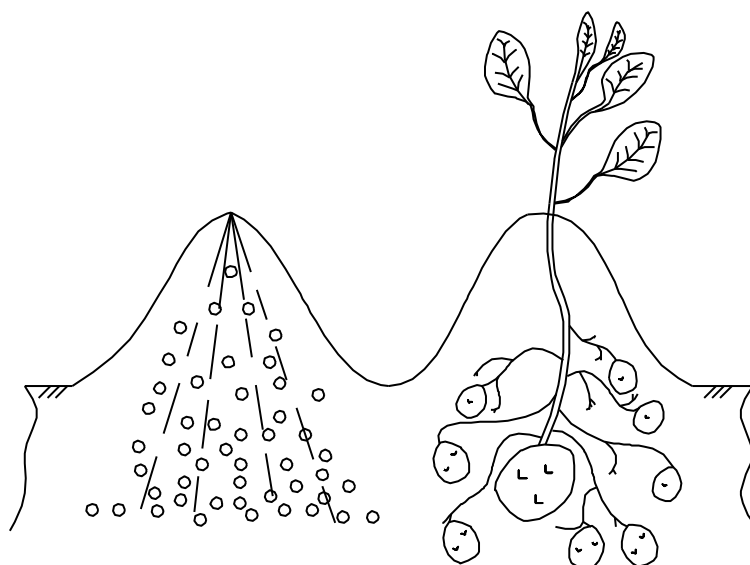


Рисунок 2.2 - Оптимальное размещение  
в почве минеральных удобрений  
при возделывании картофеля в засушливых регионах

Предложенный способ размещения минеральных удобрений позволит использовать их более эффективно для развития растений картофеля [135].

Выполненная классификация (рисунок 1.1) почвообрабатывающих средств внесения удобрений, показывает, что в большинстве они размещают твердые минеральные удобрения только на нижнем уровне обрабатываемого слоя почвы и лишь ленточным способом.

Устройства, вносящие жидкие удобрения, распространяют питательные элементы в более объемном почвенном пространстве.

Более оптимально размещают удобрения машины, выполняющие послойное внесение минеральных удобрений. Однако недостаток их заключается в ленточном, либо незначительно объемном распределении минеральных удобрений в слое обрабатываемой почвы [136, 139].

Для исключения недостатков, присущих устройствам для многослойного внесения удобрений, необходимо применять перемешивание среднего и верхнего уровней обрабатываемого слоя почвы. Выполнять эту операцию лучше вертикальными почвообрабатывающими фрезами, которые не поднимают нижние влажные слои на поверхность, что важно для сохранения влаги в почве, особенно в засушливых регионах и создают ее мелкокомковатую и рыхлую структуру [134].

В результате аналитического обзора конструкций и принципиальных схем почвообрабатывающих средств внесения удобрений был разработан агрегат [1, 114] для подготовки почвы под возделывание картофеля в засушливых регионах с рабочими органами, реализующими оптимальный вариант размещения минеральных удобрений в обрабатываемом слое почвы.

## 2.2 Описание принципиальной схемы разработанного агрегата

Анализ конструктивных и функциональных особенностей существующих устройств [100 - 112] и устранение в ходе данного исследования их недостатков позволили предложить схему агрегата [131] для формирования гребневидного почвенного фона с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений под развитие картофеля в засушливых регионах (рисунок 2.3).

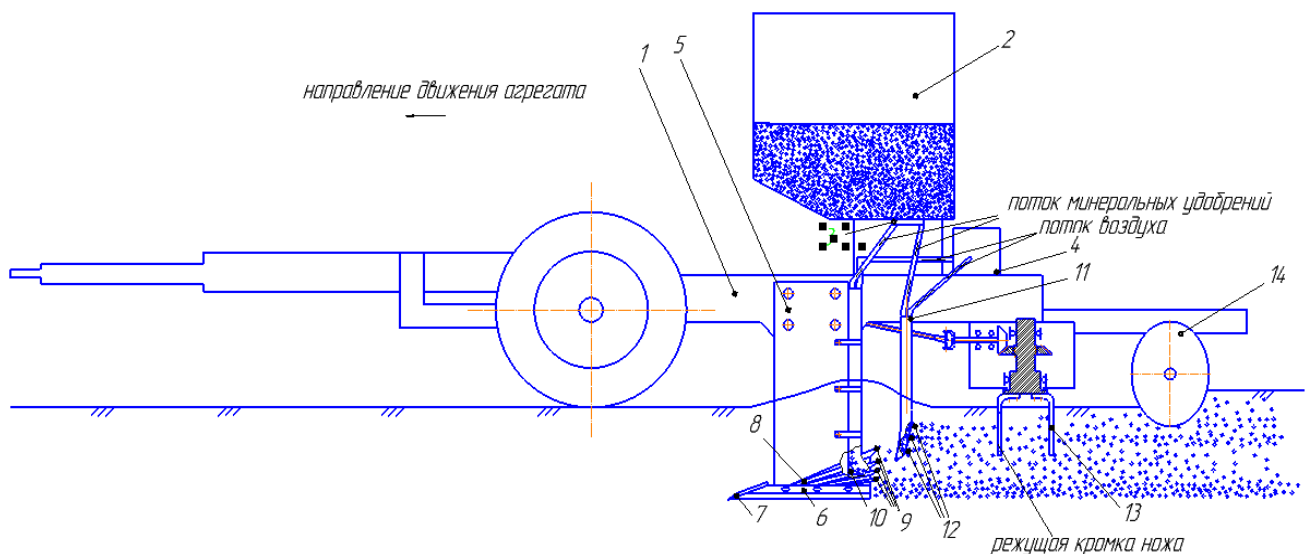


Рисунок 2.3 - Схема агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным по слоям распределением минеральных удобрений под развитие картофеля в Саратовской области: 1 – рама; 2 – бункер для минеральных удобрений; 3 – дозирующее устройство; 4 – вентилятор; 5 – клинообразная стойка; 6 – лемеха; 7 – долото; 8 – отвальные поверхности; 9 – треугольные рыхлительные выступы; 10 – тукорассеиватель; 11 – ножи-удобрители; 12 – туконеправительные пластины; 13 – почвообрабатывающие вертикальные фрезы; 14 – дисковые окучки

Агрегат состоит из рамы 1 с опорно-приводными колесами, бункера 2 для минеральных удобрений с дозирующим устройством 3, имеющим привод от опорно-приводных колес агрегата, вентилятора 4, клинообразной стойки 5. На ней размещен башмак с лемехами 6, долотом 7 и отвальными поверхностями 8, образующими треугольный свод, увеличивающийся по направлению движения аппарата. Сверху свода установлены треугольные рыхлительные выступы 9, имеющие продолжение в виде зубьев за отвальными поверхностями 8. Внутри свода под тукопроводом смонтирован тукорассеиватель 10, связанный с дозирующим устройством 3 и вентилятором 4 соединительными магистралями.

В зоне схода почвенного пласта с отвальных поверхностей 8 башмака и треугольных рыхлительных выступов 9 закреплены два ножа-удобрителя 11. В нижней почвозаглубляющей по направлению движения задней части боковой срез, в овальное отверстие которого на разных уровнях и на минимальную вверху и максимальную внизу глубину внутрь ножа установлены туконаправительные пластины 12. При этом ножи-удобрители 11 связаны с бункером 2 минеральных удобрений и дозирующим устройством 3 соединительными магистралями.

За ножами-удобрителями 11 на раме 1 размещены две почвообрабатывающие вертикальные фрезы 13, которые приводятся от вала отбора мощности трактора (не показан на схеме). Режущая кромка находится на краю полотна ножа фрезы 13.

Расположение почвообрабатывающих фрез и ножей-удобрителей 11, а также схема распределения удобрений показаны на рисунке 2.4.

Агрегат работает следующим образом. В бункер 2, засыпают минеральные удобрения. Туконаправительные пластины 12 устанавливают на минимальную вверху и максимальную внизу глубину внутрь ножа-удобрителя 11. Затем агрегат приводится в движение от трактора. При движении лемех 6 и долото 7 подрезают в горизонтальной плоскости нижний пласт почвы, который затем попадает на наклонные к направлению движения отвальные поверхности 8 башмака с треугольными рыхлительными выступами 9. Проходя по выступам, структура нижнего обрабатываемого слоя почвы становится рыхлой и мелкокомковатой. В результате выступы 9 имеют продолжение за поверхностью 8 в виде зубьев, структурированная почва частично осыпается вниз в промежутки между ними и ча-

стично после схода с них. Вследствие этого обеспечивается эффективное перемешивание почвы и минеральных удобрений. Последние сходят с поверхности тукорассеивателя 10, который направляет их на почву, сходящую с башмака 8. При этом большая часть удобрений поступает из бункера 2 через дозирующее устройство 3 по соединительным магистралям и увлекается на нижний уровень обрабатываемого слоя с постепенным уменьшением их содержания выше нижнего уровня.

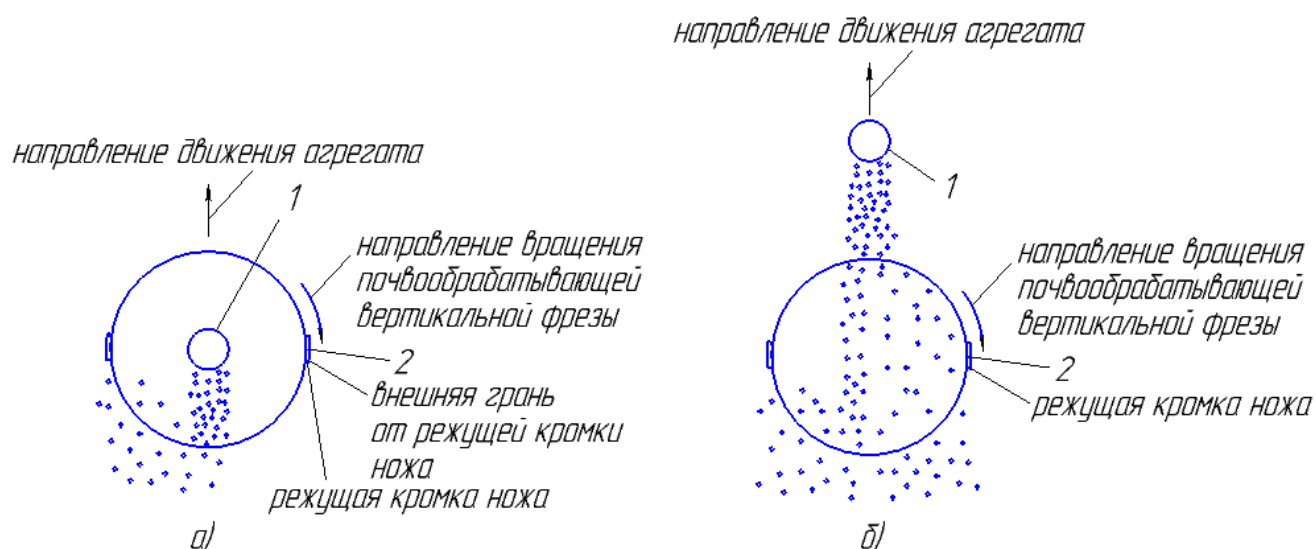


Рисунок 2.4 - Схема распределения удобрений в горизонтальном направлении при различном положении ножа-удобрителя

относительно вертикальной почвообрабатывающей фрезы (вид сверху):

а – распределение туков при однократном воздействии фрезы;

б – распределение туков при двукратном воздействии фрезы; 1 – нож-удобритель;

2 – нож вертикальной почвообрабатывающей фрезы

Ножи-удобрители 11 вносят минеральные удобрения, поступающие из бункера 2 через дозирующее устройство 3 и соединительные магистрали под действием потока воздуха от вентилятора 4, в обрабатываемый верхний слой почвы на различных его уровнях посредством туконаправительных пластин 12.

Вертикальные фрезы 13 перемешивают внесенные ножами-удобрителями 11 удобрения с почвой и, вращаясь навстречу друг другу, перемещают большую их часть в горизонтальной плоскости к центру формируемого окучниками 14

гребня [132]. В результате гребень имеет оптимальное для возделывания в нем картофеля размещение минеральных удобрений с качественным их перемешиванием и распределением по обработанному агрегатом объему почвенного пласта.

Три рабочих органа экспериментального агрегата, два из которых установлены на нем в верхнем, один – в нижнем ярусе, позволяют осуществлять разработанный способ подготовки почвы и послойное внесение в обрабатываемый пласт минеральных удобрений. Аналитическое рассмотрение конструктивно-технологической схемы агрегата выявило пути улучшения выполнения технологического процесса подготовки почвы для возделывания картофеля. При ее проектировании учтены недостатки, присущие устройствам для многослойного внесения удобрений. Фрезерование проводится вертикальными почвообрабатывающими фрезами, которые частично обеспечивают сохранение нижних влажных слоев на прежней глубине их залегания, что снижает скорость испарения влаги из почвы.

### **2.3 Параметры рабочих органов агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений**

Создание на основе разработанной схемы устройства физической модели требует обоснования геометрических, кинематических, режимных и прочих параметров предлагаемой машины. При этом необходимо установить взаимосвязи факторов как в качественном, так и количественном выражении, обуславливающих выполнение данного технологического процесса для достижения его эффективности. Выявленные в ходе исследования управляемые параметры можно изменять для повышения работы агрегата.

Согласно описанию разработанного устройства [114], осуществление крошения и рыхления почвы и внесения нее минеральных удобрений выполняется тремя рабочими органами (рисунок 2.1).

Ярусное расположение рабочих органов агрегата предполагает разделение возделываемого почвенного пласта на нижний и верхний горизонты для выполнения операций обработки и удобрения почвы. Поэтому работу орудий верхнего и нижнего ярусов необходимо согласовать. Результатом согласования должно стать условие обоснования параметров агрегата.

Кинематические и геометрические параметры экспериментального агрегата приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Кинематические и геометрические параметры экспериментального агрегата

Наименование параметра	Обозначение	Размерность
Ширина захвата рыхлительно-удобрительной лапы	$B_{л}$	м
Угловая скорость вращения вертикальной фрезы	$\omega$	рад/с
Расстояние между внешними краями вращающихся вертикальных фрез	$l_{к}$	м
Радиус (диаметр) тукопровода ножа-удобрителя	$R(d)$	м
Агрегат для подготовки почвы:		
длина	$L$	м
ширина	$B$	м
скорость	$v$	км/ч
Вместимость бункера	$M$	кг
Нож-удобритель:		
длина	$l_{н}$	мм
ширина	$b_{н}$	мм
Туконаправительные пластины:		
площадь	$S$	мм <sup>2</sup>
Фреза		
длина	$h$	мм
диаметр	$d_{к}$	мм



Распределение удобрений в горизонтальном направлении целесообразно ограничивать шириной захвата рыхлительно-удобрительной лапы, относящейся к рабочим органам нижнего яруса агрегата и производящей формирование почвенного фона под один ряд посадки клубней картофеля. Если не ограничивать ширину захвата рыхлительно-удобрительной лапы, то рабочие органы верхнего яруса внесут удобрения за пределы обработанного ею почвенного пласта, то есть окажутся в междурядье с необработанными нижними слоями почвы. Кроме того, удобрения будут находиться на значительном расстоянии от слабо развитой корневой системы развивающихся клубней и станут для них не эффективными. Иными словами, оказавшиеся там удобрения следует отнести к потерям.

Установка рабочих органов верхнего яруса в зоне ширины захвата рыхлительно-удобрительной лапы будет характеризоваться тем, что установленные за ними вертикальные фрезы при частоте вращения (согласно техническим характеристикам применяемых в аграрном производстве вертикальных фрез, частоты вращения роторов, составляет  $200 \dots 400 \text{ мин}^{-1}$  и более [24]) будут выносить часть удобрений ножами, осуществляющими перемещение их в горизонтальной плоскости, за пределы посадочного обрабатываемого ряда, их также можно отнести к потерям. Таким образом, расстояние между внешними краями вращающихся вертикальных фрез должно быть таким, при котором ширина обработанной полосы почвы будет меньше ширины захвата рыхлительно-удобрительной лапы.

Рабочие органы верхнего яруса устанавливаются за лапой на ширину ее захвата. При реализации технологического процесса агрегатом стойка рыхлительно-удобрительной лапы будет проходить в вертикальной плоскости по центральной линии и производить рыхление в данном направлении.

Расположение рабочих органов на верхнем и нижнем ярусах по вертикали обусловлено объемным распределением удобрений, которое не обеспечивает рыхлительно-удобрительная лапа из-за конструктивной конфигурации.

Поскольку внесение удобрений в почву лапой происходит через заднюю по направлению движения агрегата открытую грань треугольного свода, то мак-

симальный объем удобрений должен распределяться по размерам этого свода. Расположение рабочих органов верхнего яруса по горизонтали и ширине захвата рыхлительно-удобрительной лапы предполагает распределение удобрений по всему объему обрабатываемого почвенного пласта. В связи с этим необходимо наличие зоны перекрытия глубины обработки почвы рабочими органами верхнего яруса и высоты обрабатываемого рыхлительно-удобрительной лапой нижнего горизонта почвы.

С учетом вышеизложенного создан агрегат для послойного дифференцированного распределения удобрений.

Оценкой работоспособности агрегата может служить объемное и количественное распределение удобрений в почве по слоям. Концентрация их должна увеличиваться от глубины обработки почвы. Так как в связи с показателями содержания удобрений в каждом отдельно взятом слое возможно использовать их концентрацию, выраженную через отношение числа частиц удобрений к занимаемому ими объему.

Пространственная модель экспериментального агрегата представлена на рисунке 2.5.

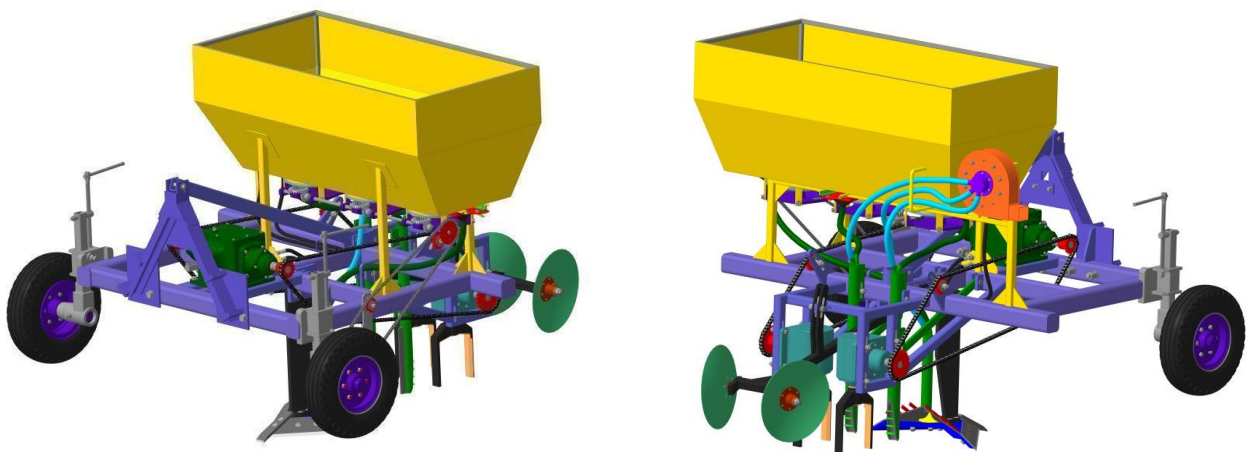


Рисунок 2.5 - Пространственная модель экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений

## 2.4 Исследование процесса разрушения почвенного слоя подрезающей лапой

Процесс образования почвенных комков при работе агрегата очень важен для последующего дифференцированного внесения удобрений [74]. Чем меньше образующиеся комки, тем легче будет происходить распределение гранул по высоте и ширине и смешивание их с почвой. Поэтому необходимо стремиться к максимальному измельчению почвенного пласта.

Рассмотрим движение почвенного слоя при работе серийного рабочего органа [87, 129,138]. В этом случае после воздействия лемеха почвенный слой укладывается также на поверхность почвы, которая имеет форму плоскости. Поэтому слой крошится главным образом после схода с рабочей поверхности лемеха. На каждое сечение среза почвы осуществляется только одно крошащее воздействие. При этом пласт работает на разрыв. Разрывающее усилие создает сила тяжести.

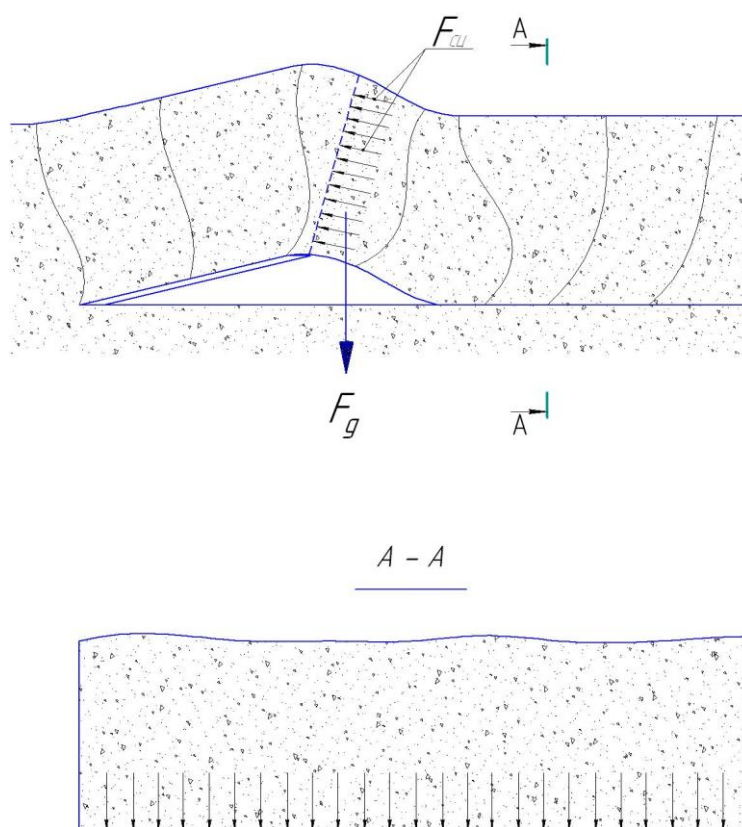


Рисунок 2.6 - Схема разрушения почвенного пласта при работе серийного рабочего органа

Разрушение почвенного слоя и образование почвенных комков серийным рабочим органом определяется условием:

$$F_g > F_{\text{сц}}, \quad (2.1)$$

где  $F_g$  – сила тяжести части почвенного пласта, находящейся без опоры после схода с лемеха, н;

$F_{\text{сц}}$  – сила сцепления почвы, н.

Сила сцепления фактически представляет собой предел прочности почвы на растяжение. Тогда

$$F_{\text{сц}} = \sigma_p l h, \quad (2.2)$$

где  $\sigma_p$  – напряжение растяжения, МПа;

$h$  – высота почвенного слоя, м;

$l$  – его ширина, м.

Поскольку силы действуют в разных направлениях и под разными углами, то они создадут поворачивающие моменты. Условие равновесия будет иметь вид:

$$F_g a = \sigma_p l h^2 / 2, \quad (2.3)$$

где  $a$  – плечо приложения силы тяжести, мм;

$h^2/2$  – расстояние от мгновенного центра поворота сечения отделяемого слоя почвы, мм.

Поскольку свойства почвы не стабильны и сопротивление разрыву постоянно меняется, то разрушение слоя на комки происходит неравномерно. Разрыв образуется тогда, когда

$$mga > \sigma_p l h^2 / 2, \quad (2.4)$$

В этом случае внутри пласта происходит один разлом. Если сцепление между частицами почвы мало, образуется несколько разломов и несколько комков.

Количество разломов составляет

$$n = \frac{F_g a}{\sigma_p l h^2 / 2}. \quad (2.5)$$

От количества разломов зависит крупность комков [68]. После схода с лемеха комки укладываются на относительно ровную поверхность почвы и в последующем не меняют форму до воздействия следующих рабочих органов: ножа-удобрителя и фрез. С учетом того, что прочность почвы меняется в широких пределах даже на небольшой длине, то трещины и разломы могут образовываться очень неравномерно, поэтому возникают комки различных размеров.

В предлагаемом рабочем органе за лемехом следуют пластины треугольной формы с вершиной вверху. Поэтому после схода с поверхности лемеха почвенный пласт попадает на треугольные выступы пластин (рисунок 2.7).

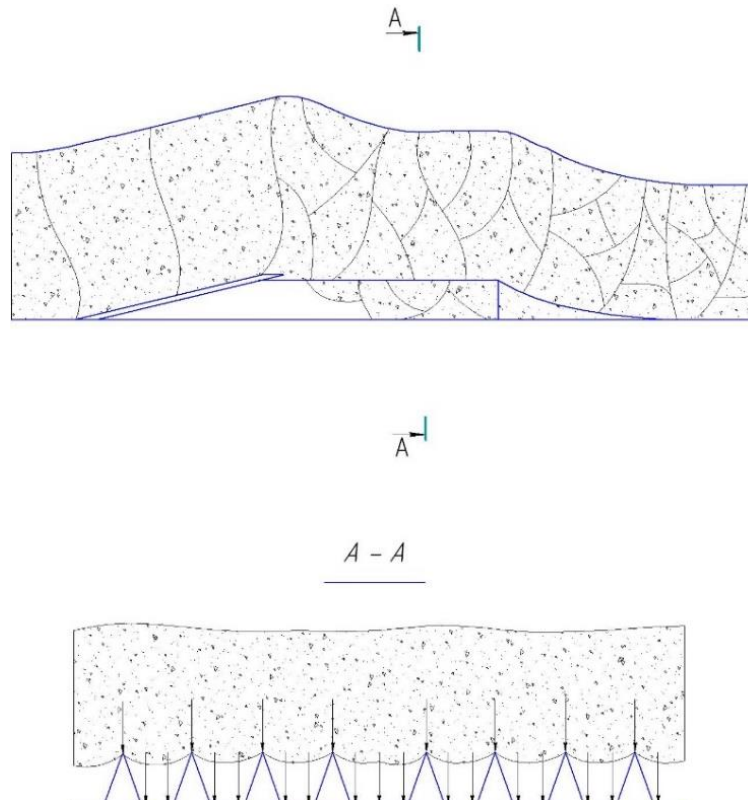


Рисунок 2.7 - Схема разрушения почвенного пласта при работе предлагаемого рабочего органа с треугольными выступами

При этом каждая часть пласта оказывается на некоторое время на двух острых краях треугольных пластин (рисунок 2.8). Под действием силы тяжести пласта острые края внедряются в него, вызывая разрушение поперек ранее образовавшихся расколов. Кроме того, под действием силы тяжести пласт прогибается между пластинами. В результате прогиба возникают трещины, и происходит разрушение пласта с образованием более мелких комков.

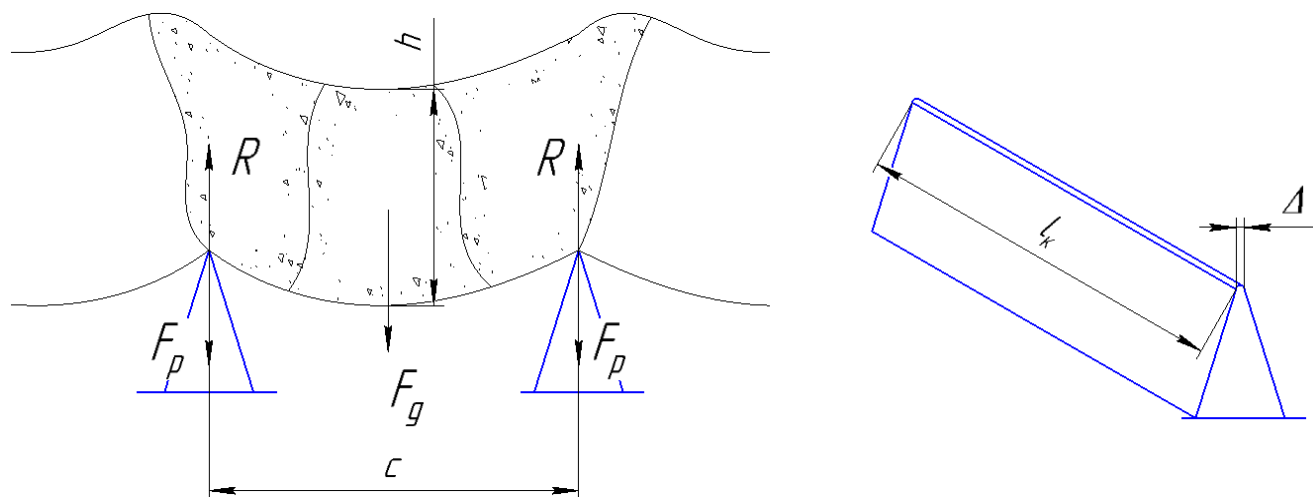


Рисунок 2.8 - Схема разрушения почвенного пласта при работе предлагаемого рабочего органа с треугольными выступами

Сопротивление внедрению кромки треугольных пластин составит:

$$F_p = \tau_p \Delta l_k, \quad (2.6)$$

где  $\tau_p$  – сопротивление резанию, МПа;

$\Delta$  и  $l_k$  – толщина и длина режущей кромки треугольных пластин, мм.

Так как сопротивление резанию больше сопротивления растяжению, то образовавшиеся на лемехе почвенные комки будут дополнительно разрушаться на треугольных пластинах. При движении агрегата по полю возникают вибрации и почвенные комки испытывают знакопеременные ускорения, в результате которых происходит дополнительное крошение [31, 32, 51]. Количество образующихся комков может быть определено по формуле:

$$n = \left( \frac{F_g a}{\sigma_p l h^2 / 2} + \frac{F_g}{\tau_p \Delta l_k} N \right) K_{\text{дк}}, \quad (2.7)$$

где  $N$  – количество треугольных пластин рабочего органа;

$K_{\text{дк}}$  – коэффициент дополнительного крошения от вибраций, колебаний и др.

В последней формуле прочностные характеристики почвы могут значительно меняться даже на небольшой длине. Данное изменение носит случайный характер, что также приводит к образованию почвенных комков разных размеров. Поэтому вышеприведенная формула может быть уточнена экспериментально.

## **2.5 Теоретическое обоснование процесса подготовки почвенной среды под развитие картофеля рабочими органами агрегата**

### ***2.5.1 Исследование транспортирования удобрений пневмосистемой***

Для теоретического обоснования параметров экспериментального агрегата необходима его среднесуточная и техническая производительность [19]. Длину транспортного трубопровода и коэффициент концентрации смеси можно уточнить из литературы [79].

Техническую производительность подачи минеральных удобрений в почву определяют из общей формулы производительности:

$$Q_T = \frac{Q_c k k_1}{t}, \quad (2.8)$$

где  $Q_c$  – среднесуточная производительность агрегата, кг/сут;

$k$  – коэффициент неравномерности подачи материала

в трубопровод в течение суток,  $k = 1,5$ ;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий перспективы производительности,  $k_1 = 1,25$ ;

$t$  – время работы агрегата в сутки, ч.

Надежно транспортирующую скорость воздуха обоснуем с учетом скорости витания частиц удобрений в вертикальном участке тукопровода  $v_b$ , м/с:

$$v_b = \text{Re} \frac{v}{d}, \quad (2.9)$$

где  $\text{Re}$  – число Рейнольдса,

$$\text{Re} = \frac{Ar(1-\beta)^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar(1-\beta)^{4,75}}}; \quad (2.10)$$

где  $Ar$  – критерий Архимеда,

$$Ar = \frac{d^3 g(\rho_y - \rho)}{\rho v^2}, \quad (2.11)$$

где  $d$  – эквивалентный диаметр частиц удобрений, мм;

$g$  – ускорение силы тяжести; м/с<sup>2</sup>;

$\rho_y$  – плотность удобрений, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность воздуха при температуре транспортирования, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – объемная доля твердой фазы,

$$\beta = \frac{V_y}{V_c} = \frac{V_y}{V_y + V_B} = \frac{\frac{P_T}{\rho_y}}{\frac{P_T}{\rho_y} + \frac{P_B}{\rho}} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_y}{\mu\rho}}, \quad (2.12)$$

где  $V_y$  – объем удобрений, м<sup>3</sup>;

$P_T$  – потери давления на трение о стенки тукопровода, МПа;

$V_c$  – суммарный объем удобрений, м<sup>3</sup>;

$V_B$  – объем воздуха, м<sup>3</sup>;

$P_B$  – давление воздуха, МПа;



$\mu$  – коэффициент концентрации смеси воздуха и удобрений;

$\nu$  – кинематическая вязкость воздуха при температуре транспортирования, м<sup>2</sup>/с,

$$\nu = \frac{\mu^*}{\rho}; \quad (2.13)$$

где  $\mu^*$  – динамическая вязкость воздуха при температуре транспортирования, кг/м · с;

Надежно транспортирующая скорость воздуха в вертикальном участке тукопровода равна  $v_{\text{в}} = v_b$ , а в горизонтальном -  $v_{\text{г}} = 2 v_b$ . Так как конструкция агрегата содержит вертикальные и горизонтальные участки, то транспортирующая скорость воздуха по всему тукопроводу принимается по его горизонтальному участку.

Секундный расход воздуха

$$Q_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{т}}}{3600 \rho \mu}, \quad (2.14)$$

где  $Q_{\text{т}}$  – техническая производительность подачи удобрений, кг/сут.;

$\mu$  – коэффициент концентрации смеси воздуха и удобрений.

Внутренний диаметр ножа-удобрителя, м:

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{в}}}{\pi g}}. \quad (2.15)$$

Общие потери давления в соединительных тукопроводах и в ноже-удобрителе агрегата по абсолютному значению не велики. Однако при использовании вентилятора малой мощности их необходимо учитывать. Основными видами сопротивления будут потери давления на разгон гранул, на трение о стенки тукопровода и ножа-удобрителя, от местных сопротивлений.

Потери давления на разгон  $\Delta P_{\text{разг}}$  зависят от скорости воздушного потока и коэффициента концентрации смеси  $\mu$ :

$$\Delta P_{\text{разг}} = K_p \mu \frac{\rho g^2}{2g}, \quad (2.16)$$

где  $K_{\text{разг}}$  – коэффициент сопротивления разгонного участка,  $K_{\text{разг}} = 1 \div 2,1$ .

Потери давления на трение о стенки тукопровода

$$P_{\text{т}} = \lambda \frac{\Sigma l_{\text{тук}}}{d_{\text{н}}} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2.17)$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения чистого воздуха о стенки тукопровода;

$\Sigma l_{\text{тук}}$  – суммарная длина всех участков горизонтальных,  
вертикальных и эквивалентных отводов, м.

Потери давления от местных сопротивлений

$$P_{\text{м}} = \Sigma \zeta_i \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2.18)$$

где  $\Sigma \zeta_i$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Тогда суммарные потери давления в пневмосистеме агрегата составят:

$$\Sigma P_{\text{с}} = \left( \lambda \frac{\Sigma l_{\text{тук}}}{d_{\text{н}}} + \Sigma \zeta_i \right) \frac{\rho g^2}{2g} (1 + k\mu) + \rho \mu \Sigma H + \Delta P_{\text{разг}}, \quad (2.19)$$

где  $\Sigma H$  – суммарная длина вертикальных и горизонтальных участков тукопровода, м.

С учетом потерь давления находят мощность привода вентилятора:

$$N = \frac{K_1 Q_{\text{в}} K_2 \Sigma P_{\text{с}}}{102\eta}, \quad (2.20)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий негерметичность системы,  $K_1 = 1,15$ ;

$K_2$  – коэффициент неучтенных потерь в тукопроводе

и ноже-удобрителя,  $K_2 = 1,1$ ;

$\eta$  – КПД, принимается в зависимости от выбранного типа вентилятора.

Минеральные удобрения под действием достаточного потока воздуха от вентилятора поступают в обрабатываемый верхний слой почвы на различных его уровнях посредством туконаправительных пластин.

### ***2.5.2 Обоснование параметров ножей, вносящих удобрение***

Существенно влияющими на работу агрегата параметрами являются:

- диаметр ножей, необходимый для транспортирования воздушным потоком удобрений;
- длина ножей для внесения удобрений в почву;
- необходимая скорость воздушного потока.

В аэродинамике воздух рассматривается как несжимаемая жидкость, то есть такая среда, плотность которой не меняется с изменением давления. С стационарным считается поток, в котором частицы перемещаются по неизменным во времени траекториям, называемым линиями тока. Скорости воздуха обратно пропорциональны площадям сечений. И чем больше площадь сечения, тем меньше скорость воздуха, протекающего через него, и наоборот. Причина изменения скорости в горизонтальной трубе - разность давлений в широком и узком ее участках. В широкой части давление выше, чем в узкой, а скорость ниже. При стационарном перемещении воздуха давление больше в тех местах, где меньше его скорость, и наоборот.

Зависимость между давлением и средней скоростью при  $B = \text{const}$  можно выразить через уравнение, основанное на втором законе Ньютона и законе Бернулли:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = B; \quad (2.21)$$

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = B, \quad (2.22)$$

где  $P$  – давление в точке пространства, в которой расположен центр

- массы воздуха, МПа;
- $v$  – скорость потока воздуха, м/с;
- $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;
- $h$  – высота, на которой расположен бункер с удобрениями, м;
- $\rho$  – плотность воздуха ( $\rho = 1,23$  кг/м<sup>3</sup>),
- $B$  – максимальная высота нахождения удобрений, м.

Дальнейшее обоснование параметров ножей основано на положениях аэродинамики и гидродинамики.

Линейная скорость перемещения потока воздуха через сечение тукопровода  $\bar{v}$  связана с его вязкостью и сопротивлением движению:

$$(\bar{v}, \bar{v})\bar{v} = \eta \Delta \bar{v}. \quad (2.23)$$

Чем выше скорость потока воздуха, тем меньше давление, и наоборот.

$$(\bar{v}, \bar{\nabla})\bar{v} = \frac{\nabla P}{\rho} + \frac{\eta}{\rho} \Delta \bar{v}, \quad (2.24)$$

$\bar{\nabla}$  – оператор Лапласа при  $(\bar{v}, \bar{\nabla})\bar{v} = 0$ ,

$$\bar{\nabla} = \bar{i} \frac{d}{dx} + \bar{j} \frac{d}{dy} + \bar{k} \frac{d}{dz}. \quad (2.25)$$

С учетом выражения (2.24) можно записать:

$$\frac{\nabla P}{\rho} = \frac{\eta}{\rho} \Delta \bar{v}. \quad (2.26)$$

Распишем составляющие выражения (2.26)

$$-\frac{P_1 - P_2}{L} = \eta \frac{1}{r} \frac{d}{dr} r \frac{d}{dr} v, \quad (2.27)$$

где  $P_1$  – давление в точке входа в нож-удобритель, МПа;

$P_2$  – давление в точке выхода из ножа-удобрителя, МПа;

$r$  – радиус ножа-удобрителя, м;

$v$  – скорость потока воздуха, м/с;

$L$  – длина ножа-удобрителя, м.

Преобразуем и проинтегрируем выражение (2.28):

$$-\frac{P_1 - P_2}{L\eta} \int r dr = \int d\left(r - \frac{d}{dr}v\right). \quad (2.28)$$

В результате получим:

$$-\frac{P_1 - P_2}{L\eta} \frac{r^2}{2} = r \frac{dv}{dr} + B. \quad (2.29)$$

Выражение (2.29) связывает между собой давление, скорость потока воздуха и геометрические параметры: длину ножа-удобрителя и его радиус (диаметр).

Определим объемную производительность пневмосистемы применительно к параметрам ножа-удобрителя. Рассмотрим уравнение (2.22). Смесь минеральных удобрений с потоком воздуха рассмотрим как «вязкий газ». Тогда

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = B. \quad (2.30)$$

Уравнение (2.30) перепишем в виде:

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} = \frac{P}{\rho} + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2}. \quad (2.31)$$

Преобразуем формулу (2.30):

$$\frac{P}{\rho} = \frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} (1 - \cos^2 \alpha). \quad (2.32)$$

Отсюда

$$P = P_0 + \rho \frac{v_0^2}{2} \sin^2 \alpha; \quad (2.33)$$

$$P - P_0 = \rho \frac{v_0^2}{2} \sin^2 \alpha. \quad (2.34)$$

Выражение (2.34) позволяет получить объемный расход воздуха  $Q$ :

$$Q = \frac{R^4}{8L\eta} \rho \frac{v_0^2}{2} \sin^2 \alpha \quad (2.35)$$

или

$$Q = \frac{\rho R^4 v_0^2 \sin^2 \alpha}{16L\eta}. \quad (2.36)$$

Элементарный расход воздуха определяют умножением скорости потока на элементарную площадь сечения тукопровода, м<sup>3</sup>/с :

$$dQ = v(r) dS \quad (2.37)$$

Отсюда

$$dS = 2\pi r dr, \quad (2.38)$$

где  $S$  – площадь сечения тукопровода, м<sup>2</sup>.

Уравнение (2.38) примет вид:

$$dS = \pi(r + dr)^2 - \pi r^2 \quad (2.39)$$

или

$$dS = \pi r^2 + 2\pi r dr + \pi dr^2 - \pi r^2. \quad (2.40)$$

Решая совместно выражения (2.28) и (2.40), получим:

$$dQ = \frac{P_1 - P_2}{4L\eta} (R^2 - r_B^2) 2\pi r dr. \quad (2.41)$$

где  $R$  – радиус входа тукопровода в нож-удобритель, м;

$r_B^2$  – радиус воздуховода.

Откуда

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^R \frac{P_1 - P_2}{4L\eta} (R^2 - r_B^2) 2\pi r dr = \frac{2\pi(P_1 - P_2)}{4L\eta} \int_0^R (R^2 - r_B^2) r dr = \\ &= \frac{P_1 - P_2}{2L\eta} (R^2 \int_0^R r dr - \int_0^R r_B^2 dr) = \frac{P_1 - P_2}{2L\eta} (R^2 \frac{R^2}{2} - \frac{R^4}{4}) = \frac{(P_1 - P_2)}{8L\eta} R^4. \end{aligned} \quad (2.42)$$

Выражение (2.42) позволяет установить зависимость объемного расхода воздуха в тукопроводе ножа-удобрителя от его длины, радиуса и разности на его входе и выходе. Анализ уравнения показывает, что объемный расход воздуха прямо пропорционален разности давлений, обратно пропорционален длине участков пневмосистемы агрегата. Зависимость от радиуса трубопровода имеет четвертую степень, что указывает на значимость данного параметра.

Необходимым параметром является и скорость движения воздушного потока с минеральными удобрениями.

Выражения (2.23), (2.24), (2.26) позволяют записать:

$$v = \frac{\eta}{\rho}. \quad (2.43)$$

Перепишем формулу (2.29) в виде:

$$r \frac{dv}{dr} = B - \frac{P_1 - P_2}{L\eta} \frac{r^2}{2}. \quad (2.44)$$

Разделив обе части уравнения (2.44) на  $r$ , получим:

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{B}{r} - \frac{P_1 - P_2}{L\eta} \frac{r^2}{2}. \quad (2.45)$$

Умножим обе части на  $dr$  и проинтегрируем:

$$\int dv = B \int \left[ \frac{dr}{r} - \frac{P_1 - P_2}{L\eta} \frac{r^2}{2} \right] r dr. \quad (2.46)$$

В результате

$$v(r) = -B \ln r - \frac{P_1 - P_2}{4L\eta} r^2 + B, \quad (2.47)$$

Тогда

$$v(r) = B - \frac{P_1 - P_2}{4L\eta} r^2. \quad (2.48)$$

Так как начальная скорость потока воздуха больше конечной скорости, а начальная скорость минеральных удобрений равна нулю, то и постоянная  $B$  также равна нулю. Знак перед дробью меняется на противоположный. Окончательно скорость минеральных удобрений, перемещаемых потоком воздуха, составит

$$v(r) = \frac{P_1 - P_2}{4L\eta} (R^2 - r_B^2). \quad (2.49)$$

Выражение (2.49) позволяет определять скорость гранул удобрений в зависимости от размеров ножа-удобрителя и давления, создаваемого вентилятором. Также можно решить обратную задачу – зная необходимую скорость, определить рабочее давление вентилятора или геометрические размеры элементов пневмосистемы.



### 2.5.3 Теоретическое обоснование параметров вентилятора

Воздушный поток выполняет функцию перемещения гранул удобрения от бункера и разгон их до скорости, при которой они рассеиваются в почвенном слое. Подачу воздушного потока обеспечивает вентилятор, для обоснования параметров которого необходимо исследовать процесс движения гранул по тукопроводу ножа-удобрителя. Для рассмотрения данного движения примем положение классической механики о том, что центр масс системы движется как материальная точка, в которой сосредоточена масса всей системы и на которую действует сила, равная геометрической сумме всех внешних сил, действующих на систему.

Используя второй закон Ньютона, получим закон движения центра масс:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i; \quad (2.50)$$

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} - \gamma(\vec{v} - \vec{V}), \quad (2.51)$$

где  $m$  – масса гранулы удобрения, г;

$\vec{v}$  – скорость движения центра масс, м/с;

$\vec{F}_i$  – сила, действующая на гранулу (центр масс), Н;

$t$  – момент времени, с;

$\vec{g}$  – вектор силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\gamma$  – коэффициент сопротивления движению;

$\vec{V}$  – постоянная скорость потока воздуха в тукопроводе, создаваемая вентилятором, м/с.

Дифференциальное уравнение движения центра масс будет иметь вид:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} - \gamma\vec{v} + \gamma\vec{V}. \quad (2.52)$$

Преобразуем выражение (2.52):

$$m \frac{d\bar{v}}{dt} + \gamma v = mg + \gamma V; \quad (2.53)$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{\gamma}{m} v = g + \frac{\gamma V}{m}. \quad (2.54)$$

Скорость движения центра масс будет

$$\frac{dv}{dt} + \frac{\gamma}{m} v = 0. \quad (2.55)$$

Тогда

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\gamma}{m} v \quad (2.56)$$

или

$$\frac{dv}{v} = -\frac{\gamma}{m} dt. \quad (2.57)$$

Выражения (2.57) примет вид:

$$\ln v = -\frac{\gamma}{m} t + \ln B. \quad (2.58)$$

Откуда

$$\ln \frac{v}{B} = -\frac{\gamma}{m} t, \quad (2.59)$$

$$\frac{v}{B} = e^{-\frac{\gamma}{m} t}. \quad (2.60)$$

Окончательно скорость движения центра масс в момент времени  $t$  составит:

$$v(t) = Be^{-\frac{\gamma}{m}t}. \quad (2.61)$$

Частное неоднородное соответствует начальной скорости  $v_{\text{ч.н}} = B$ :

$$\gamma B = mg + \gamma V; \quad (2.62)$$

$$B = \frac{mg}{\gamma} + V. \quad (2.63)$$

Общее решение неоднородного уравнения:

$$v_{\text{о.н}} = v_{\text{о.о}} + v_{\text{ч.н}}; \quad (2.64)$$

$$v(t) = \frac{mg}{\gamma} + V + Be^{-\frac{\gamma}{m}t}. \quad (2.65)$$

Граничным условием является скорость, равная нулю

$$v(0) = 0 = \frac{mg}{\gamma} + V + B. \quad (2.66)$$

Откуда:

$$B = \frac{mg}{\gamma} - V; \quad (2.67)$$

$$v(t) = \frac{mg}{\gamma} + V - \left(\frac{mg}{\gamma} + V\right)e^{-\frac{\gamma}{m}t}; \quad (2.68)$$

Получим выражение для определения скорости движения центра масс:

$$v(t) = \frac{mg}{\gamma} \left(1 - 1e^{-\frac{\gamma t}{m}}\right) = \frac{mg}{\gamma} \frac{\gamma t}{m}; \quad (2.69)$$

## 2.6 Исследование дифференцированного количества минеральных удобрений, вносимых туконаправительными пластинами

Конструкция туковысевающего аппарата предусматривает возможность регулирования интенсивности подачи удобрений, которая зависит от следующего:

- площади дозирующей щели. Она регулируется посредством специального рычага, изменяющего вылет направляющего скребка. Каждому положению рычага устанавливающего определенную дозу внесения удобрений, соответствует деление на циферблате;

- скорости вращения диска туковысевающего аппарата, увлекающего за собой нижний слой удобрений. Посредством шестерен и цепи вращение передается от опорного колеса агрегата диску туковысевающего аппарата. Предусмотрена регулировка с помощью рычага и шестерни.

Установлена норма внесения удобрений сконструированным агрегатом, составляющая 300 кг/га, что соответствует почвенным условиям. Инновационным является послойное распределение удобрений с увеличением их концентрации на большей глубине почвы, что позволяет повысить урожайность картофеля.

Количество вносимых минеральных удобрений ножами-удобрителями зависит от площади туконаправительных пластин (рисунок 2.9):

$$S_i = \frac{1}{2} R_{н_i} (\beta_i - \sin \beta_i), \quad (2.70)$$

где  $S_i$  – площадь туконаправительных пластин ножа-удобрителя, м<sup>2</sup>;

$r_{н_i}$  – радиус ножа-удобрителя, м;

$\beta_i$  – угол туконаправительной пластины ножа-удобрителя.

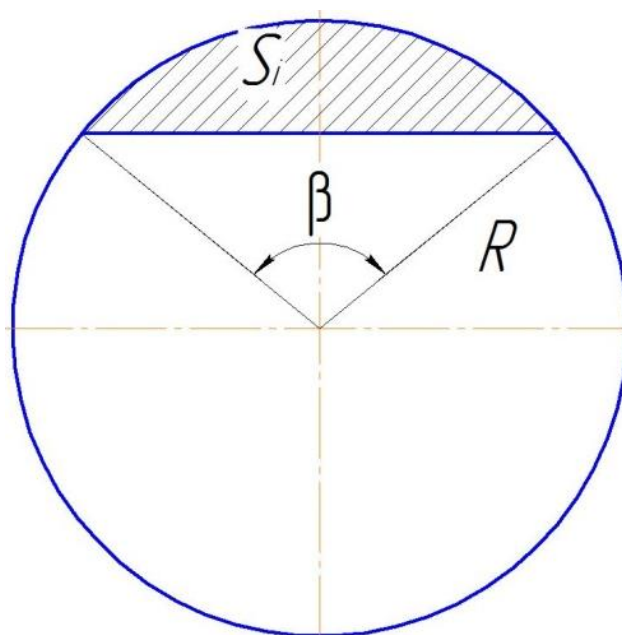


Рисунок 2.9 – Площадь туконаправительных пластин  
ножей-удобрителей

Коэффициент послойного дифференцированного внесения удобрений туконаправительными пластинами определяли по формуле:

$$k_i = \frac{S_i}{S_{\text{кр}}}, \quad (2.71)$$

где  $S_{\text{кр}}$  – площадь основания ножа-удобрителя, м,

$$S_{\text{кр}} = \frac{\pi d_{\text{н}}^2}{4}; \quad (2.72)$$

Нож-удобритель имеет магистраль с круглым сечением. Тогда с учетом площади сечения [94], можно установить коэффициент внесения минеральных удобрений в 1-й слой почвы:

$$k_1 = \frac{l_1}{S_{\text{кр}}}, \quad (2.73)$$

где  $l_1 = l'_1 \sin \alpha$ ;

$l_1, l_2, l_3$  – длина перпендикуляра, восстановленного от стенки ножа к направляющей пластине, м;

$l'_1, l'_2, l'_3$  – длина направляющей пластины (рисунок 2.10);

$\alpha$  – угол наклона пластины.

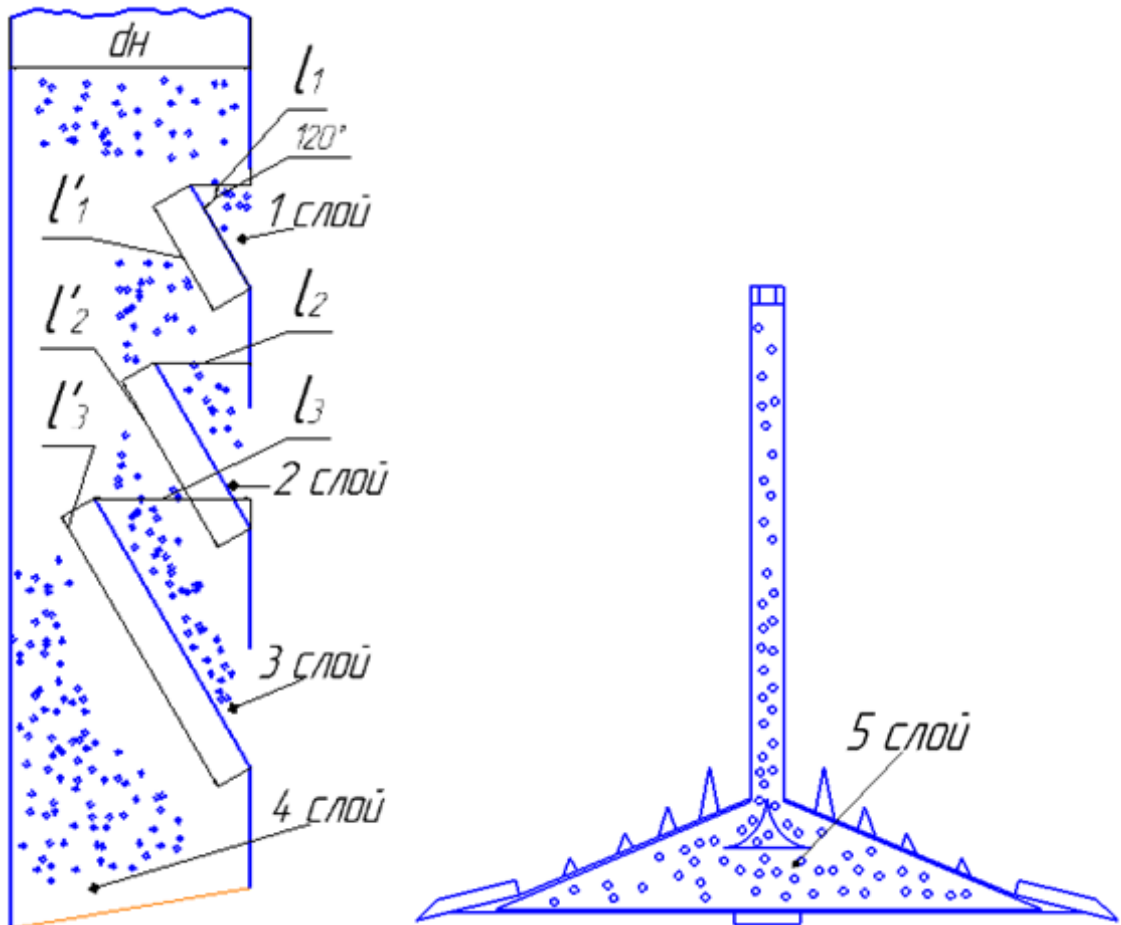


Рисунок 2.10 – Послойное распределения минеральных удобрений

Гранулы минеральных удобрений движутся вниз под действием силы тяжести и силы воздушного потока. Попадая на поверхность пластины, они отскакивают и оказываются в почвенном слое.

Коэффициент внесения минеральных удобрений:

в первый слой

$$k_1 = \frac{l_1}{S_{\text{кр}}}; \quad (2.74)$$

$$l_1 = l'_1 \sin \alpha; \quad (2.75)$$

во второй слой

$$k_2 = \frac{l_2 - l_1}{S_{\text{кр}}}; \quad (2.76)$$

$$l_2 = l'_2 \sin \alpha; \quad (2.77)$$

в третий слой

$$k_3 = \frac{l_3 - l_2}{S_{\text{кр}}}; \quad (2.78)$$

$$l_3 = l'_3 \sin \alpha; \quad (2.79)$$

в четвертый слой

$$k_4 = \frac{d_{\text{н}} - l_{\text{в}}}{S_{\text{кр}}}; \quad (2.80)$$

в пятый слой (под лапой)

$$k_5 = \frac{d_{\text{н}}}{S_{\text{кр}}}; \quad (2.81)$$

Проведенные теоретические исследования разработанного агрегата для формирования гребневидного почвенного фона позволили выяснить общий характер процесса внесения и послойного распределения минеральных удобрений под развитие картофеля.

Послойное распределение минеральных удобрений в почве приведено на рисунке 2.11.

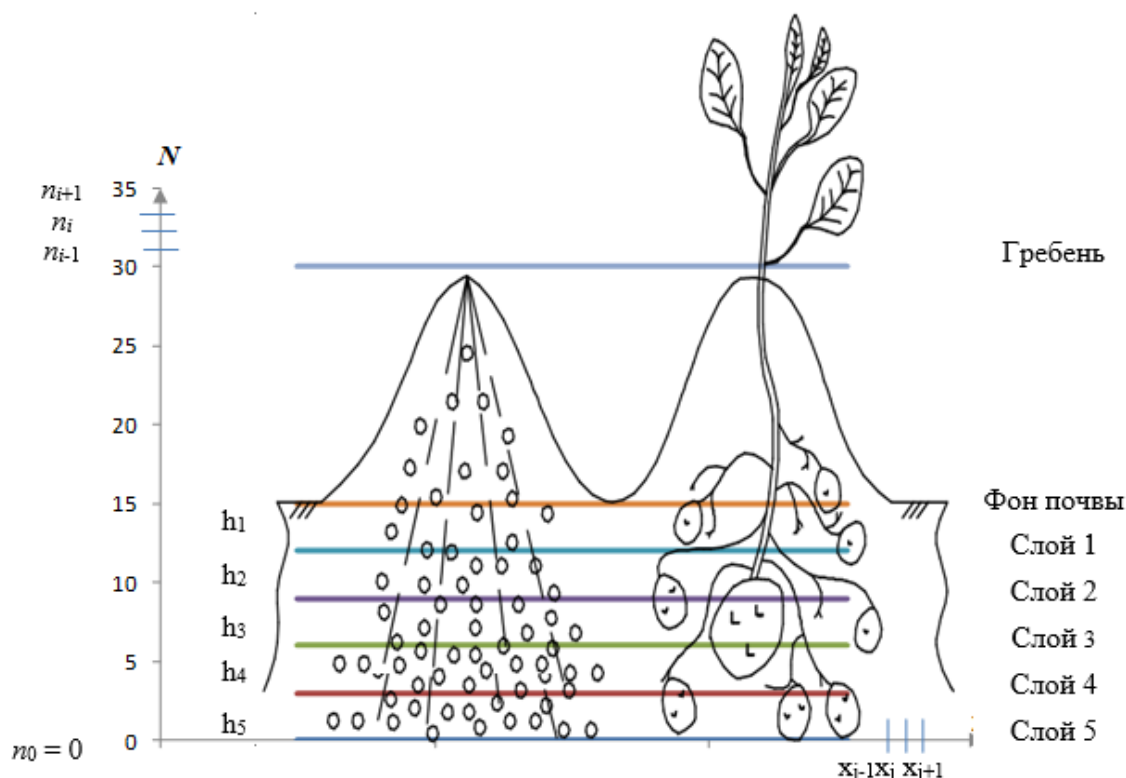


Рисунок 2.11 - Послойное дифференцированное распределение минеральных удобрений после подготовки почвы под посадку картофеля агрегатом:

$n_{i-1}, n_i, n_{i+1}$  - производные точки оси  $ON$ ;

$x_{j-1}, x_j, x_{j+1}$  - производные точки оси  $OX$ ;

$h_1, \dots, h_5$  - высота слоя почвы;

$n_1, \dots, n_5$  - величины, определяющие толщину слоя почвы на срезе

На первом этапе моделирования процесса послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений в почвенном горизонте, рассмотрим плоскость  $NOX$ , позволяющую представить срез почвы, подготовленной под посадку картофеля агрегатом.

Множество точек  $\{n_i\}_{i=0}^{\infty}$  образует ось  $ON$ , множество точек  $\{x_j\}_{j=0}^{\infty}$  - ось  $OX$ .

Ось  $ON$  определяет вертикальный срез почвы на глубину  $[[n_0; n_5]]$ , ось  $OX$  - горизонтальный срез почвы.

Так как глубина обработки почвы под возделывание картофеля ограничена технологией посадки, то  $[[n_1; n_5]]$  - длина интервала, которая соответствует высоте слоя почвы.



Множество прямых, описываемых уравнениями вида

$$\begin{aligned} n &= n_1; \\ n &= n_2; \\ &\dots \\ n &= n_5; \\ \text{при } x &\in [0; +\infty], \end{aligned} \tag{2.82}$$

отражает послойное дифференцированное распределение минеральных удобрений в почве после подготовки ее под посадку картофеля.

Высоту каждого слоя почвы вычисляют по следующей формуле:

$$h_i = n_i - n_{i+1}; \tag{2.83}$$

Таким образом

$$h_1 = n_1 - n_2; \tag{2.84}$$

$$h_2 = n_2 - n_3; \tag{2.85}$$

$$h_3 = n_3 - n_4; \tag{2.86}$$

$$h_4 = n_4 - n_5; \tag{2.87}$$

$$h_5 = n_5 - n_0. \tag{2.88}$$

При этом слои имеют постоянную (неизменную) величину, обусловленную конструкцией агрегата и его рабочих органов.

Величина, взятая по модулю  $H = |[n_0; n_5]|$ , соответствует глубине обработки почвы под возделывание картофеля и зависит от настройки (заглубления) рабочего органа - лапы.

Так как  $n_0 = 0$ , то фактически  $H = n_1$ , тогда

$$h_1 = |[n_1; n_2]|, h_2 = |[n_2; n_3]|, \dots, h_5 = |[n_5; n_0]|, \text{ т.е. } h_i = |[n_i; n_{i+1}]|.$$

Высота слоев почвы может увеличиваться в зависимости от количества удобрений, поступающих в рабочие органы агрегата, которые перемещаются потоком воздуха, создаваемого вентилятором (рисунок 2.12).

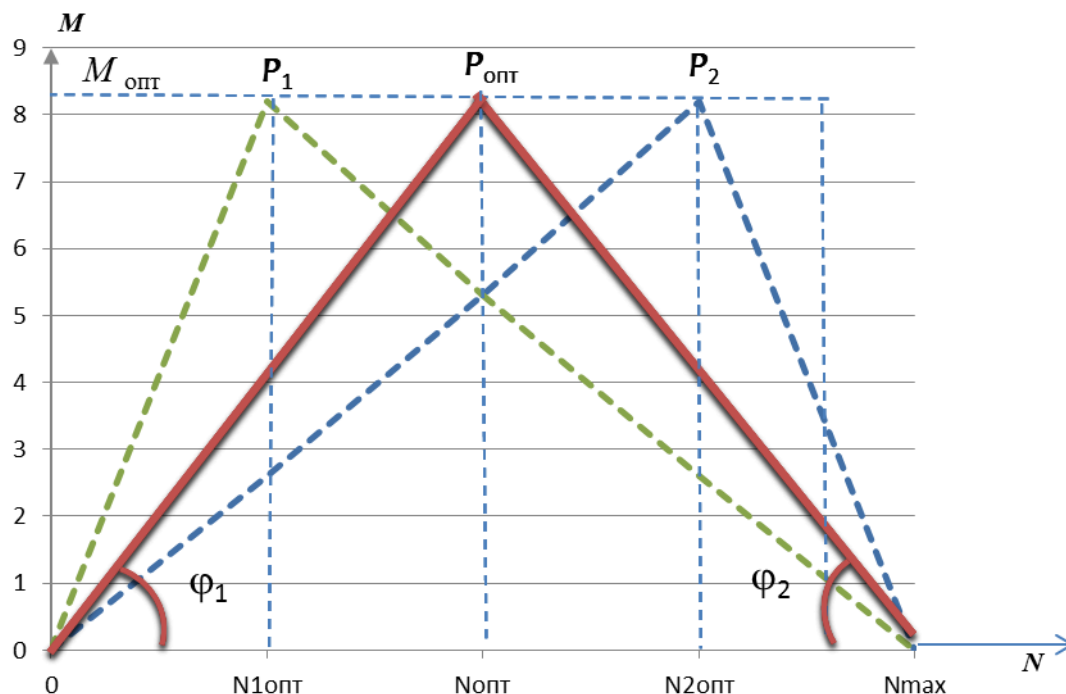


Рисунок 2.12 - Зависимость массы минеральных удобрений,

вносимых послойно в почвенный горизонт от мощности вентилятора:

$M_{\text{опт}}$  - прямая, соответствующая оптимальная масса минеральных удобрений, вносимых послойно в почвенный горизонт на определенном участке гряды;

$N_{\text{опт}}$  - оптимальная мощность вентилятора;  $N_{\max}$  - максимальная мощность вентилятора;

$P_{\text{опт}}$  - точка прямой, соответствующей массе минеральных удобрений, вносимых послойно в почвенный горизонт при оптимальной мощности вентилятора;

$P_1, P_2$  - точки прямой, соответствующей массе минеральных удобрений, вносимых послойно в почвенный горизонт при мощностях вентилятора  $N_{1\text{опт}}, N_{2\text{опт}}$

При этом рассмотрим функцию  $M = f(N)$  - зависимость массы минеральных удобрений от мощности вентилятора. Уравнение прямых  $OP_1, OP_{\text{опт}}, OP_2, P_1N_{\max}, P_{\text{опт}}N_{\max}$ , и  $P_2N_{\max}$  можно записать в виде

$$M = kN, \quad (2.89)$$

где  $k$  - коэффициент, соответствующий техническим параметрам вентилятора. Фактически  $k$  – КПД вентилятора,  $k = \operatorname{tg} \angle \varphi$ .

Так как  $N_{\text{опт}} = \frac{N_{\text{max}}}{2}$ , то в этом случае  $\angle \varphi_1 = \angle \varphi_2$ . Эти углы зависят от скорости набора мощности (КПД) и сброса мощности вентилятора, тогда

$$N_{\text{опт}} = \frac{M_{\text{опт}}}{k}; \quad (2.90)$$

Определим  $\angle \varphi_1$  - угол наклона прямой  $OP_{\text{опт}}$  к оси  $ON$  и  $\angle \varphi_2$  угол наклона прямой  $P_{\text{опт}}N_{\text{max}}$  к оси  $ON$  в зависимости от  $k$ .

Ось  $OM$  образована множеством точек  $\{M_i\}_{i=0}^{\infty}$  и ось  $ON$  - интервалом точек  $\{N_j\}_{j=0}^{\infty}$ .

Все точки  $P(n; m)$  находятся на плоскости  $NOM$ , где ось  $ON$  соответствует мощности вентилятора,  $OM$  – массе минеральных удобрений, вносимых послойно в почвенный горизонт.

Показателем равномерности распределения удобрений в каждом слое является коэффициент  $\beta$

$$\beta = \frac{\varepsilon}{2D}, \quad (2.91)$$

где  $D$  – производительность одной фрезы, распределяющей массу удобрений в горизонтальной плоскости, кг/с;

$\varepsilon$  – масса удобрений, контактирующих с рабочими поверхностями лопастей фрезы в единицу времени, кг/с.

Таким образом, качество распределения удобрений в горизонтальной плоскости слоя возрастает с увеличением коэффициента  $\beta$ .

Рассмотрим траекторию работы фрез (рисунок 2.13) при подготовке почвы под возделывание картофеля [15, 40, 54, 120, 161].

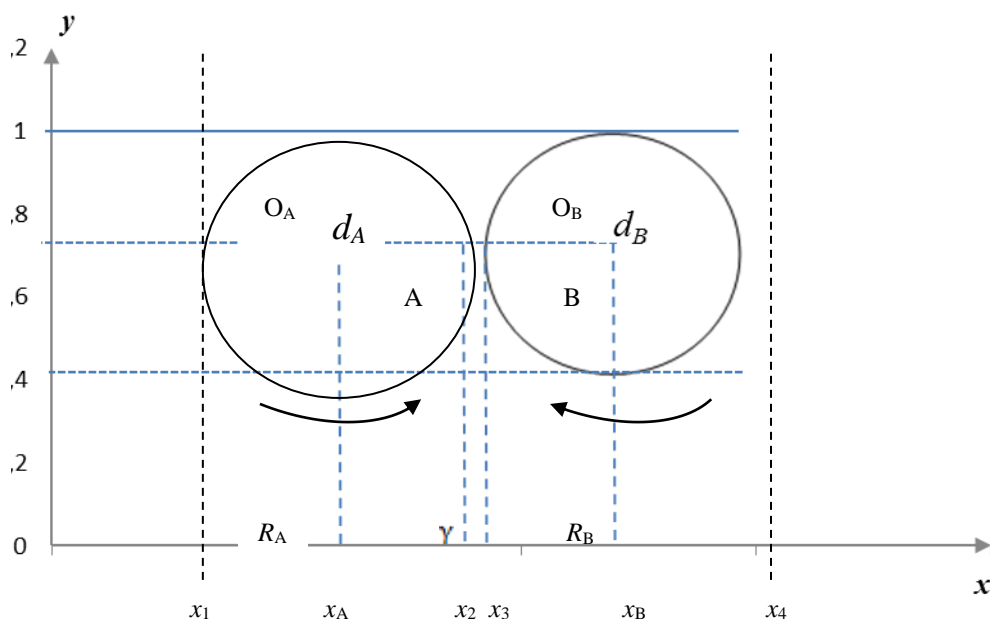


Рисунок 2.13 - Схема расположения траекторий работы лопастей фрез

Пусть точки А и В располагаются в горизонтальной плоскости гряды. Тогда  $O_A(x_A; y)$  и т.  $O_B(x_B; y)$  указывают расположение фрез.

На рисунке 2.13  $R_A = x_A - x_1$ ,  $R_B = x_B - x_3$ ,  $\gamma = x_3 - x_2$ , где  $R_A, R_B$  – радиусы траекторий движения фрез А и В;

$\gamma$  – величина, равная расстоянию между траекториями движения лопастей фрез;

$d_A, d_B$  – диаметры траекторий движения лопастей фрез при вращении.

Найдем оптимальную скорость трактора  $V_{тр}$

$$V_{тр} = \beta \frac{l_{тр}}{t_{вбр} + t_{распр} + t_{ок}}, \quad (2.92)$$

где  $l_{тр}$  – расстояние, пройденное трактором, м;

$t_{вбр}$  – время вброса массы удобрений, с;

$$t_{вбр} = \frac{M}{N}; \quad (2.93)$$

$M$  – масса удобрений, брошенных в единицу времени, кг/с;

$N$  – мощность вброса удобрений, кг/с;

$t_{\text{распр}}$  – время распределения частиц удобрений на площади участка гряды,

$$t_{\text{распр}} = \frac{S_y}{2(V_n^2 + V_\alpha^2)}, \quad (2.94)$$

$S_y$  – площадь обрабатываемого участка, м<sup>2</sup>;

2 – коэффициент, применяемый

в случае вращения фрез навстречу друг другу;

$V_n$  – нормальная скорость частицы удобрения, м/с;

$V = \frac{2}{\alpha}$  – касательная скорость удобрений, м/с;

$t_{\text{ок}}$  – время создания гребней окучниками, с,

$$t_{\text{ок}} = \frac{m_{\text{зем}}}{N_{\text{ок}}}, \quad (2.95)$$

где  $m_{\text{зем}}$  – масса земли, необходимой для формирования гребня, кг;

$N_{\text{ок}}$  – производительность окучников, кг/с.

Рассмотрим дифференциацию удобрений для каждого из слоев почвы в зависимости от высоты первого слоя

$$\beta_1 = \frac{\varepsilon_1}{2\omega}; \quad (2.96)$$

$$t_{1\text{вбр}} = \frac{M_1}{N}; \quad (2.97)$$

$$M_1 = M \cdot 2k_1, \quad (2.98)$$

второго слоя

$$\beta_2 = \frac{\varepsilon_2}{2\omega}; \quad (2.99)$$

$$t_{2_{\text{вбп}}} = \frac{M_2}{N}; \quad (2.100)$$

$$M_2 = M \cdot 2k_2, \quad (2.101)$$

третьего слоя

$$\beta_3 = \frac{\varepsilon_3}{2\omega}; \quad (2.102)$$

$$t_{3_{\text{вбп}}} = \frac{M_3}{N}; \quad (2.103)$$

$$M_3 = M \cdot 2k_3, \quad (2.104)$$

четвертого слоя

$$\beta_4 = \frac{\varepsilon_4}{2\omega}; \quad (2.105)$$

$$t_{4_{\text{вбп}}} = \frac{M_4}{N}; \quad (2.106)$$

$$M_4 = M \cdot 2k_4, \quad (2.107)$$

пятого слоя

$$\beta_5 = \frac{\varepsilon_5}{2\omega}; \quad (2.108)$$

$$t_{5_{\text{вбп}}} = \frac{M_5}{N}; \quad (2.109)$$

$$M_5 = M k_5, \quad (2.110)$$

где  $M_1, \dots, M_5$  – масса удобрений в каждом из пяти слоев почвы, кг.

2 – удваивающий коэффициент ножа-удобрителя.

Массу послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений в почве, найдем по формуле:

$$M_{\text{д}} = M(2\sum_{i=1}^4 k_i + k_5); \quad (2.111)$$

Тогда уравнение для нахождения скорости трактора примет вид:

$$V_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^5 \beta_i \frac{\rho}{\sum_{i=1}^5 t_{i_{\text{распр}}} + t_{\text{распр}} + t_{\text{ок}}}; \quad (2.112)$$

## 2.7 Методика расчета параметров агрегата

Длину транспортирующего тукопровода определяем замером или анализом его конструкции, коэффициент концентрации смеси удобрений с воздухом - по отношению нормы внесения удобрений и объемной производительности агрегата.

Надежно транспортирующую скорость воздуха рассчитываем по следующей методике. Скорость витания частиц удобрений в вертикальном участке тукопровода определим по формуле

$$g_b = Re \frac{v}{d_{\text{н}}} = 1045,57 \cdot 1,67 \cdot 10^{-3} / 0,003 = 5,81 \text{ м/с};$$

Число Рейнольдса по формуле (2.10):

$$Re = \frac{Ar(1-\beta)^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar(1-\beta)^{4,75}}} = 1045,57;$$

Критерий Архимеда – по уравнению (2.11):

$$Ar = \frac{d^3 g(\rho_y - \rho)}{\rho \nu^2} = \frac{0,003^3 \cdot 9,81(600 - 1,2)}{1,2 \cdot (1,67 \cdot 10^{-5})^2} = 473914,91;$$

Кинематическую вязкость воздуха по выражению (2.13):

$$\nu = \frac{\mu^*}{\rho} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{1,2} = 1,67 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с};$$

Объемную долю твердой фазы  $\beta$  – по формуле (2.12):

$$\beta = \frac{V_y}{V_c} = \frac{V_y}{V_y + V_B} = \frac{\frac{P_T}{\rho_T}}{\frac{P_T}{\rho_y} + \frac{P_B}{\rho}} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_y}{\mu \rho}} = \frac{1}{1 + \frac{600}{1,2 \cdot 7}} = 13,8 \cdot 10^{-3};$$

После определения основных исходных величин расчет проводят в следующем порядке.

1. Исходя из известной величины коэффициента концентрации смеси воздуха с удобрением  $\mu$  и технической производительности  $Q_T$ , секундный расход воздуха составит:

$$Q_B = \frac{Q_T}{3600 \rho \mu} = \frac{393,4}{3600 \cdot 1,2 \cdot 7} = \frac{393,4}{30240} = 0,013 \text{ м}^3/\text{с};$$

2. По полученному  $Q_B$  и надежно транспортирующей скорости воздуха рассчитываем диаметр трубопровода ножа-удобрителя:

$$d_H = \sqrt{\frac{4Q_B}{\pi \vartheta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,013}{3,14 \cdot 11,62}} = 0,038 \text{ м} = 3,78 \text{ см};$$

Полученное значение округляем до ближайшего большего или меньшего диаметра по действующему ГОСТу на трубы [35].

3. По формуле  $Q_B = F \vartheta$  подсчитаем окончательное значение  $Q_B$ . Коэффици-



ент концентрации смеси воздуха с удобрением составит:

$$\mu = \frac{Q_{\Gamma}}{\rho Q_{\text{В}} \cdot 3600} = \frac{393,4}{1,20,013 \cdot 3600} = 6,999;$$

4. Найдем величину общих потерь давления в сети:

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= \left( \lambda \frac{\Sigma l_{\text{тук}}}{d_{\text{н}}} + \Sigma \zeta_i \right) \frac{\rho g^2}{2g} (1 + k\mu) + \rho \mu \Sigma H + \Delta P_{\text{разг}} = \\ &= (0,02 \frac{4,3}{0,0377} + 3) \frac{1,2 \cdot 11,62^2}{2 \cdot 9,81} (1 + 0,4 \cdot 7) + 1,2 \cdot 7 \cdot 1,5 + 115,62 = 293,82 \text{ кгс/м}^2; \end{aligned}$$

Потери давления на разгон

$$\Delta P_{\text{разг.}} = K_p \mu \frac{\rho g^2}{2g} = 2,0 \cdot 7 \frac{1,2 \cdot 11,62^2}{2 \cdot 9,81} = 115,62.;$$

С учетом общих потерь давления в сети и расхода воздуха подбираем вентилятор и рассчитываем мощность его привода по формуле (2.20):

$$N = \frac{K_1 Q_{\text{В}} K_2 \Sigma P_c}{102 \eta} = \frac{1,15 \cdot 0,013 \cdot 1,1 \cdot 293,82}{102 \cdot 0,6} = 0,08 \text{ кВт};$$

Определенная мощность требуемого вентилятора составляет  $N = 0,08$  кВт. Для эффективной работы сконструированного агрегата подобран вентилятор Ро-вен VWF(K)2E-200.

Площадь пластин ножей-удобрителей:

$$S_1 = \frac{1}{2} R \frac{2}{1} (\beta_1 - \sin \beta_1) = \frac{1}{2} \cdot 40(1,29 - \sin 73,74) = 6,5 \text{ мм}^2;$$

$$S_2 = \frac{1}{2} R \frac{2}{2} (\beta_2 - \sin \beta_2) = \frac{1}{2} \cdot 40(2,54 - \sin 145,54) = 39,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_3 = \frac{1}{2} R \frac{2}{3} (\beta_3 - \sin \beta_3) = \frac{1}{2} \cdot 40(3,95 - \sin 226,19) = 94,4 \text{ мм}^2.$$

Минеральные удобрения под действием достаточного потока воздуха от вентилятора поступают в обрабатываемый верхний слой почвы на различных его уровнях посредством туконаправительных пластин. Первая пластина длиной

$$l_1 = l'_1 \sin \alpha \text{ или } l_1 = 0,4 \cdot 0,86 = 0,35 \text{ см,}$$

будет иметь коэффициент распределения:

$$k_1 = \frac{l_1}{S_{\text{кр}}} = \frac{0,35}{12,56} = 0,0278.$$

Аналогичным образом установим коэффициенты распределения минеральных удобрений в последующих слоях почвы.

Длина второй пластины

$$l_2 = l'_2 \sin \alpha \text{ или } l_2 = 1,40 \cdot 0,86 = 1,2 \text{ см,}$$

коэффициент

$$k_2 = \frac{l_2 - l_1}{S_{\text{кр}}} = \frac{1,2 - 0,35}{12,56} = 0,0678.$$

Длина третьей пластины:

$$l_3 = l'_3 \sin \alpha \text{ или } l_3 = 2,8 \cdot 0,86 = 2,4 \text{ см,}$$

коэффициент

$$k_3 = \frac{l_3 - l_2}{S_{\text{кр}}} = \frac{2,4 - 1,2}{12,56} = 0,0955.$$

Коэффициент распределения в четвертом слое составит

$$k_4 = \frac{d_n - l_3}{S_{кр}} = \frac{4 - 2,4}{12,56} = 0,1274.$$

Коэффициент распределения минеральных удобрений под лапой – в пятом слое

$$k_5 = \frac{d_n}{S_{кр}} = \frac{4}{12,56} = 0,318.$$

Рассчитаем масса минеральных удобрений в каждом слое почвы:

в первом

$$M_1 = M_2 k_1 = 300 \cdot 2 \cdot 0,0278 = 16,68 \text{ кг};$$

во втором

$$M_2 = M_2 k_2 = 300 \cdot 2 \cdot 0,0677 = 40,62 \text{ кг};$$

в третьем

$$M_3 = M_2 k_3 = 300 \cdot 2 \cdot 0,0955 = 57,3 \text{ кг};$$

в четвертом

$$M_4 = M_2 k_4 = 300 \cdot 2 \cdot 0,1274 = 76,44 \text{ кг};$$

в пятом

$$M_5 = M_2 k_5 = 300 \cdot 2 \cdot 0,138 = 95,4 \text{ кг}.$$

Таким образом, предлагаемая методика расчета позволила определить параметры рабочих органов предлагаемого агрегата.

## 2.8 Выводы по разделу

1. Предложен способ подготовки почвенной среды под возделывание картофеля в засушливых регионах с уменьшенными размерами гребней и увеличенной глубиной посадки картофеля.

2. Проведены теоретические исследования разработанной схемы агрегата для формирования гребневидного почвенного фона, что позволило обосновать его конструкционные параметры.

3. Получены аналитические выражения для обоснования конструкционных и переменных параметров рабочих органов предлагаемого агрегата. Установлены зависимости: скорости движения гранул минеральных удобрений от скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, геометрических размеров туконаправительных пластин от массы, вносимых удобрений.

4. Аналитически обоснована скорость движения трактора и мощность, необходимая для привода вентилятора.

5. Предложена методика расчета основных параметров ножей-удобрителей: диаметра и длины ножей, необходимых для транспортирования воздушным потоком удобрений, необходимой скорости воздушного потока, площади туконаправительных пластин.

### **Раздел 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для проверки и конкретизации теоретически установленных рабочих характеристик предложенного агрегата, а также предупреждения возможных ошибок при создании окончательного варианта его конструкции необходимы исследования агрегата в полевых условиях, цель которых – определение оптимальных значений конструкционно-кинематических параметров [77], предложенного агрегата, а именно:

- скорости движения трактора;
- разрыхленности почвы башмаком;
- нормы высева удобрений туковысевающим аппаратом;
- скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором;
- частоты вращения фрезы, обеспечивающей перемешивание удобрений с почвой;
- расположения ножей-удобрителей;
- размещения туконаправительных пластин ножей-удобрителей;
- расположения окучников.

Критерием оптимизации служит распределение гранул минеральных удобрений в почве. Для исследования указанных параметров была проведена серия однофакторных экспериментов, обработка результатов – с помощью математической статистики. Экспериментальные исследования выполняли на опытном образце, изготовленном в натуральную величину.

#### **3.1 Описание опытного образца агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений**

Для достижения поставленной цели на основе патента № 2671145 (раздел 2) разработан и изготовлен опытный образец агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Опытный образец агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений

Опытный образец агрегата (рисунок 3.2) содержит раму 1 с опорно-приводными колесами. На раме установлены бункер 2 для минеральных удобрений с дозирующим устройством, имеющим привод от опорно-приводных колес агрегата; редуктор 3, позволяющий регулировать частоты вращения вертикальных фрез; вентилятор 4; клинообразная стойка 5. На ней укреплен башмак с лемехами, долотом и отвальными поверхностями, которые образуют увеличивающийся по направлению движения агрегата треугольный свод. Сверху его за отвальными поверхностями установлены треугольные рыхлительные выступы, имеющие свое продолжение в виде зубьев. Внутри свода под тукопроводом размещены тукорассеиватель, связанный с дозирующим устройством и вентилятором соединительными магистралями и дисковые окучники 6. Ряд конструктивных параметров агрегата принят исходя из требуемой производительности и исходных параметров прототипа КПП – 2,2 (таблица 3.1).



Рисунок 3.2 – Основные элементы конструкции агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений: 1 – рама с опорно-приводными колесами; 2 – бункер для минеральных удобрений; 3 – редуктор; 4 – вентилятор; 5 – клинообразная стойка, на которой установлен башмак с лемехами, долотом и отвальными поверхностями; 6 – дисковые окучники

Предложенный агрегат работает следующим образом. В бункер засыпают минеральные удобрения. Туконаправительные пластины устанавливаются на минимальную сверху и максимальную внизу глубину внутри ножа-удобрителя. Затем агрегат приводится в движение. Лемеха и долото подрезают в горизонтальной плоскости нижний пласт почвы, который попадает на наклонные к направлению движения отвальные поверхности башмака. Смонтированные в данной зоне ножи-удобрители вносят минеральные удобрения, поступающие из бункера через дозирующее устройство и соединительные магистрали, под действием потока воздуха от вентилятора в обрабатываемый верхний слой почвы на различных его уровнях посредством туконаправительных пластин. Вертикальные фрезы перемешивают внесенные ножами-удобрителями минеральные удобрения с почвой, окучники формируют гребень (рисунок 3.3).

Таблица 3.1 – Кинематические и геометрические параметры экспериментального агрегата

Наименование показателя	Данные
Агрегат для подготовки почвы:	
длина, мм	1500
ширина, мм	2000
скорость, км/ч	до 10
Ширина захвата лапы, мм	350
Вместимость бункера, кг	300
Нож-удобритель, мм:	
длина,	400
ширина,	40
Площадь туконаправительных пластин, мм <sup>2</sup>	
1-я пластина	6,5
2-я пластина	39,1
3-я пластина	94,4
Фрезы, мм:	
длина	200
диаметр	150
Диаметр колес (наружный), мм	896

Дифференцированное распределение гранул минеральных удобрений в почвенном слое достигается ножами-удобрителями, которые раскрывают почвенный пласт с образованием свободного пространства на заданный промежуток времени. За этот период гранулы минеральных удобрений под воздействием воздушного потока устремляются вниз по ножам-удобрителям. Следует отметить, что скорость движения гранул под воздействием воздушного потока значительно



выше скорости, которую гранулы могли бы получить под действием только силы тяжести. Далее гранулы попадают на туконаправительные пластины и рассеиваются в почвенном слое.



Рисунок 3.3 – Формирование опытным образцом агрегата гребневидного почвенного фона

Параметры, касающиеся рабочей скорости машины и ее производительности, определяли в ходе исследований, при которых данные показатели изменяли с целью поиска оптимального значения.

### **3.2 Программа экспериментальных исследований**

В соответствии с поставленными задачами программа исследований включала в себя [48, 76, 79]:

- контроль физико-механических свойств гранул минеральных удобрений

ний;

- серию опытов для предварительного определения наиболее значимых геометрических и кинематических параметров;
- эксперименты по исследованию влияния этих параметров на распределение удобрений в почвенном слое;
- эксперименты по исследованию влияния конструктивных и режимных параметров на производительность обработки почвы с образованием гребневидного почвенного фона с дифференцированным внесением удобрений;
- обработку результатов реализации экспериментов;
- получение графических зависимостей и определение оптимальных значений.

Программа исследований реализовалась в такой последовательности.

1. Обоснование факторов для исследований.
2. Выбор критериев оптимизации.
3. Проведение пробных и поисковых опытов.
4. Разработка последовательности экспериментальных исследований.
5. Определение физико-механических свойств минеральных удобрений.
6. Реализация теоретических и полевых экспериментов.
7. Обработка результатов и получение аналитических зависимостей.
8. Определение оптимальных и рациональных значений конструкционно-режимных параметров.
9. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований и проверка их сходимости.
10. Выводы.

### **3.3 Методика проведения опытов и анализ априорной информации**

Для удовлетворения биологических потребностей растений картофеля в питательных веществах при их развитии в засушливых климатических условиях определяющим фактором является послойное дифференцированное внесение ми-

неральных удобрений с увеличением их количества в глубине почвы. Для проверки теоретических изысканий и выдвинутой гипотезы требуется проведение опытов, достоверно отрицающих или доказывающих эффективность применения дифференцированного внесения удобрений при возделывании картофеля.

Для внедрения средств механизации в процесс дифференцированного внесения удобрений при возделывании картофеля возникает необходимость проектирования технологии обработки почвы под развитие картофеля с дифференцированным внесением удобрений и создания агрегата способного реализовать требования заданной технологии.

### **3.3.1 Конструкционные и режимные параметры агрегата**

При создании агрегата выделены влияющие на процесс его работы факторы, характеризующие его конструкционные и режимные параметры, технологические условия протекания процесса подготовки почвы, а также физико-механические свойства удобрений.

Для подтверждения исследований технологического процесса формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений разработанным агрегатом, требуется проведение опытов по оптимизации его конструкционных и режимных параметров, а также обработка полученных опытных данных.

Для определения эффективности работы предложенного агрегата выполнена его производственная проверка.

### **3.3.2 Порядок проведения исследований**

Для определения эффективности способа дифференцированного распределения удобрений проведены опытные работы на 5 пробных площадках, заложенных вручную. Общая площадь 0,021 га. На каждой создано по 6 пробных рядов. При проведении опытных работ применяли азотные и фосфорно-калийные мине-

ральные удобрения, сорт картофеля – Розара. Влажность почвы на период проведения опытных работ составила 18,3 – 22,1 %. Опытные работы осуществляли в Калининском районе Саратовской области в сезон 2018-го года.

Во втором ряду  $\Delta Q_2$  удобрения вносили только в дно борозды, глубина пятый слоя 15 см; в третьем ряду  $\Delta Q_3$  – в пятый и четвертый слой на глубину 12 см; в четвертом ряду  $\Delta Q_4$  – в пятый, четвертый и третий слои на глубину 9 см; в пятом ряду  $\Delta Q_5$  – в пятый, четвертый, третий и второй слои на глубину 6 см; в шестом ряду  $\Delta Q_6$  – в пятый, четвертый, третий, второй и первый слои на глубину 3 см; в первом ряду  $\Delta Q_1$  – не вносили (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Экспериментальные работы по послойному внесению удобрений

Результаты опытных работ показали, что с применением послойного дифференцированного распределения удобрений, увеличивается урожайность картофеля: максимальная зафиксирована в шестом  $\Delta Q_6$  ряду на пяти пробных площадках, минимальная – в первом  $\Delta Q_1$  ряду также на пяти пробных площадках.

После получения положительных результатов дифференцированного распределения удобрений в ходе опытных работ исследование продолжено с применением опытного образца агрегата. Для этого с его помощью подготовлена почва под возделывание картофеля общей площадью 0,5 га. При проведении опытных работ применяли азотные и фосфорно-калийные минеральные удобрения.

Минеральные удобрения вносили в пятый слой на глубину 15 см с помощью лапы, в четвертый слой на глубину 12 см – ножом-удобрителем, в третий слой на глубину 9 см – посредством третьей туконаправительной пластины ножа,

во второй слой на глубину 6 см – второй туконаправительной пластины ножа, в первый слой на глубину 3 см – первой туконаправительной пластины ножа (рисунок 3.5).

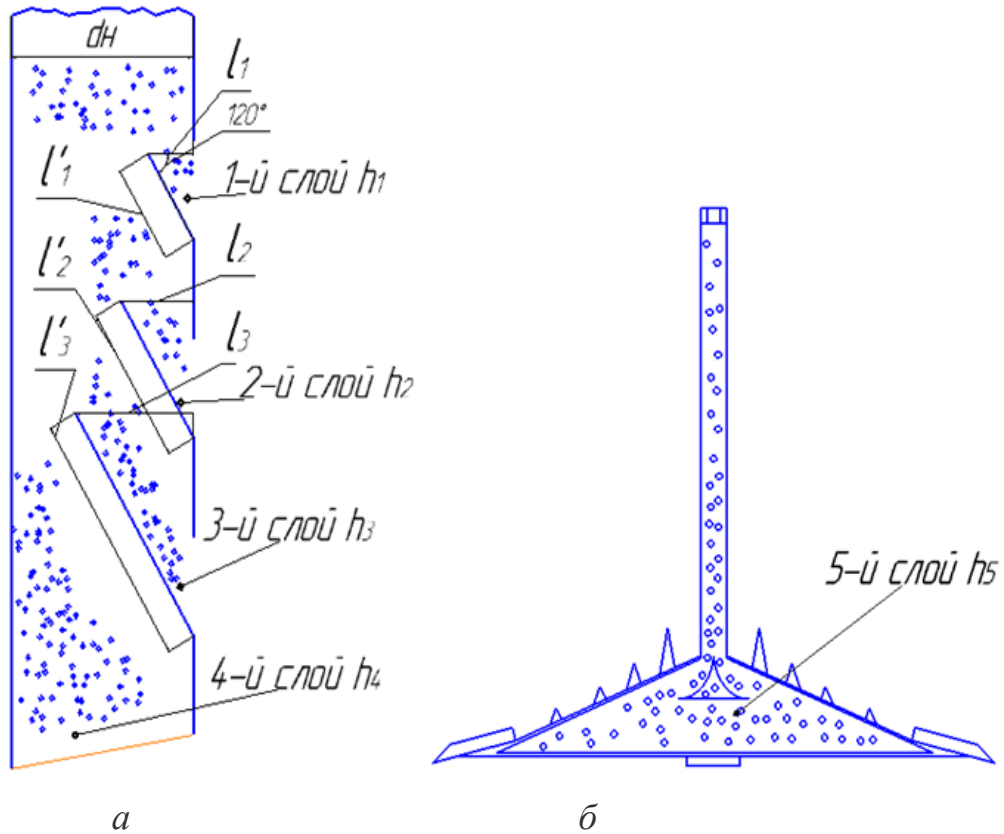


Рисунок 3.5 – Распределения минеральных удобрений по слоям:  
а – нож – удобритель; б – лапа

Норму внесения удобрений в процессе исследований устанавливали следующим образом. Под каждый тукопровод помещают небольшую емкость. Прокручивают приводное колесо, установив передаточное число привода положением рычага регулятора.

Число оборотов, на которое нужно прокрутить приводное колесо, чтобы внести удобрения на 0,01 га, определяют из условия:

$$n = \frac{100}{B D m}, \quad (3.1)$$

где  $n$  – число оборот, шт;

$B$  – ширина захвата, м;

$D$  – диаметр колеса, м;

$m$  – число тукопроводов, шт.

Затем удобрения из емкости взвешивают и умножают на 100. Полученная величина будет соответствовать фактической норме внесения удобрений на 1 га.

В ходе проведения полевых испытаний установлено: число оборотов, равное 110 шт. Масса взвешенных удобрений, из-под трех тукопроводов – 3 кг. Фактическая норма внесения удобрений на гектар, равна 300 кг. Данные результаты получены при выставлении рычага регулятора на деление 4, туковысевающего аппарата АТД-2, изменяющего вылет направляющего скребка. При необходимости норму высева удобрений можно варьировать, изменяя положение рычага регулятора.

### **3.3 Методика определения физико-механических свойств минеральных удобрений**

Определение физико-механических свойств минеральных удобрений, которые были использованы при проведении исследований, осуществляли с учетом способов, изложенных в литературных источниках [84, 86, 156, 159].

Плотность минеральных удобрений зависит от состояния их (порошок, гранулы), влажности и длительности хранения. В предложенном технологическом процессе использованы гранулы азотных и фосфорно-калийных удобрений. Величина плотности в среднем составляет 1000 до 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Угол естественного откоса служит важной характеристикой, поскольку определяет угол наклона поверхности, при котором происходит скатывание гранул. Величина угла естественного откоса зависит от состояния гранул, их влажности и коэффициента внутреннего трения. Значение его для указанных удобрений составляет 32 ... 34 град.

Коэффициент трения – один из важнейших факторов, влияющих на пара-

метры проектируемых рабочих органов агрегата. Существует два вида коэффициентов – внешнего и внутреннего трения. Коэффициент внешнего трения численно равен отношению усилия, необходимого для скольжения гранул по поверхности, к нормально действующему усилию. Чем выше коэффициент трения, тем больше сопротивление перемещению удобрений по исследуемой поверхности. Для гранулированных азотных и фосфорно-калийных минеральных удобрений коэффициент внешнего трения по стали составляет 0,45 – 0,48. Коэффициент внутреннего трения определяется при скольжении по образующейся поверхности гранул удобрений, т.е. рассматривается движение одних частиц относительно других части. Поэтому коэффициент внутреннего трения значительно выше, чем внешнего, и для данных удобрений изменяется от 0,46 до 0,7 в зависимости от высоты перемещаемого слоя. Таким образом, для внутреннего трения большое значение имеет величина нормально действующего усилия.

Еще одним показателем при исследовании агрегата является сопротивление гранул сжатию, которое характеризует минимальную нагрузку при разрушении гранул.

Сопротивление сжатию и механическому контактному разрушению гранул находили по следующей методике (рисунок 3.6) [97].

Стальной шарик 1 с никелевой поверхностью вдавливался в поверхность гранул, затем замеряется площадь оставшегося отпечатка. В этом случае определяли напряжение сжатия. Если происходило разрушение гранул, то напряжение контактного разрушения рассчитывали по выражению:

$$\sigma = \frac{4P_{наг}}{\pi \cdot d_{отп}^2}, \quad (3.2)$$

где  $P_{наг}$  – вертикальная сила, Н;

$d_{отп}$  – диаметр отпечатка, мм.

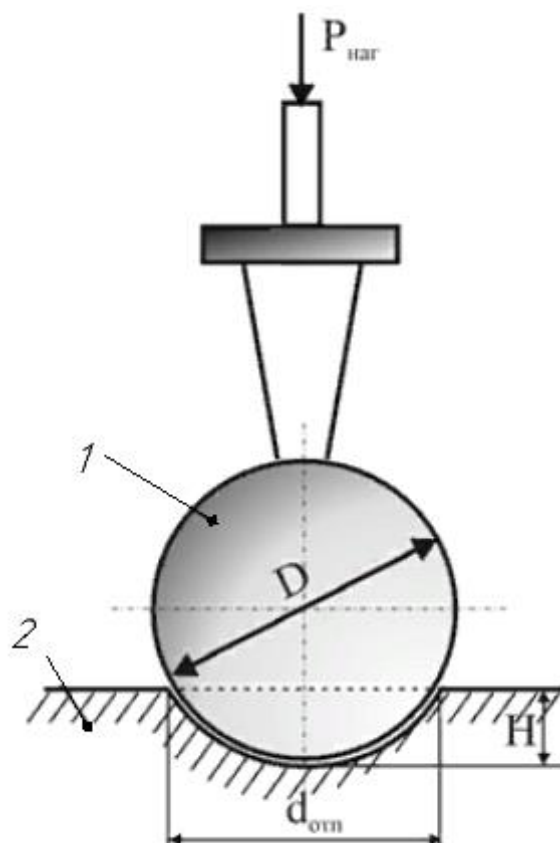


Рисунок 3.6 – Схема определения сопротивления сжатию гранул минеральных удобрений: 1 – стальной шарик; 2 – гранула удобрений;

$P_{наг}$  – направление нагрузки;  $H$  – глубина погружения шарика;

$d_{отп}$  – диаметр отпечатка,  $D$  – диаметр шарика

После проведения исследований полученные результаты сравнивали с данными, имеющимися в литературных источниках.

### 3.4 Методика исследования послойного распределения минеральных удобрений по слоям

С помощью лабораторной установки для определения послойного распределения минеральных удобрений взяты пробы почвы из каждого слоя и определено количество внесённых минеральных удобрений.

Лабораторная установка представляет собой металлическую конструкцию прямоугольной формы размерами 70 на 70 см (рисунок 3.7). С трех сторон она



имеет глухие стенки высотой 40 см, в стенке с четвертой стороны находятся про-  
резы, сделанные с шагом вертикального направления 3 см для металлических пла-  
стин, которые в рабочем состоянии держатся на направляющих и служат для от-  
сечения слоев почвы.



Рисунок 3.7 – Лабораторная установка для определения  
послойного распределения минеральных удобрений по слоям

Замеры проводили после прохода агрегата согласно методике, изложенной в  
п. 3.3.2. Агрегат с настроенными соответствующим образом параметрами прохо-  
дил по выделенному участку поля. Места для взятия проб выбирались в случай-  
ном порядке.

Для снятия проб лабораторную установку, из которой извлекали все пла-  
стины, располагают в месте отбора образцов и углубляют на необходимую глуби-  
ну, затем вставляют пластины и извлекают лабораторную установку. Для получе-  
ния результатов проб пластины извлекают поочередно (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Отбор проб почвенного образца для определения послойного распределения минеральных удобрений

Путем отбора минеральных удобрений и взвешивания их содержание в каждом слое почвы, получают количество внесённых минеральных удобрений в каждый слой (рисунок 3.9).

Распределение минеральных удобрений по слоям определяется на каждом уровне вставленных пластин в шести опытах. Результаты заносили в таблицу Ж.1 приложения Ж эксперимента. После реализации всех экспериментов проводили их обработку.



Рисунок 3.9 – Измерение массы образца пробы, полученной при послойном дифференцированном распределении удобрений

### 3.5 Методика однофакторного эксперимента

Исследование влияния ранее определенных параметров на критерии оптимизации проводили в виде серии однофакторных экспериментов. При таких исследованиях выделяется один из значимых факторов, изменение которого в процессе эксперимента проводится с заданным шагом по разработанному плану (таблица 3.2). Другие факторы в данном эксперименте остаются постоянными. Для обеспечения достоверности результатов эксперимента выбрана, согласно рекомендациям [18, 57, 59, 89, 115, 137, 148], трехкратная повторность опытов. В этом случае при четырех уровнях изменения фактора количество опытов составит 12. Для исключения влияния случайных событий на результаты эксперимента проводилась рандомизация плана эксперимента. В результате получен следующий план исследований, представленных в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – План однофакторного эксперимента

№ опыта	Фактор $x$	Фактор $f$	Критерий $Y$	Критерий $Z$
1	$x_{12}$	$f_1$	$Y_{12}$	$Z_{12}$
2	$x_{10}$	$f_1$	$Y_{10}$	$Z_{10}$
3	$x_8$	$f_1$	$Y_8$	$Z_8$
4	$x_6$	$f_1$	$Y_6$	$Z_6$
5	$x_{11}$	$f_1$	$Y_{11}$	$Z_{11}$
6	$x_1$	$f_1$	$Y_1$	$Z_1$
7	$x_5$	$f_1$	$Y_5$	$Z_5$
8	$x_7$	$f_1$	$Y_7$	$Z_7$
9	$x_3$	$f_1$	$Y_3$	$Z_3$
10	$x_9$	$f_1$	$Y_9$	$Z_9$
11	$x_2$	$f_1$	$Y_2$	$Z_2$
12	$x_4$	$f_1$	$Y_4$	$Z_4$

После испытания проводили проверку однородности полученных результатов по критерию Кохрена [153, 155]. Данный критерий применим, когда число повторностей опытов одинаково во всех строках плана эксперимента. Величина критерия:

$$G_{on} = \frac{\sigma_{i\max}^2}{\sum_i \sigma_{i\max}^2}, \quad (3.3)$$

где числитель представляет собой наибольшую построчную дисперсию; знаменатель – сумму построчных дисперсий.

Вычисленное значение сравнивают с значением в таблице 3.1 Оно должно быть меньше табличного, в этом случае однородность результатов обеспечивается.

Результаты реализации эксперимента обрабатывали с помощью метода наименьших квадратов [82, 83].

В результате получилось уравнение регрессии вида:

$$Y = C + x_1 A + \dots + (x_1)^2 B, \quad (3.4)$$

где  $Y$  – один из критериев оптимизации – производительность  $Q$ , коэффициент дифференцированного распределения  $K$  или др.;  $x_1$  – исследуемый фактор;  $C, A, B$  – коэффициенты регрессии.

Задача регрессионного анализа состоит в построении такого уравнения, отклонение результатов наблюдения, которого были бы минимальными. Для этого следует вычислить значение коэффициентов в уравнении (3.4)

Проверка значимости уравнения регрессии состоит из следующих этапов [14, 39, 121].

Вычисляют остаточную дисперсию по формуле:

$$\bar{S}_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n - p - 1}, \quad (3.5)$$

которую затем сравнивают с дисперсией среднего  $\bar{S}_y^2$  с помощью  $F_\kappa$  – критерия Фишера:

$$F_\kappa = \frac{\bar{S}_y^2}{S_{ocm}^2}, \quad (3.6)$$

с числом степени свободы в числителе  $i_1=n-1$  и в знаменателе  $i_2=n-p-1$

Уравнение регрессии предсказывает результаты опытов лучше среднего, если  $\bar{F}$  достигается или превышает границу значимости при выбранном уровне.

По разработанному плану исследовали влияние всех факторов на принятые критерии оптимизации.

### **3.5 Методика обработки экспериментальных данных и оценки точности измерений**

После заполнения таблиц приложения Ж провели обработку результатов, и построили графические зависимости (приложения Е).

Необходимое количество повторений каждого опыта определяли на основании требуемой точности получаемых результатов. В исследованиях сельскохозяйственных и мелиоративных машин доверительную вероятность рекомендуется назначать в диапазоне 0,9...0,95 [80, 90, 91]. Для принятой доверительной вероятности 0,95 и допустимой ошибки не более  $\varepsilon = 2\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение результатов опытов, требуемое число повторности составляет 4 [44]. Для однородности условий выполнения опытов эксперимента и равномерного распределения случайных воздействий от неуправляемых и неконтролируемых факторов была рандомизирована последовательность проведения с использованием ряда случайных чисел.

Для получения наибольшей достоверности опытных данных при проведении экспериментов были созданы условия, при которых ошибки измерений сводились к минимуму, а также применялись методы математической статистики при обработке и оценке точности результатов наблюдений.

При измерении соответствующих величин выбирались методы и приборы, обеспечивающие наибольшую точность. Контролируемые параметры измеряли в определенной последовательности и с необходимым количеством замеров. При проведении экспериментов учитывались факторы, влияющие на результаты, что позволяло обнаружить аномальные результаты и исключить их.

Обработку экспериментальных данных и построение графиков производили по средним величинам замеренных параметров [17, 96]:

Среднее арифметическое результатов экспериментов:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.7)$$

где  $\bar{x}$  — выборочное среднее;  $n$  — объем выборки;  $X_i$  —  $i$ -й элемент выборки.

Для оценки среднего значения и исключения из выборки экстремальных результатов экспериментов, использована медиана:

$$M_e = \frac{N+1}{2}, \quad (3.8)$$

где  $N$  — количество значений в совокупности данных;  $i$  — элемент упорядоченного массива.

В случае четного количества результатов экспериментов медиана равна среднему арифметическому.

Для фиксации отклонений  $\bar{x}$  от искомого точного значения найдена средняя квадратичная ошибка среднего арифметического.

$$D(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n_n}, \quad (3.9)$$

где  $\sigma$  — средняя квадратичная ошибка одного измерения;

$n_n$  — количество измерений.

Для оценки качества измерений (чем  $\sigma$  больше, тем хуже качество измерений) найдем среднюю квадратичную ошибку одного измерения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{и}}} (x_k - \bar{x})^2}{n_{\text{и}} - 1}}; \quad (3.10)$$

Вероятная ошибка измерений

$$r \approx \frac{2}{3} \sigma; \quad (3.11)$$

Абсолютная ошибка измерений

$$m \approx 0,86\sigma; \quad (3.12)$$

Мера точности измерений

$$n_t \approx \frac{0,7}{\sigma}; \quad (3.13)$$

Вероятная и абсолютная ошибки тем больше, чем хуже качество измерений; мера точности растет с повышением точности измерений.

Для оценки распределения экспериментальных данных определим квартили:

$$Q_1 = \frac{n+1}{4}; \quad (3.14)$$

$$Q_3 = \frac{3(n+1)}{4}; \quad (3.15)$$

Для оценки степени изменения результатов экспериментов с течением времени найдем среднее геометрическое:

$$\bar{X}_G = (X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n)^{1/n}; \quad (3.16)$$

Измерить общий разброс данных позволяет размах:

$$P_p = X_{\max} - X_{\min}; \quad (3.17)$$

Для оценки разброса 50 % результатов экспериментов и исключения влия-



ния экстремальных результатов определен межквартильный размах:

$$P_q = Q_3 - Q_1; \quad (3.18)$$

Оценить степень колебания данных вокруг среднего значения позволяет дисперсия и стандартное отклонение:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad (3.19)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (3.20)$$

где  $\bar{x}$  – арифметическое среднее;  $n$  – объем выборки;  $X_i$  –  $i$ -й элемент выборки  $x$

Для характеристики среднего коэффициент роста найдено геометрическое среднее:

$$\bar{x}_{\text{геом}} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \dots x_n}, \quad (3.21)$$

где  $X_i$  –  $i$ -й элемент выборки;  $X_n$  – объем выборки.

Гармоническое среднее:

$$x_{\text{гарм}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i \cdot f_i}{x_i}}, \quad (3.22)$$

Стандартная ошибка среднего

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (3.23)$$

где  $s$  – стандартное отклонение, подсчитанное по выборке;

$n$  – число наблюдений в выборке.

После проверки результатов на однородность произведен анализ результатов (Приложение Ж) позволивший установить искомые параметры экспериментальным путем.



### 3.6 Методика расчета по методу наименьших квадратов

В предметной области исследуются показатели  $X$ ,  $Y$  которые имеют количественное выражение (таблица 3.3). При этом есть все основания полагать, что показатель  $Y$  зависит от показателя  $X$ .

Данные заносят в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Исходные данные послойного распределения удобрений

$X$	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$
$Y$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_n$

Табличные данные можно записать в виде точек  $A_1(x_1; y_1)$ ,  $A_2(x_2; y_2)$ ,  $A_3(x_3; y_3)$ ...  $A_n(x_n; y_n)$ .

По полученным точкам построен график в декартовой системе координат  $XOY$  (приложение Е).

Согласно используемой методике, для качественного исследования необходимо 5 – 6 точек. Требуется подобрать функцию  $y = f(x)$ , график которой проходит как можно ближе к точкам  $A_1, A_2, A_3$ ... $A_n$ . Некоторая функция  $y = f(x)$  приближает экспериментальные данные  $A_1(x_1; y_1)$ ,  $A_2(x_2; y_2)$ ,  $A_3(x_3; y_3)$ ...  $A_n(x_n; y_n)$ .

Для определения точности приближения экспериментальных данных вычисляют

$$f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n), \quad (3.24)$$

и находится отклонение

$$e_1 = y_1 - f(x_1), e_2 = y_2 - f(x_2), \dots, e_n = y_n - f(x_n), \quad (3.25)$$

между экспериментальными и функциональными значениями.

При оценке суммы  $e_1 + e_2 + \dots + e_n$  возникает проблема, что разности могут быть и отрицательными, поэтому в качестве оценки точности приближения необходимо принимать сумму модулей отклонений:

$$\sum_{i=1}^n |e_i|$$

Приближая экспериментальные точки к полученной функции, будут полу-

чататься разные значения  $\sum_{i=1}^n |e_i|$ .

Необходимо подобрать такую функцию  $y = f(x)$ , чтобы сумма квадратов отклонений

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (3.26)$$

была как можно меньше.

Необходимо изобразить точки  $A_1, A_2, \dots, A_n$  на чертеже (приложение Е) и проанализировать их расположение. Если они размещены по прямой, то следует искать уравнение прямой  $y = f(x) = ax + b$  с оптимальными значениями  $a$  и  $b$ .

Иными словами, задача состоит в нахождении таких коэффициентов  $a, b$  – сумма квадратов отклонений которых

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2 \quad (3.27)$$

наименьшая.

Если точки расположены по гиперболе, то заведомо понятно, что линейная функция будет давать плохое приближение. В этом случае необходимо найти наиболее подходящие коэффициенты  $a, b$  для уравнения гиперболы

$y = f(x) = \frac{a}{x} + b$  – те, которые дают минимальную сумму квадратов

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n \left( y_i - \left( \frac{a}{x_i} + b \right) \right)^2 \quad (3.28)$$

Представленные функции двух переменных, аргументами которых являются параметры разыскиваемых зависимостей:

$$F(a; b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$$

$$F(a; b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n \left( y_i - \left( \frac{a}{x_i} + b \right) \right)^2 \quad (3.29) \quad (3.30)$$

Коэффициенты  $a, b$  оптимальной функции  $y = ax + b$  находится решением системы:

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i \\ a \sum x_i + bn = \sum y_i \end{cases} \quad (3.31)$$

Далее вычисляется сумма квадратов отклонений  $\sum e_i^2 = \sum (y_i - f(x_i))^2$  между эмпирическими  $y_i$  и теоретическими  $f(x_i)$  значениями.

### 3.7 Выводы по разделу

1. Разработан и изготовлен экспериментальный образец агрегата для формирования гребневидного почвенного фона и дифференцированного распределения удобрений.
2. Приведена программа экспериментальных исследований факторов, влияющих на создание почвенного среды под возделывание картофеля агрегатом в лабораторно-полевых и производственных условиях.
3. Представлены методики определения физико-механических свойств минеральных удобрений и исследования послойного дифференцированного распределения их в почве.
4. Выполнена обработка полученных опытных данных с оценкой точности их измерений по методике однофакторного эксперимента.

## **Раздел 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРЕГАТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЕБНЕВИДНОГО ПОЧВЕННОГО ФОНА И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Проведенные экспериментальные исследования разработанной схемы агрегата позволили выяснить общий характер осуществляемого им процесса формирования гребневидного почвенного фона с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений под развитие картофеля.

Предложенная схема агрегата требует детального анализа его конструктивных и функциональных особенностей взаимного расположения рабочих органов при выполнении технологического процесса. Для достижения эффективности разработанного способа подготовки почвы под возделывание клубней картофеля необходимо обосновать конструктивных и режимные параметры рабочих органов. Данные параметры не всегда могут быть обоснованы теоретически, поскольку взаимодействия между несколькими рабочими органами и почвой сложны и взаимосвязаны. Поэтому наиболее эффективно получить рациональные параметры путем экспериментальных исследований.

### **4.1 Результаты исследования физико-механических свойств гранул минеральных удобрений**

Состояние удобрений, применяемых для дифференцированного внесения, существенно влияет на процесс распределения их в почве. Проведенные исследования по методике, изложенной в третьем разделе, позволили установить наиболее важные физико-механические свойства гранулированных удобрений. Исследовались плотность, влажность, коэффициенты трения, скорость витания и сопротивление сжатию (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Физико-механические свойства удобрений

Физико-механические свойства	Обозначения, размерность	Азотные и фосфорно-калийные
Плотность	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1000-1200
Влажность	$W_{вл}$ , %	15
Коэффициент внешнего трения (по стали)	$f$	0,45-0,48
внутреннего трения	$f_{вн}$	0,46-0,7
Скорость витания частиц удобрений в потоке воздуха	$g_b$ , м/с	5,8
Сопротивление гранул сжатию	$\sigma$ , кПа	4,6

Установленные значения приведены в таблице 4.1, соответствуют справочным данным литературных источников. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что при скорости воздушного потока больше скорости витания частиц удобрений происходит подхват гранул и перемещение их в ножах-удобрителях. Скорость гранул в воздушном потоке выше скорости гранул, движущихся только под действием силы тяжести. Сопротивление сжатию обеспечивает прочное состояние гранул при взаимодействии с туконаправительными пластинами ножей-удобрителей.

#### **4.2 Предлагаемая технология обработки почвы под развитие картофеля с дифференцированным внесением удобрений**

В аграрном производстве картофель сложно возделывать на тяжелых, име-

ющих высокую плотность почвах в климатических условиях, склонных к засушливости. Природно-почвенные особенности Саратовской области делают применение существующих традиционных технологий и технических средств, выполняющих операции возделывания картофеля, не достаточно эффективными, что отражается на уровне рентабельности его производства.

При выращивании картофеля важным этапом является подготовка почвенной среды, которая включает в себя: обработку почвы для формирования клубней и внесение удобрений, что предполагает создание питательного режима для последующего развития растений картофеля. Разработанный агрегат позволяет создавать такую подготовку почвенной среды в Саратовской области (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 — Подготовка почвенной среды под развитие картофеля опытным образцом агрегата

Устройство агрегата и его работа подробно изложены в третьем разделе.

Преимущества предлагаемой технологии обработки почвы под развитие картофеля с дифференцированным внесением удобрений разработанным агрегатом заключаются в эффективной подготовке почвы к возделыванию картофеля в условиях засушливого климата. К достоинствам рабочих органов следует отнести сбережение влаги, а также создание мелкокомковатой структуры почвы с послойным дифференцированным распределением в ней удобрений. В соответствии с этим для обоснования параметров рабочих органов разработана программа исследований с критериями оптимизации в виде показателей распределения удобрений в почвенном слое и урожайности картофеля, выращенного в данных условиях.

### **4.3 Экспериментальные исследования агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений**

Теоретические исследования разработанного агрегата были проведены при значительном объеме различных допущений в его работе и упрощений изучаемых процессов, что неминуемо накладывает неблагоприятный отпечаток на точность результатов, полученных в ходе исследований. Это обуславливает необходимость корректировки и дополнений выявленных теоретически рабочих характеристик и технологических режимов подготовки почвы, а также проверки работоспособности агрегата в реальных условиях.

Уточнение полученных теоретических результатов позволило выполнить полевые испытания, цель которых — определение оптимальных значений конструктивно-кинематических параметров агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений.

#### **4.3.1 Обоснование параметров башмака**

Полевыми испытаниями, подтверждена гипотеза об эффективности приме-

нения на поверхности башмака треугольных рыхлительных выступов. Благодаря этому структура нижнего обрабатываемого слоя почвы становится рыхлой и мелкокомковатой (таблица 4.2). Треугольные рыхлительные выступы имеют продолжение за поверхность башмака в виде зубьев. Структурированная почва частично осыпается вниз в промежутки между рыхлительными выступами, а частично — после схода с них. Происходит лучшее перемешивание ее с минеральными удобрениями, сходящими с туконаправительных пластин ножей-удобрителей. При этом большая часть удобрений увлекается на нижний уровень обрабатываемого слоя, что и необходимо.

Таблица 4.2 — Структура почвы при обработке под картофель

Тип башмака	Состав комков, %			
	более 40 мм	20—40 мм	10—20 мм	до 10 мм
Серийный	38	16	22	24
С продолжением в виде треугольных выступов	19	26	35	30

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что при сходе с башмака почва имеет структуру с преобладанием крупных более 40 мм и средних (10 — 20 мм) комков. Башмак разрушает сплошность почвы, но не способствует ее разукрупнению, поскольку комки сходят с рабочей поверхности без какого-либо воздействия на них. Рыхлительные выступы с рабочей поверхностью треугольной формы ребром вверх изменяют характер движения комков. После схода с башмака почвенные комки попадают на ребро и частично разрушаются за счет вибраций и собственного веса, частично движутся дальше по поверхности выступов и падают с них, опять же частично разрушаясь. Преобладают комки размером менее 20 мм. Таким образом, почва изменяет свою структуру, становясь более рыхлой и с комками меньших размеров, обеспечивает эффективность последующих операций.



### 4.3.2 Экспериментальное исследование режимов работы агрегата

Экспериментально подтверждено теоретическое обоснование направления вращения перемешивающих фрез. При вращении фрез в одном направлении удобрения распределяются в почвенном пласте более неравномерно из-за однократного воздействия. Таким образом, полевые экспериментальные исследования подтвердили гипотезу о направлении вращения вертикальных фрез навстречу друг к другу. При таком вращении увеличивается количество воздействий на почвенный пласт с поступившими в него минеральными гранулами. Вертикальные фрезы перемешивают внесенные ножами-удобрителями минеральные удобрения с почвой, в результате чего она становится рыхлой и мелкокомковатой, а за счет своего вращения навстречу друг другу перемещают большую часть удобрений в горизонтальной плоскости к центру формируемого окучниками гребня.

Экспериментально исследовано влияние режимных параметров вертикальных фрез на эффективность послойного дифференцированного распределения удобрений. В результате определены оптимальные значения их частоты вращения вертикальных фрез и скорость трактора. Результаты представлены в таблице 4.3. Графически данная зависимость приведена на рисунке 4.2.

Таблица 4.3 — Дифференцированное распределение минеральных удобрений в почве в зависимости от частоты вращения фрез и скорости трактора

Скорость трактора, км/ч	Частота вращения фрез, мин <sup>-1</sup> , при режиме работы редуктора		
	1	2	3
6	68,2	136,3	204,5
8	93,75	187,5	281,3
9	120	240	360
10	138	264,4	397
12	142,8	285,7	428,5

В ходе исследований установлено, что при меньшей скорости трактора 6 км/ч и частоте вращения фрез 68,2 мин<sup>-1</sup>, они не успевают перемешивать почву с минеральными удобрениями и работают как грабли. А при режиме редуктора 3 и частоте вращения 204,5 мин<sup>-1</sup>, достигается оптимальное соотношение скорости трактора и частоты вращения фрез. Однако, малая скорость трактора снижает производительность операции.

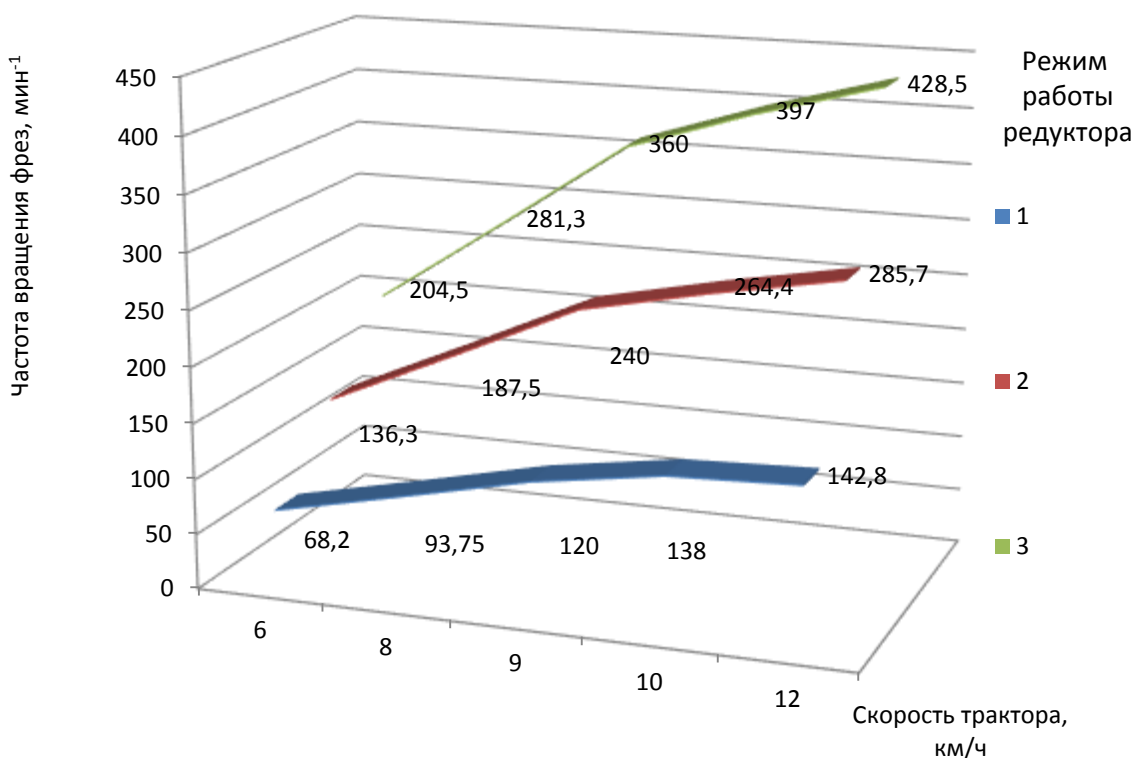


Рисунок 4.2 — Дифференцированное распределение минеральных удобрений в почвенном слое в зависимости от частоты вращения фрез и скорости трактора

Установлено, что при рабочей скорости движения трактора с агрегатом 12 км/ч и частоте вращения фрез при 3-м режиме работы редуктора 428,5 мин<sup>-1</sup>, они выбрасывают почву за пределы области их воздействия. В результате образуется борозда, что не удовлетворяет требованиям эксперимента. Дифференцированное и оптимальное по пространственному распределению и объему распределения минеральных удобрений в почве достигается при рабочей скорости трактора

МТЗ-82 с агрегатом 9 км/ч и частоте вращения фрез 360 мин<sup>-1</sup> при 3-м режиме работы редуктора, что подтверждено теоретическим расчетом кинематического режима фрез. Полученный коэффициент изменяется от 1,2 до 1,7.

Послойное взятие проб показало, что в верхнем слое почвы средняя масса удобрений на 1 га составила 17,1 кг, во втором – 41,9 кг, в третьем– 61,3 кг, в четвертом – 78,3 кг, пятом – 104,3 кг. Результаты представлены в таблице 4.4. Графически данная зависимость приведена на рисунке 4.3.

Таблица 4.4 — Экспериментальные данные дифференцированное распределение минеральных удобрений в почве агрегатом и прототипом

Агрегат							
Пробы	Масса удобрений в слоях почвы, кг/га					Сумма	
	1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой		
1-я проба	19,950	39,196	63,216	83,451	106,472	312,285	
2-я проба	16,530	46,090	62,737	77,270	105,905	308,531	
3-я проба	18,810	42,330	53,638	74,179	107,398	296,354	
4-я проба	13,110	43,749	57,469	78,300	106,793	299,421	
5-я проба	14,820	37,358	55,074	76,239	100,928	284,419	
6-я проба	19,380	42,677	75,667	80,361	98,305	316,390	
Среднее значение	17,1	41,9	61,3	78,3	104,3	302,9	
Прототип							
Слои почвы	Масса удобрений, полученных на пробе, кг/га						
	1-я проба	2-я проба	3-я проба	4-я проба	5-я проба	6-я проба	Среднее значение
1-й слой	306,03	314,39	301,68	291,33	293,23	310,06	302,8

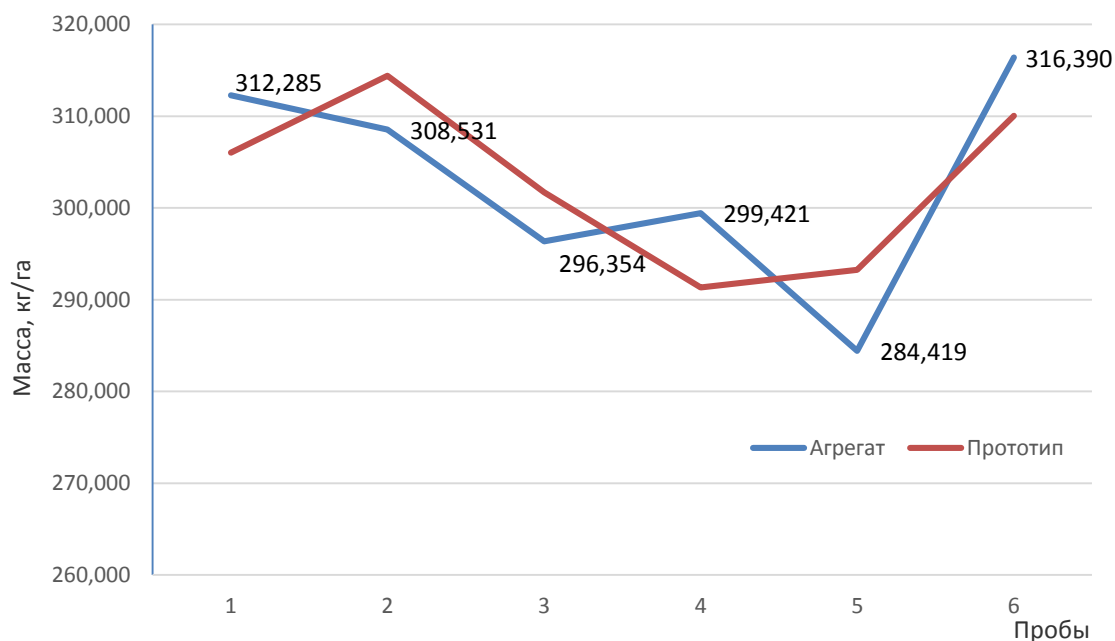


Рисунок 4.3 – Результаты распределения минеральных удобрений в слоях почвы агрегатом для формирования гребневидного почвенного фона и прототипом

Масса внесенных минеральных удобрений агрегатом в пересчете на 1 га составила 302,9 кг. Данный показатель не превышает утвержденную норму внесения удобрений с учетом почвенно-грунтовых условий для данной сельскохозяйственной культуры. Анализ результатов исследований, представленных в таблице 4.4, наглядно показывает, что прототип укладывает гранулы минеральных удобрений в один слой, т.е. лентой. Такая укладка приводит к недостаточно эффективному использованию вносимых удобрений, поскольку у одних клубней наблюдается избыток питательных веществ, у других – недостаток или их полное отсутствие. В итоге происходит недобор урожая.

Масса внесенных удобрений прототипом и просуммированная дифференцированная масса удобрений, внесенных агрегатом для формирования гребневидного почвенного фона, отличается менее чем на 5 %. Таким образом, имея почти одинаковую с агрегатом вносимую массу минеральных удобрений, прототип укладывает ее практически в один слой, без распределения по высоте, что снижает эффективность их применения. Питательные вещества в обрабатываемом слое располагаются неравномерно. Предлагаемый агрегат такую же массу удобрений распределяет по всему объему образуемого гребня, создавая более эффективные

условия для питания клубней картофеля. Благодаря такому распределению повышается урожайность картофеля в условиях засушливого климата, характерного для Саратовской области.

Согласно программе экспериментальных исследований, для получения достоверных результатов опыты проводили на площади 0,5 га с образованием гребня и дифференцированным распределением удобрений. После обработки были взяты пробы из каждого слоя почвы и количество внесённых минеральных удобрений с помощью лабораторной установки, устройство которой приведено на рисунке 3.7. Полученные результаты представлены на рисунке 4.4. Анализ данной зависимости показывает, что распределение удобрений соответствует установленному при теоретическом анализе настроек агрегата.

Таблица 4.5 — Данные полученные в результате теоретических расчетов и в ходе лабораторно-полевых исследований дифференцированного распределение минеральных удобрений в почве агрегатом

Результаты, полученные в ходе лабораторно–полевых исследований						
Пробы	Масса удобрений в слоях почвы, кг/га					Сумма
	1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой	
1-я проба	19,950	39,196	63,216	83,451	106,472	312,285
2-я проба	16,530	46,090	62,737	77,270	105,905	308,531
3-я проба	18,810	42,330	53,638	74,179	107,398	296,354
4-я проба	13,110	43,749	57,469	78,300	106,793	299,421
5-я проба	14,820	37,358	55,074	76,239	100,928	284,419
6-я проба	19,380	42,677	75,667	80,361	98,305	316,390
Среднее значение	17,1	41,9	61,3	78,3	104,3	302,9
Данные полученные в результате теоретических расчетов						
Масса удобрений в слоях почвы, кг/га						
1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой	Сумма	
16,68	40,62	57,32	76,43	95,40	286,45	

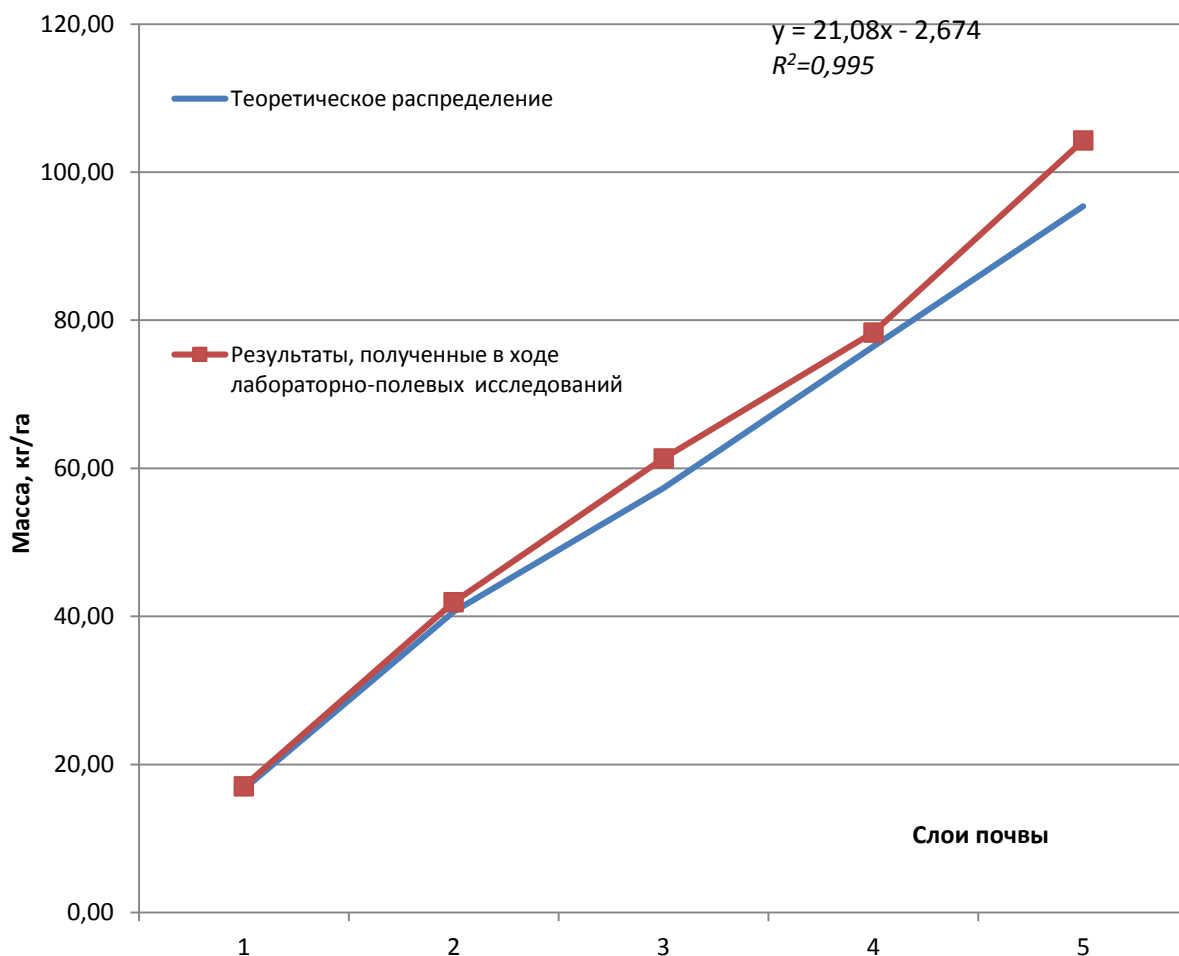


Рисунок 4.4 – Сравнение теоретических результатов и лабораторно-полевых испытаний послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений

Наибольшее количество удобрений располагается в четвертом и пятом слоях, т.е. в месте наибольшего сосредоточения клубней.

Также проведено сравнение экспериментальных испытаний с теоретическим анализом, проведенным во втором разделе. Теоретический анализ показал совпадение результатов по дифференцированному распределению удобрений по слоям. Отклонения не превышают 9,3 %, что говорит о хорошей сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований. Для окончательного подтверждения результатов исследований проведены производственные испытания в условиях реального хозяйства, занимающегося выращиванием картофеля.

### 4.3.3 Влияние скорости воздушного потока на качество дифференцированного распределения удобрений

Важным параметром, влияющим на работу предложенного агрегата и на качество распределения удобрений, является скорость воздушного потока. Если она недостаточная, то гранулы минеральных удобрений движутся в основном под действием силы тяжести и стремятся прижаться к одной из стенок ножа-удобрителя. Очень высокая скорость воздушного потока частично выдувает удобрения на поверхность почвы. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить зависимость послойного распределения минеральных удобрений в почве от скорости воздушного потока.

Анализ полученной зависимости показывает, что без воздушного потока происходит неравномерное распределение минеральных удобрений. Подача воздушного потока значительно улучшает этот процесс. При скорости воздушного потока 3,8...4,2 м/с происходит равномерное распределение удобрений в почвенных слоях. При повышении скорости от 7,8 до 8,2 м/с большее количество минеральных удобрений наблюдается в 4-м и 5-м почвенных слоях, что и требуется для эффективного выполнения технологического процесса подготовки почвы с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений. Дальнейшее увеличение скорости воздушного потока не приводит к улучшению их распределения. Общая масса удобрений в почвенных слоях снижается. Данное явление связано с тем, что часть их выдувается воздушным потоком на поверхность почвы. Распределение минеральных удобрений при скорости воздушного потока 0 м/с описывается функцией  $y = -20,3 + 26,96x$ , при  $R^2 = 0,9609$ ; С изменением скорости воздушного потока 3,8-4,2 м/с распределение описывается функцией  $y = -13,25 + 24,61x$ ; при  $R^2 = 0,9783$ ; При скорости воздушного потока 7,8-8,2 м/с распределение минеральных удобрений описывается функцией  $y = -2,66 + 21,08x$ ; при  $R^2 = 0,9951$ ; При скорости воздушного потока 8,5-9,0 м/с распределение минеральных удобрений описывается функцией  $y = -13,39 + 19,69x$ ; при  $R^2 = 0,9898$ . Графически данная зависимость представлена на рисунке 4.5.

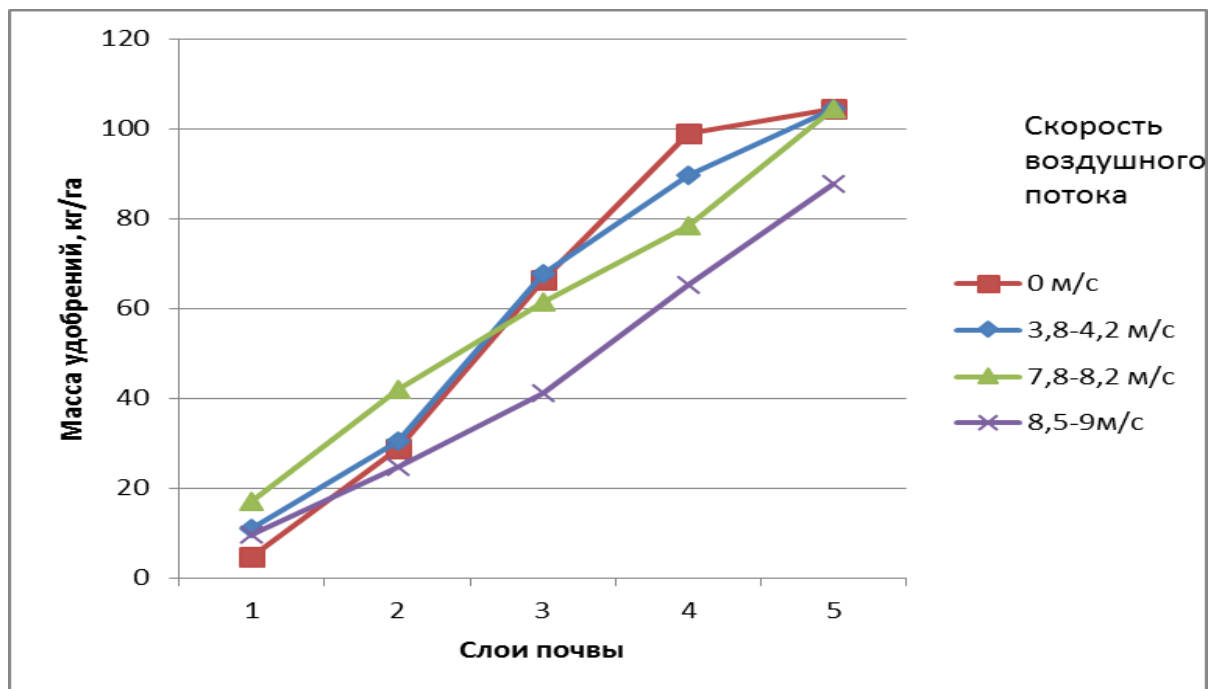


Рисунок 4.5 – Влияние скорости воздушного потока на послойное распределение минеральных удобрений в почве

Таким образом, рекомендуемый диапазон скоростей воздушного потока для оптимального послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений составляет 6...7 м/с, что соответствует результатам теоретических исследований.

#### 4.4 Влияние послойного дифференцированного распределения удобрений на урожайность картофеля

Наиболее объективным критерием, подтверждающим эффективность применения разработанной технологии и предлагаемого агрегата, является повышение урожайности выращиваемой культуры. Проведенные опыты на пробных площадках (раздел 3) позволили установить влияние послойного дифференцированного внесения удобрений на урожайность картофеля.

Максимальная урожайность картофеля зафиксирована в шестом Q<sub>6</sub> ряду на пяти пробных площадках, минимальная – в первом Q<sub>1</sub> ряду также на пяти проб-



ных площадках (рисунок 4.6).

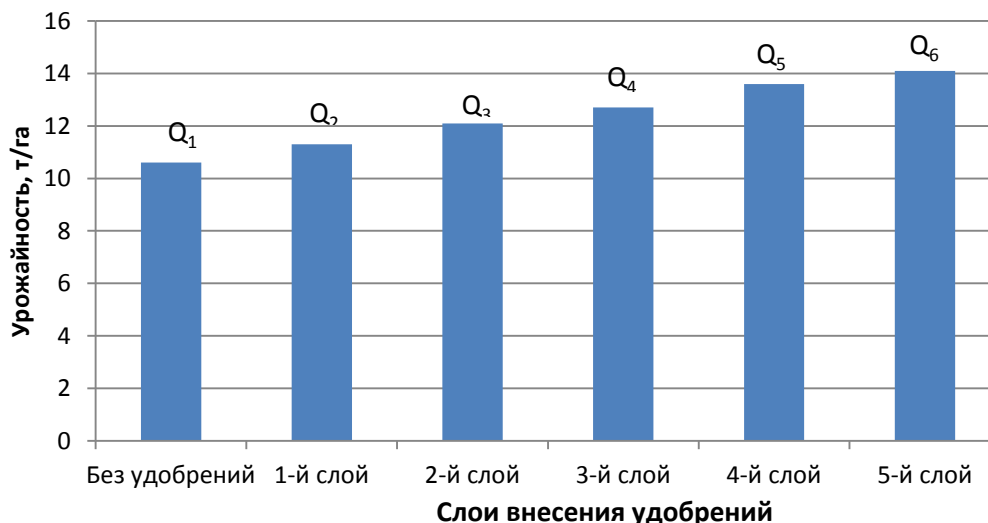


Рисунок 4.6 – Результаты эффективности дифференцированного распределения минеральных удобрений

Полученные данные эксперимента подтвердили гипотезу об эффективности применения послойного дифференцированного внесения удобрений при возделывании картофеля.

#### **4.5 Результаты производственных испытаний опытного агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением удобрений**

Производственная проверка опытного образца агрегата была проведена в Калининском районе Саратовской области в сезон 2018-го года. Возделывание картофеля опытным агрегатом сравнивали с традиционной технологией.

В ходе проведения полевых испытаний установлена норма внесения удобрений туковсевающим аппаратом посредством его регулировки рычагом регулирования. Регулировки туковсевающего аппарата позволяют изменять интенсивность подачи и нормы внесения минеральных удобрений.

Для определения эффективности агрегата произведена подготовка почвы с

дифференцированным распределением азотных и фосфорно-калийных минеральных удобрений под посадку картофеля сорта Розара на площади 1 га, и широко применяемым традиционным способом с однослойным их внесением. Количество внесенных азотных и фосфорно-калийных удобрений аналогично обеим технологиям и составляет 300 кг/га.

Результаты производственной проверки и полевых испытаний опытного образца агрегата показали:

- агрегат работоспособен в производственно-полевых условиях и может быть использован для обработки почвы под возделывание картофеля с дифференцированным распределением удобрений;
- норма внесения минеральных удобрений составляет 300 кг/га при скорости движения трактора 9 км/ч,
- возможна регулировка и установка туковысевающего аппарата опытного агрегата на необходимую норму внесения минеральных удобрений.

По результатам производственной проверки получены результаты, доказывающие, что применение послойного дифференцированного распределения удобрений, увеличивает урожайность картофеля на 14,7 % и составляет 14,8 т/га, тогда как при однослойном способе внесения удобрений – 12,9 т/га.

Урожайность картофеля, возделываемого на шести различных площадках по предлагаемой и традиционной технологиям представлена в таблице 4.6. Графически данная зависимость представлена на рисунке 4.7.

Таблица 4.6 — Данные полученные в результате производственной проверки

	Урожайность картофеля на пробах, т/га						Среднее значение, т/га
	1-я проба	2-я проба	3-я проба	4-я проба	5-я проба	6-я проба	
Агрегат	14,4	15,1	15,3	14,4	15,3	14,4	14,8
Прототип	13,1	13,2	13,4	12,6	12,5	12,6	12,9

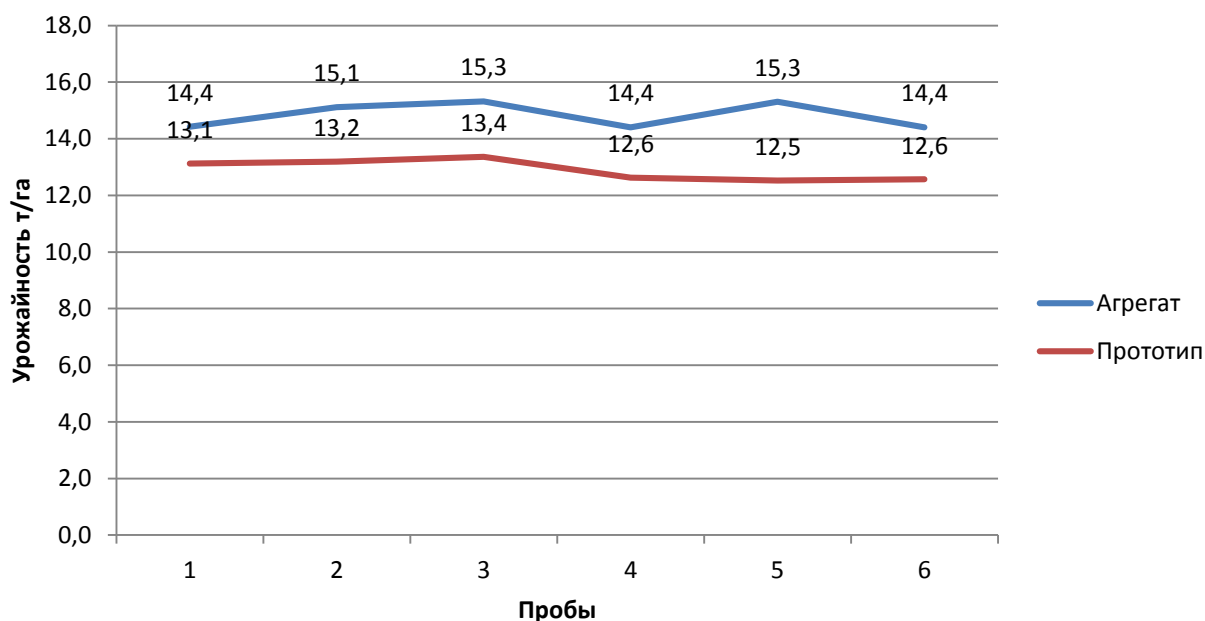


Рисунок 4.7 – Результаты производственной проверки показателя по урожайности

Таким образом, более высокая урожайность при послойном дифференцированном внесении удобрений получена на всех шести пробных площадках, что подтверждает высокую эффективность предлагаемого способа. Полученные результаты позволяют определить технико-экономическую эффективность результатов исследований.

#### 4.6 Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований

Сравнение результатов лабораторно-полевых исследований опытного образца агрегата и теоретического анализа послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений показало высокую достоверность и сходимость (рисунок 4.4). Наибольшее отклонение между соответствующими значениями не превышает требуемого, величина которого составляет 10 %. Анализ экспериментальных и теоретических значений показал: отклонение от теоретического исследования в первом слое составило 2,2 %, во втором – 3,2 %, в третьем – 7 %, в четвёртом – 2,5%, в пятом – 9,3 %. Все отклонения по слоям допустимые.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований обоснованы значения параметров, установленных программой исследований.

#### 4.7 Выводы по разделу

1. Полученные данные экспериментальных исследований способа дифференцированного распределения удобрений, проведенные на 6 пробных площадках, подтвердили гипотезу об эффективности применения послойного дифференцированного внесения удобрений при возделывании картофеля.

2. Установлены наиболее важные физико-механические свойства гранулированных азотных и фосфорно-калийным удобрений: плотность (от 1000 до 1200 кг/м<sup>3</sup>), влажность (15 %), коэффициенты внешнего и внутреннего трения (соответственно 0,45–0,48 и 0,46–0,7), скорость витания частиц удобрений: в потоке воздуха от вентилятора (5,8 м/с) и сопротивление гранул сжатию (4,6 кПа).

3. В ходе полевых испытаний опытного образца агрегата доказана гипотеза оптимальность расположения на поверхности башмака треугольных рыхлительных выступов, благодаря которым в структуре почвы преобладают комки размером менее 20 мм, обеспечивая эффективность последующих операций.

4. Исследованиями определена эффективность направления вращения вертикальных фрез навстречу друг к другу. Частота их вращения, при которой обеспечиваются оптимальное пространственное распределение и необходимый объем минеральных удобрений в почве, составляет 360 мин<sup>-1</sup> при рабочей скорости трактора МТЗ-82 с агрегатом - 9 км/ч.

Послойное взятие проб показало, что в верхнем слое почвы средняя масса удобрений на 1 га составила 17,1 кг, во втором слое – 41,9 кг, в третьем слое – 61,3 кг, в четвертом слое – 78,3 кг, пятом - 104,3 кг.

5. Исследования влияния скорости воздушного потока на процесс внесения удобрений показали, что рекомендуемая скорость воздушного потока для оптимального послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений в почве составляет 6...7 м/с. При данном значении большее количество

гранул сосредоточено на 4-м и 5-м почвенных слоях, что и требуется для выполнения технологического процесса подготовки почвы с послойным дифференцированным распределением удобрений.

6. Производственной проверкой опытного образца агрегата подтверждена высокая эффективность послойного дифференцированного способа внесения минеральных удобрений. При его использовании урожайность составила 14,8 т/га, тогда как при однослойном способе 12,9 т/га. Полученные данные служат основанием считать работу опытного образца агрегата успешной.

**Раздел 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АГРЕГАТА  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЕБНЕВИДНОГО ПОЧВЕННОГО ФОНА  
С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Для оценки экономической эффективности экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона были проведены дополнительные наблюдения при выполнении машиной технологического процесса обработки почвы под развитие картофеля в период полевых исследований в 2018 году в Калининском районе Саратовской области.

При расчете экономических показателей использовалась методика расчета в соответствии с ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [37] и рекомендации по определению экономической эффективности результатов научно-исследовательских работ, справочники и нормативные материалы [4, 20, 21, 33, 34, 38, 47, 85, 143, 151].

**5.1 Обоснование затрат и экономической эффективности агрегата  
для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным  
распределением минеральных удобрений с аналогичным оборудованием**

Определялась экономическая эффективность опытного агрегата через сравнение трудозатрат и прямых издержек на осуществление операции обработки почвы с одновременным внесением удобрений при помощи традиционной гребневой технологии и предлагаемой с послойным внесением минеральных удобрений.

За традиционную технологию была принята выполняемая в условиях Саратовской области безотвальная обработка почв с одновременным подпочвенным внесением минеральных удобрений на глубину до 25 см сприцепным, гидрофи-

цированным глубокорыхлителем-удобрителем КППГ-2,2, для рыхления почвы и формирования гребней применялся культиватор-гребнеобразователь КГО-2,8. Необходимо учесть, что КППГ-2,2 однослойно ленточным способом вносит минеральные удобрения на заданную глубину, преимущество и новшество экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона состоит в пятислойном распределении минеральных удобрений в почвенном фоне, что в итоге позволило получить большую урожайность картофеля с 1 га за счет получения растениями в разные фазы роста и развития питательных веществ без проведения дополнительных технологических операций. Другие аналогические машины, выпускаемые в промышленных серийных масштабах с послойным внесением удобрений, отсутствуют.

Оценка экономической эффективности предложенной технологии обработки почвы производилась по следующим показателям:

- прямые эксплуатационные затраты;
- затраты труда;
- производственные затраты;
- производительность труда;
- потребность в топливе;
- капитальные вложения.

Показатели сравнительной экономической эффективности:

- экономия прямых затрат денежных средств (на единицу наработки);
- экономия затрат труда (на единицу наработки);
- срок окупаемости дополнительных капитальных вложений.

При расчётах затрат на выполнение технологического процесса новой машины и расчетах базовой машины, принятой за эталон, нормативы берутся одинаковыми.

Для определения показателей использовались нормативные данные и расценки на применяемые виды работ.

Для расчёта экономической эффективности от применения разработанного технологического процесса определим стоимость изготовления эксперименталь-

ного агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Исходные данные для экономической оценки экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений

№№ п.п.	Параметры	Базовый		Экспериментальный
		КПГ – 2,2	КГО-2,8	Агрегат
1.	Ширина захвата, м	2,1	2,8	0,35
2.	Число рабочих органов	2	4	1
3.	Рабочая скорость, км/ч	до 10	5-8	до 10
4.	Коэффициент использования времени смены	0,7	0,7	0,7
5.	Количество механизаторов, чел.	1	1	1
6.	Мощность двигателя трактора, кВт	55	55	55
7.	Удельный расход топлива, кг/кВт*ч	0,23	0,23	0,23
8.	Коэффициент использования двигателя	0,7	0,7	0,7
9.	Удельный расход энергоресурсов, кг/га	12,84	12,84	12,84
10.	Часовая тарифная ставка, руб./ч.	89,87	89,87	89,87
11.	Коэффициент доплат и начислений	1,5	1,5	1,5
12.	Цена трактора, руб (без НДС)	960 000	960 000	960 000
13.	Цена с/х машины, руб (без НДС)	292 500	370 000	86 781,2
14.	Норма амортиз. отчислений на трактор, %	10	10	10
15.	Норма амортиз. отчислений на с/х машину, %	14,2	14,2	14,2
16.	Годовая загрузка трактора, ч	1350	1350	1350
17.	Годовая загрузка с/х машины, ч	120	120	120
18.	Норма отчислений на ТР на трактор, %	14,9	14,9	14,9
19.	Норма отчислений на ТР на с/х машину, %	12	12,5	12
20.	Цена топлива, руб./кг	35	35	35
21.	Коэффициент затрат на смазочные материалы	1,15	1,15	1,15
22.	Годовой объем работ в размере сельхозпредприятия, га	10	10	10
23.	Средняя стоимость азотных и фосфорно-калийных удобрений в Саратовской области, руб./т	22374	22374	22374



Следует учесть технические характеристики сравниваемых машин, так ширина захвата КПП-2,2 составляет 2,1 м, при этом ширина захвата рабочего органа 1,1 м, в экспериментальном агрегате – 0,35 м.

### **Расчёт абсолютных экономических показателей технологического процесса формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений**

Абсолютные экономические показатели по специализированной технике, единичным образцам комбинированной и универсальной технике на отдельных технологических операциях определяют в расчете на единицу объема. Таким образом, совокупные затраты денежных средств на единицу наработки  $I_{с.з.}$ , руб/га вычисляем по формуле:

$$I_{с.з.} = I + I_{кл} + I_{ут} + I_{э}, \quad (5.1)$$

где  $I$  - прямые эксплуатационные затраты денежных средств, руб./га;

$I_{кл}$  - затраты, учитывающие изменение количества и качества продукции, руб./га;

$I_{ут}$  - затраты средств, учитывающие уровень труда обслуживающего персонала, руб./га;

$I_{э}$  – затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду, руб./га.

При сравнении экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений и серийного КПП – 2,2 затраты средств, учитывающие уровень труда обслуживающего персонала и затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду одинаковые.

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств на формирование гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений определяем по формуле:

$$I = З + Г + Р + А + Ф, \text{ руб} \quad (5.2)$$

где  $Z$  – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./га;

$\Gamma$  – затраты средств на горюче-смазочные материалы, руб./га;

$P$  – затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./га;

$A$  – затраты средств на амортизацию, руб./га;

$\Phi$  – прочие прямые затраты средств на основные и вспомогательные материалы, руб./га.

Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала определяем по формуле:

$$Z = \frac{1}{W_{\text{см}}} L \tau_T K_1 = \frac{1}{0.3} 1 * 89.87 * 1.5 = 449,4 \text{ руб./га}, \quad (5.3)$$

где  $L$  – число обслуживающего персонала, чел;

$\tau_T$  – оплата труда обслуживающего персонала, руб./чел.-ч;

$W_{\text{см}}$  – производительность МТА в единицах наработки за 1 час сменного времени, га/ч, т/ч (ГОСТ Р 52778-2007) [36];

$K_1$  – коэффициент начислений на зарплату при различных формах налогообложения.

Сменная производительность экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений составит за 1 час сменного времени:

$$W_{\text{см}} = 0,36 B_p v K_{\text{п}} = 0,36 * 0,35 * 2,78 * 0,8 = 0.3 \text{ га/ч}, \quad (5.4)$$

где  $0,36$  – коэффициент, зависящий от принятой единицы измерения скорости;

$B_p$  – ширина захвата МТА, м;

$v$  – скорость движения МТА, м/с;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент перехода от технической производительности МТА к эксплуатационной (0,7...0,9);

$W_{\text{см.э}}$  – производительность экспериментальной машины за 1 час сменного времени, га/ч;

$W_{\text{см.б}}$  – производительность базовой машины за 1 час сменного времени, га/ч.

Сменная производительность экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрение составит за 1 час сменного времени -0.3 га.

Затраты средств на горюче-смазочные материалы, вычисляем по формуле:

$$\Gamma = q_{\tau} \cdot \Pi_{\gamma} \cdot K_{\text{см.м}} = 12,84 * 35 * 0.92 = 413,5 \text{руб./га}, \quad (5.5)$$

где  $q_{\tau}$ - удельный расход топлива, электроэнергии, кВт·ч/ед. наработки; кг/ед.;

$\Pi_{\gamma}$ - цена 1 кг топлива, 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кг, руб./кВт·ч;

$K_{\text{см.м}}$ - коэффициент учёта стоимости смазочных материалов.

Затраты средств на ремонт и техническое обслуживание техники по нормам отчислений от цены машины вычисляем по формуле:

$$P_{\text{агр}} = \frac{B \cdot r_p}{W_{\text{ЭК}} T_3} = \frac{86781,2 \cdot 0.12}{0.3 \cdot 120} = 289,3 \text{руб./га}, \quad (5.6)$$

$$P_{\text{тр}} = \frac{B \cdot r_p}{W_{\text{ЭК}} T_3} = \frac{960000 \cdot 0.149}{0.3 \cdot 1350} = 353,2 \text{руб./га} \quad (5.7)$$

где  $B$  – цена техники (без НДС), руб.;

$r_p$ - коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание техники;

$W_{\text{ЭК}}$ - производительность агрегата в час эксплуатационного времени, га/ч;

$T_3$  - годовая зональная фактическая загрузка техники, ч.

Затраты средств на амортизацию техники определяем по формуле:

$$A = \frac{B a}{W_{\text{ЭК}} T_3} = \frac{86781,2 \cdot 0.142}{0.3 \cdot 120} = 342,3 \text{руб./га}, \quad (5.8)$$

$$A = \frac{B a}{W_{\text{ЭК}} T_3} = \frac{960000 \cdot 0.1}{0.3 \cdot 1350} = 237,1 \text{руб./га} \quad (5.9)$$

где  $a$  – коэффициент отчислений на амортизацию техники.

Прочие прямые затраты на основные и вспомогательные материалы вычисляем по формуле:

$$\Phi = \sum_i h_i \Pi_{Mi}, \quad (5.10)$$

где  $h_i$  – удельный расход  $i$ -го вида материала кг/ед. наработки;  $\Pi_{Mi}$  – стоимость единицы  $i$ -го вида расходуемого материала, руб.

Затраты труда ( $Z_T$ ) в человеко-часах на га при выполнении машиной находили по формуле:

$$Z_T = \sum_i L_i / W_{cm_i} = \frac{1}{0,3} = 3,33, \quad (5.11)$$

где  $L_i$  – число обслуживающего персонала на  $i$ -ой операции, чел;  $W_{cm_i}$  – производительность в единицах наработки за 1 час сменного времени на  $i$ -ой операции, га/ч, т/ч.

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств на формирование гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений определяем по формуле:

$$\begin{aligned} I &= Z + \Gamma + P + A + \Phi \\ I &= 449,4 + 413,5 + 289,3 + 353,2 + 342,3 + 237,1 = 2084,8 \text{ руб} \end{aligned} \quad (5.12)$$

где  $Z$  – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./га;

$\Gamma$  – затраты средств на горюче-смазочные материалы, руб./га;

$P$  – затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./га;

$A$  – затраты средств на амортизацию, руб./га;

$\Phi$  – прочие прямые затраты средств на основные и вспомогательные материалы, руб./га.

Среднестатистические потребительские цены реализации картофеля по Саратовской области в декабре 2019 года<sup>1</sup> [<http://saratov.gov.ru/banners/prices/>] составляют 22 570 руб./т.

Производительность картофеля с использованием прототипа 12,9 т/га и с использованием предлагаемой технологии посадки 14,8 т/га.

<sup>1</sup>По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области

Прибыль от реализации продукции с 1 га составит:

$$\Pi = (14,8 - 12,9) \cdot 22570 = 42\,883 \text{ руб./га} \quad (5.13)$$

Годовая экономия совокупных затрат:

$$\mathcal{E}_{гз} = Дг - (Нкэ * Рг) \quad (5.14)$$

где  $Дг$  – доходы за год, руб;

$Рг$  - расходы за год, руб;

$Нкэ$  - нормативный коэффициент эффективности.

Срок окупаемости агрегата для формирования гребневидного почвенного, лет:

$$T_{ок} = \frac{B_{н}}{\mathcal{E}_{г}} = 2,1 \text{ лет}, \quad (5.15)$$

где  $B_{н}$  - цена новой техники (без торговой наценки) соответственно с учётом затрат на доставку и монтаж, руб,

Результаты расчета абсолютных экономических показателей технологического процесса внесения минеральных удобрений КПП-2,2 и экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений по выражениям 5.2-5.12 приведены в таблице 5.2.

Анализ результатов расчета абсолютных экономических показателей показывает, что производительность экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений в сравнении с серийным КПП – 2,2 в сопоставимых условиях меньше на 0,93 га/ч. Это объясняется различной шириной захвата рабочих органов сравниваемых агрегатов. При этом с учетом эксплуатационных затрат разница не столько значительная и составляет всего 55,2 рубля или 2,5 процента.

Таблица 5.2 – Результаты расчета абсолютных экономических показателей техно-

логического процесса внесения минеральных удобрений КПП-2,2 и экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений

Параметры	КПП - 2,2	КГО-2,8	Экспериментальный агрегат	Индекс изме- нение показа- теля, %
Производительность, га/ч	1,23	1,56	0,3	
Затраты труда, чел.ч/га	0,81	0,64	3,33	
Затраты средств на оплату труда, руб./га	196		449,4	29
Затраты средств на амортизацию, руб./га	574,0		579,4	6
Затраты средств на ремонт, руб./га	542,9		642,5	18
Затраты средств на топливо-смазочные материалы, руб./га	827		413,5	50
Итого: прямые эксплуатационные затраты денежных средств, руб./га	2140		2084,8	2,6
Накладные расходы, руб./га	535		521,2	2,6
<b>Итого совокупные затраты денежных средств, руб.</b>	<b>2 675,0</b>		<b>2 606,0</b>	2,6
<b>Затраты денежных средств на закупку минеральных удобрений, руб/га</b>	<b>6712,2</b>		<b>6712,2</b>	
<b>Всего затрат денежных средств, руб./га</b>	<b>9387,2</b>		<b>9318,2</b>	
Годовая экономия совокупных затрат, руб.			41 485	
Срок окупаемости, лет			2,1	

Так как применение экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений составит в значительной степени влияние на качество дифференциального распределения минеральных удобрений, то совокупные эксплуатационные затраты будут складываться из прямых эксплуатационных затрат и затрат,

учитывающих изменение количества и качества конечной продукции в размере сельхозпредприятия.

### **5.3. Выводы по разделу**

Основываясь на проведенном анализе технико-экономических показателей можно сделать следующие выводы:

Годовая экономия денежных средств при внедрении новой гребневидной технологии с послойным внесением минеральных удобрений с учетом эксплуатационных затрат и удельной ценой техники составляет 41,4 тыс. руб.

Прибыль от реализации продукции составляет 42 тыс. руб.

Также затраты на производство составляют 86 тыс. руб., что на 575,7 тыс. руб. меньше, чем на базовую технологию.

С учетом внедрение новой технологии достигнут экономический эффект, агрегата для формирования гребневидного почвенного фона позволяет повысить эффективность технологического процесса обработки почвы.

Срок окупаемости 2,1 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа существующих технологий и технических средств обработки почвы и внесения удобрений определено перспективное для картофелеводства направление совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих и вносящих минеральные удобрения машин и обоснована схема устройства, позволяющего оптимально для возделывания картофеля подготовить воздушно-водно-питательную почвенную среду в засушливых условиях Саратовской области. Разработан агрегат для формирования гребневидного почвенного фона (патент на изобретение №2671145). Проведены теоретические, экспериментальные и полевые исследования технологического процесса разработанного устройства с обоснованием основных его конструктивно-режимных параметров.

1. Анализ существующих технологий и технических средств выращивания картофеля показал, что внесение удобрений обеспечивающее поступление в почву требуемого количества питательных веществ для возделываемой культуры, при реализации поверхностным способом с последующей их заделкой в почву не позволяет создать нужный питательный фон почвы и является значительно менее эффективным в сравнении с глубинным размещением туков, в особенности в засушливых условиях.

2. Для сохранения влаги в почве и оптимальной структуры почвы предложен способ подготовки почвы путем с нарезкой гребней, имеющих меньшую высоту, а посадку клубней картофеля осуществлять в основной горизонт обработанного почвенного слоя, позволяет минимизировать негативное влияние на развивающиеся клубни засушливых периодов, по сравнению с обычной гребневой технологией. Внесение в обрабатываемый пласт почвы минеральных удобрений выполняется дифференцировано тремя рабочими органами, два из которых установлены на агрегате в верхнем ярусе и один в нижнем. Разработан агрегат (патент № 2671145) для формирования гребневидного почвенного фона с диф-



ференцированным внесением и распределением по слоям минеральных удобрений под развитие картофеля.

3. Проведены теоретические исследования и получены аналитические выражения для обоснования параметров рабочих органов агрегата для агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений. Скорость движения гранул минеральных удобрений и их распределение в почве зависят от скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором (выражения 2.49; 2.69). Качество распределения гранул в почве так же определяется параметрами пластин ножа-удобрителя. Аналитически обоснована скорость движения трактора (выражение 2.92) и производительность агрегата (выражение 2.8).

4. В ходе экспериментально-полевых исследований опытного образца агрегата установлена эффективность применения на поверхности башмака треугольных рыхлительных выступов, обеспечивающих преобладание в структуре почвы комков размером менее 20 мм и эффективность последующих операций. Исследованиями установлено, что рациональная производительность агрегата достигается при частоте встречного вращения фрез, равной  $360 \text{ мин}^{-1}$  при рабочей скорости трактора МТЗ-82 с агрегатом - 9 км/ч, в результате чего обеспечивается оптимальное внесение в почвенный фон по пространственному распределению и объему минеральных удобрений. Послойное взятие проб показало, что в верхнем слое почвы средняя масса удобрений на 1 га составила 17,1 кг, во втором слое – 41,9 кг, в третьем слое – 61,3 кг, в четвертом слое – 78,3 кг, пятом - 104,3 кг.

5. Исследования влияния скорости воздушного потока на процесс распределения удобрений позволил установить оптимальное значение скорости. Рекомендуемый диапазон скорости воздушного потока в ноже-удобрителе составляет 6-7 м/с. При данном значении большее количество гранул сосредоточено на 2 и 3 тупонаправительных пластинах, что и требуется для эффективного выполнения технологического процесса подготовки почвы с дифференцированным распределением удобрений.

6. В результате полевых исследований в КФХ «Родники» Калининского

района Саратовской области подтверждена возможность применения разработанного агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцируемым распределением минеральных удобрений. Годовой экономический эффект составил 41,5 тыс. рублей. Срок окупаемости дополнительных капиталовложений 2,1 года.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрегат для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным по слоям распределением минеральных удобрений под развитие картофеля в Саратовской области / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3. – С. 130-135.
2. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Металлургия, 1969. – 157 с.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М. : Наука, 1971. – 283 с.
4. Антошкевич, В. С. Экономическое обоснование новой сельскохозяйственной техники / В. С. Антошкевич. – М. : Экономика, 1971. – 216 с.
5. Арнаутов, В. В. Картофель / В. В. Арнаутов. – М. : Главиздат, 1993. – 567 с. : ил.
6. А. с. 1113021 СССР, А 01 С 21/00. Способ внесения минеральных удобрений под картофель / К. А. Пшеченков, В. С. Серебренников, И. П. Шостаковский, А. И. Замотаев (СССР). – № 3555790/30-15 ; заявл. 23.02.83 ; опубл. 15.09.84, Бюл. № 34. – 3 с. : ил.
7. А. с. 1738111 СССР, А 01 В 49/06, А 01 С 7/00. Комбинированный рабочий орган для внесения удобрений в почву / Х. С. Гайнанов, Э. Н. Фаттахов, Р. Н. Булатов (СССР). – № 48322272/15 ; заявл. 15.03.90 ; опубл. 07.06.92, Бюл. № 21. – 5 с. : ил.
8. А. с. 1796085 СССР, А 01 В 49/06. Рабочий орган для рыхления почвы и внесения в нее удобрений / А. А. Ахметов, Р. И. Байметов, Т. А. Ахметова, Э. С. Курбанов (СССР). – № 4806516/15 ; заявл. 02.04.90 ; опубл. 23.02.93, Бюл. № 7. – 5 с. : ил.
9. Бабенко, А. С. Использование вермикомпоста для получения оздоровительного семенного картофеля / А. С. Бабенко, Р. А. Карначук, Ю. Е. Якимов // Дождевые черви и плодородие почв : матер. 2-й Междунар. конф. – Владимир, 2004. – С. 197-199.
10. Балабанов, П. Р. Опыт возделывания картофеля по технологии ЦНИИМ. Колхоз "Маяк" Перемышльского района Калужской области / П. Р. Балабанов, В. И. Еремеев // Картофель и овощи. – 2000. – № 4. – С. 6 – 7.
11. Балабанов, П. Р. Технология возделывания картофеля с междурядьем в 140 см / П. Р. Балабанов и др. – М. : ЦНИИМ, 1996. – 85 с.
12. Бацанов, С. Н. Картофель / С. Н. Бацанов. – М. : Колос, 1970. – 376 с. : ил.
13. Белик, В. Д. Овощные культуры и технологии их возделывания / В. Д. Белик, В. Е. Советкина. – М. : Агропромиздат, 1991. – 480 с. : ил.
14. Бермант, А. Ф. Краткий курс математического анализа для вузов / А. Ф. Бермант,

И. Г. Араманович. – М. : Наука, 1973. – 720 с.

15. Бок, Н. Б. О кинематике почвообрабатывающих фрез / Н. Б. Бок // Материалы НТС ВИСХОМ. – М., 1965. – Вып. 20. – С. 142-147.

16. Боос, Г. Б. Овощи – родник здоровья / Г. Б. Боос, В. И. Буренин. – Л. : Лениниздат, 1985. – 221 с. : ил.

17. Боровиков, В. STATISTICA : искусство анализа данных на компьютере / В. Боровиков – СПб. : Питер, 2001. – 656 с. : ил.

18. Бродский, В. З. Введение в факторное планирование эксперимента / В. З. Бродский. – М. : Наука, 1976. – 223 с.

19. Брус И. Д. Расчет установок пневмотранспорта : Учеб.-метод. указания к проведению расчетной работы по курсу: «Процессы и аппараты химической технологии» / И. Д. Брус, Н. С. Тураев. --Томск, ТПУ, 2008. - 23 с.

20. Булохов, В. А. Экономический справочник сельского специалиста / В. А. Булохов, П. И. Пеннер. – М. : Россельхозиздат, 1983. – 192 с.

21. Булохов, В. А. Экономический справочник сельского специалиста / В. А. Булохов, П. И. Пеннер. – М. : Россельхозиздат, 1983. – 192 с.

22. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства : Посевные площади Российской Федерации в 2015 году [Электронный ресурс] / Федер. служба гос. статистики. – Режим доступа : [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516).

23. Ванифатьев, А. Г. Освоение энергоресурсосберегающих технологий в картофелеводстве : уч.-практ. пособие / А. Г. Ванифатьев, В. Х. Дубинин. – Пущино : ОНТИ ПНЦ РАН, 2001. – 44 с.

24. Вертикально-фрезерные культиваторы [Электронный ресурс] / Агросистема. – Режим доступа: [http://www.agrosistema.ru/index.php?id=64&itemid=49&option=com\\_content&view=article](http://www.agrosistema.ru/index.php?id=64&itemid=49&option=com_content&view=article).

25. ВМП АВИТЕК 1999-2002 [Электронный ресурс] / Официальный сайт ОАО Вятское машиностроительное предприятие. – Режим доступа <http://www.avitec.kirov.ru> [свободный]

26. Воловик, А. С. Справочник мастера-картофелевода / А. С. Воловик, И. П. Тектониди. - М., 1985. – 160 с.

27. Вольпер, И. М. картофель. История, применение, употребление / И. М. Вольпер, Я. И. Магидов. – М. : Пищевая промышленность, 1978. – 144 с. : ил.

28. Вопросы картофелеводства : матер. выездного заседания Президиума Россельхозакадемии (ВНИИКС, 30-31 мая 1997 г.) // Науч. тр. РАСХН, Всерос. НИИ картофельного хоз-ва / ред. кол. : А. В. Коршунов [и др]. - М., 1998. – 165 с.

29. Гельмут, К. Овощеводство : пер. с нем. / К. Гельмут. – М. : Колос, 2000. – 572 с.
30. Горбачев, И. В. Предпосадочная подготовка почвы при возделывании картофеля / И. В. Горбачев, В. М. Лабух // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 3 – С. 38–40.
31. Горячкин, В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин. – М. : Колос, 1965. – Т.1. – 680 с.
32. Горячкин, В. П. Собрание сочинений. – М. : Колос, 1965. – Т.2 – 459 с.
33. ГОСТ 23728–88. Техника сельскохозяйственная. Основные положения и показатели экономической оценки. – Введ. 1988–19–12. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 13 с.
34. ГОСТ 23729-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специализированных машин. – Введ. 1988–19–12. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 17 с.
35. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. - Введ.1979-01-01. - М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 10 с.
36. ГОСТ Р 52778 - 2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Введ. 2008-07-01. - М. : Изд-во Стандартиформ, 2008. – 27 с.
37. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2009-01-01. - М. : Изд-во Стандартиформ, 2009. – 20 с.
38. ГОСТ Р 53057 - 2008. Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности. – Введ. 2009-01-01. - М. : Изд-во Стандартиформ, 2009. – 8 с.
39. Грандштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Грандштейн, И. М. Рыжик. – М. : Высш. Математика, 1973. – 108 с.
40. Гринчук, И. М. Режим работы почвофрез / И. М. Гринчук, Ю. И. Матяшин // Механизация и электрификация соц. сельского хоз-ва. – 1968. – № 6. – С. 7–9.
41. Грядет международный год картофеля. Что он нам несет? // Агробазы. – 2006. – № 2. – С. 65.
42. Деменьтев, А. И. Совершенствование техники внесения удобрений в засушливых условиях Поволжья : монография / А. И. Деменьтев, Н. В. Юдаев. – М. : Наука образования, 2012. – 142 с. : ил.
43. Диденко, Н. Ф. Машины для уборки овощей / Н. Ф. Диденко, В. А. Хвостов, В. П. Медведев. – М. : Машиностроение, 1984. – 320 с. : ил.
44. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. - 351 с.
45. Захарченко, А. А. Методика и некоторые результаты использования тракторов МТЗ с различной колеей на возделывании картофеля / А. А. Захарченко // Сб. тр. Всероссийской

научно-практической конференции «Современные технологии, средства механизации и технологического оборудования АПК». – Саранск, 2002. С. 128-134.

46. Захарченко, А. А. Эффективность использования тракторов с щадящим воздействием на почву в различных технологиях возделывания картофеля : дис. ... канд. тех. Наук : 20.05.01 / Захарченко Анатолий Анатольевич. – М., 2004. – 166 с.

47. Захарченко, А. Н. Оценка технико-экономических показателей различных МТП в технологии возделывания картофеля / А. Н. Захарченко, Р. Н. Пахунова, А. А. Захарченко // Доклады МГАУ. – М., 2001. – С. 85-87.

48. Зедгинидзе, И. Г. Математическое планирование эксперимента для исследования и оптимизации свойств смесей / И. Г. Зедгинидзе. – Тбилиси : Мецниереба, 1971. – 151 с.

49. Зима, М. Вкусные блюда из картофеля / М. Зима. – Харьков : Клуб семейного досуга, 2008. – 160 с. : ил.

50. Зубков, В. В. Механизированная технология возделывания картофеля с минимальным уплотнением почвы / В. В. Зубков, Н. И. Верещагин // Тракторы и сельхозмашины. – 1998. – № 5. – С. 19.

51. Имамов, И. С. Механико-технологические основы теории деформации почвы рабочими органами почвообрабатывающих и посевных машин (моделирование методом конечных элементов, оптимизация и автоматизированное проектирование) : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : 20.05.01 / Имамов Имран Сабир. – М., 1992. – 56 с.

52. Индустриальное овощеводство / Г. Е. Исаев [и др.]. – М. : Россельхозиздат, 1987. – 189 с.

53. Исследование факторов, влияющих на урожайность картофеля / Д. О. Семенов [и др.] // Матер. Междунар. научно.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора А. Г. Рыбалко. – Саратов, 2016. - с. 68-70.

54. Канаев, Н. Ф. Механика почвообрабатывающей фрезы / Н. Ф. Канаев. – М. : Машгиз, 1957. – 120 с.

55. Карманов, С. Н. Урожай и качество картофеля / С. Н. Карманов, В. П. Кирюхин, А. В. Коршунов. – М. : Россельхозиздат, 1988. – 167 с. : ил.

56. Картофель : Саратовская область – рынок сбыта, а не производитель [Электронный ресурс] : Бизнес-вектор : Агентство деловых новостей. – Режим доступа : <http://www.business-vector.info/?p=32611>.

57. Клепиков, Н.Л. Анализ и планирование эксперимента методом максимума правдоподобия / Н. Л. Клепиков, С. Н. Соколов. – М. : Физматгиз, 1964. – 184 с.

58. Коганов, А. Б. Механизация глубинного внесения туков / А. Б. Коганов. – Саратов : Приволж. кн. изд-во, 1968. – 24 с. : ил.

59. Кокорин, А. Ф. Основы испытаний сельскохозяйственной техники : учеб. пособие / А. Ф. Кокорин, А. В. Корепанов ; ФГОУВПО "Челябинский государственный агроинженерный университет". – Челябинск, 2008. – 73 с.
60. Колчинский, Ю. Л. Опыт применения зарубежных технологий возделывания картофеля в России / Ю. Л. Колчинский, Л.М. Колчина. – М. : Информагротех, 1997. – 44 с.
61. Корчагин, В. А. Севообороты в земледелии Среднего Поволжья : учеб. пособие / В. А. Корчагин, С. Н. Зудилин, С. Н. Шевченко. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. – 130 с.
62. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв : учебник для вузов / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : КолосС, 2004. – 352 с.
63. Лабух, В. М. Восстановление плодородия почвы при возделывании картофеля / В. М. Лабух // Молодые ученые- возрождению сельского хозяйства России в 21 веке : матер. Всерос. науч. конф. / Брянской ГСХА. – Брянск, 1999. - 170 с.
64. Лабух, В. М. К уменьшению уплотнения почвы / В. М. Лабух // Достижения науки и передовой опыт в производство и учебно-воспитательный процесс : матер. XI межвуз. науч.-практ. конф. / Брянская ГСХА. – Брянск, 1998. - 91 с.
65. Лабух, В. М. Картофель требует особенной подготовки почвы / В. М. Лабух, И. В. Горбачев // Сельский механизатор. – 2011. – № 10. – С. 14–15.
66. Лабух, В. М. Необходимость глубокого рыхления при подготовке почвы под картофель / В.М. Лабух // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ. - Брянск : Издательство Брянской ГСХА, 2008. - 190 с.
67. Лабух, В. М. Обоснование геометрических параметров глубокорыхлителя / В. М. Лабух // Проблемы природообустройства и экологической безопасности. Материалы XVI межвузовской научно-практической конференции. – Брянск : Издат. Брянской ГСХА, 2003. - 92 с.
68. Лабух, В. М. Определение дальности полета частиц почвы, после взаимодействия с универсальной лапой / В. М. Лабух // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ. - Брянск : Издательство Брянской ГСХА, 2004. - 285 с.
69. Лабух, В. М. Подготовка почвы под картофель с применением ярусного глубокорыхлителя: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 20.01.05/ Лабух Владимир Михайлович. – М., 2009. – 19 с.
70. Лабух, В. М. Теоретическое обоснование формирования гребней приглубоком рыхлении почвы под картофель / В. М. Лабух, А. М. Михальченков // Материалы Международной конференции «Актуальные проблемы аграрной науки». – Рязань, 2009. - 275 с.

71. Лабух, В. М. Эффективный глубокорыхлитель / В. М. Лабух // Сельский механизатор. - 2008 - №2. - С. 48-49.
72. Лабух, В. М. Оптимизация параметров рабочего органа для разуплотнения почвы / В. М. Лабух, В. Т. Аксютенков, В. Н. Блохин // Материалы XIV межвузовской научно-практической конференции. – Брянск : Издат. Брянской ГСХА, 2001. - 224 с.
73. Лабух, В. М. Некоторые пути уменьшения уплотнения почвы при возделывании картофеля / В. М. Лабух // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии на рубеже третьего тысячелетия и пути их решения». Часть вторая. – Брянск : Брянская ГСХА, 1999. - 724 с.
74. Лабух, В. М. Особенности культиватора для подготовки почвы под картофель / В. М. Лабух // Материалы XII межвузовской научно-практической конференции. – Брянск : Издат. Брянской ГСХА, 1999. - 140 с.
75. Лабух, В. М. Почва в гребнях - урожай картофеля выше / В. М. Лабух, А. М. Михальченко, В. Е. Ториков // Сельский механизатор.- 2008- №7С.23-24.
76. Лещанкин, А. И. Опыт возделывания картофеля на тяжелых почвах / А. И. Лещанкин, Н. С. Колесников, М. Н. Чаткин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1992. – №5. – С. 15 –16
77. Литвинов, С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве / с. С. Литвинов. М. : ГНУ, 2011, - 648 с.
78. Лорх, А. Г. Картофель / А. Г. Лорх. – М. : Московский рабочий, 1955. – 155 с. : ил.
79. Малис, А. Я. Пневматический транспорт для сыпучих материалов / А. Я. Малис, М. Г. Косторных. М. : Агропромиздат, 1985. – 344 с.
80. Маркова, Е. В. Руководство по применению латинских планов при планировании эксперимента с качественными факторами / Е. В. Маркова. – Челябинск : Южно-Уральское кн. изд-во, 1971. – 155 с.
81. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. Н. Рощин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.
82. Метод наименьших квадратов [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.mathprofi.ru/metod\\_naimenshih\\_kvadratov.html](http://www.mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov.html)
83. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. – 328 с.
84. Методика изучения физико-механических свойств сельскохозяйственных растений [Текст]. – М. : ВИСХОМ, ОНТИ, 1960. – 272с.



85. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники 2-х частях: нормативно-справочный материал / А. В. Шпилько и др. – М. : РИЦ ГОСНИТИ, 1998. – Ч.1 –331 с; Ч.2 – 270 с.
86. Минеев, В. Г. Агрехимия : Учебник / В. Г. Минеев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : КолосС, 2004. – 720 с. : ил.
87. Михальченков, А. М. Энергоемкость рабочих органов глубокорыхлителей / А. М. Михальченков, Ю. М. Ганеев, В. М. Лабух // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ. – Брянск : Издательство Брянской ГСХА, 2009. – С. 12 – 15.
88. Налимов, В. В. Статистические методы описания химических и металлургических процессов / В. В. Налимов. – М. : Металлургиздат, 1963. – 60 с.
89. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.
90. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М. : Наука, 1971. – 208 с.
91. Новые идеи в планировании эксперимента / Под общ.ред. В. В. Налимова. – М. : Наука, 1969. – 336 с.
92. О ведомственной целевой программе «Увеличение производства картофеля в Саратовской области на 2013 – 2016 годы» [Электронный ресурс] : Правительство Саратовской области : Министерство сельского хозяйства. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/467700269>.
93. Обзор рынка картофеля и овощей в государствах-членах Евразийского экономического союза за 2010 – 2014 годы / Департамент агропромышленной политики. – М. : 2015. – 68 с.
94. Образовательный математический сайт [Электронный ресурс] / Проект разработан компанией Softline, центром СМТМО МГИЭМ, РосНИИ ИС. – 2003. – Режим доступа <http://www.exponenta.ru>.
95. Одинец, А.А. Травник: Золотая книга целителя / А. А. Одинец. – М. : АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2006. – 304 с. : ил.
96. Определение среднего значения, вариации и формы распределения. [Электронный ресурс] / Описательные статистики. – Режим доступа : <http://baguzin.ru/wp/opredelenie-srednego-znacheniya-varia/> -
97. Основные показатели сельского хозяйства в России : бюллетень / Федер. Служба Госуд. Статистики. – М. : ИИЦ «Статистика России, 2015. – 68 с.

98. ОСТ 70.8.7-83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Программа и методы испытаний. – М. : Сельхозтехника, 1984. – 195 с.
99. Панов, И. М. Физические основы механики почв / И. М. Панов, В. И. Ветохин. – Киев : Феникс, 2009 – 266 с.
100. Пат. 2031563 Российская Федерация, МПК А01 В 49/06. Устройство для внесения в почву смеси питательных растворов с газами / В. М. Циферов, А. И. Плугин, В. Г. Петров. – № 4725328/15 ; заявл. 02.08.1989 ; опубл. 27.03.1995. – 4 с. : ил.
101. Пат. 2075273 Российская Федерация, МПК А01 В 49/06, А 01 С 7/20. Рабочий орган для внесения минеральных удобрений одновременно с безотвальной обработкой почвы / Б. Н. Емелин, И. В. Саяпин, С. В. Давыдов, Ю. А. Иванов. – № 94022954/15 ; заявл. 29.06.1994 ; опубл. 20.03.1997. – 5 с. : ил.
102. Пат. 2204231 Российская Федерация, МПК А 01 С 7/20, А 01 В 49/06. Устройство для внесения удобрений в почву / Р. Н. Булатов, Х. С. Гайнанов, Э. Н. Фаттахов. – № 2001106846/13 ; заявл. 13.03.2001 ; опубл. 20.05.2003. – 7 с. : ил.
103. Пат. 2338360 Российская Федерация, МПК А 01 С 15/00, А 01 В 49/04. Устройство для внесения минеральных удобрений при сплошной обработке почвы / А. Н. Медовник, Б. Ф. Тарасенко, Г. Г. Маслов, С. А. Твердохлебов, С. А. Горовой. – № 2006144997/12 ; заявл. 18.12.2006 ; опубл. 20.11.2008. – 5 с. : ил.
104. Пат. 2351109 Российская Федерация, МПК А 01 В 49/06, А01 С 21/00. Способ внесения в почву сыпучих удобрений и устройство для его осуществления / Р. М. Латыпов, А. И. Арефьев, А. П. Дорохов, Н. А. Печерцев. – № 2007139968/12 ; заявл. 29.10.2007 ; опубл. 10.04.2009. – 7 с. : ил.
105. Пат. 2369071 Российская Федерация, МПК А 01 С 7/20, А01 В 49/06. Рабочий орган для внесения минеральных удобрений одновременно с безотвальной обработкой почвы / А. Ф. Рогачев, Н. Н. Скитер, А. М. Салдаев, Г. А. Салдаев. – № 2008118055/12 ; заявл. 05.05.2008 ; опубл. 10.10.2009. – 6 с. : ил.
106. Пат. 2370931 Российская Федерация, МПК А01 В 49/06, А 01 С 23/02. Комбинированный агрегат для обработки почвы и внесения жидких удобрений / С. С. Туболев, И. И. Иркин, С. И. Шеломенцев. – № 2008134696/12 ; заявл. 27.08.2008 ; опубл. 27.10.2009. – 18 с. : ил.
107. Пат. 2372766 Российская Федерация, МПК А 01 С 7/20, А 01 В 49/06. Устройство для многослойного внесения минеральных удобрений в почву / Ю. Н. Шардина, С. В. Давыдов, Г. Е. Шардина, Е. С. Нестеров, О. В. Саяпин. – № 2008114554/12 ; заявл. 14.04.2008 ; опубл. 20.11.2009. – 7 с. : ил.
108. Пат. 2411709 Российская Федерация, МПК А 01 В 49/06, А 01 С 7/20. Комбиниро-

ванное орудие для обработки почвы с внесением удобрений / В. Г. Абезин, А. Н. Цепляев, М. Н. Шапров. – № 2009139099/2 ; заявл. 22.10.2009 ; опубл. 20.02.2011. – 6 с. : ил.

109. Пат. 2490845 Российская Федерация, МПК А 01 В 49/06, А 01 С 7/20. Плоскорез-глубокорыхлитель удобритель / В. Г. Абезин, А. Л. Сальников, В. Н. Руденко, А. Г. Беспалов. – № 2011152896/13 ; заявл. 15.02.2012 ; опубл. 27.08.2013. – 5 с. : ил.

110. Пат. 2494597 Российская Федерация, МПК А 01 С 7/20, А 01 В 49/06. Устройство для послойного внесения минеральных удобрений / В. А. Милюткин, В. В. Орлов, А. В. Милюткин, М. А. Канаев, Д. Н. Котов. – № 2012103635/13 ; заявл. 02.02.2012 ; опубл. 10.10.2013. – 6 с. : ил.

111. Пат. 2514403 Российская Федерация, МПК А 01 В 49/06. Рыхлитель-удобритель / В. Г. Абезин, А. Н. Цепляев, С. И. Боданов, В. А. Цепляев. – № 2012144854/13 ; заявл. 22.10.2012 ; опубл. 27.04.2014. – 7 с. : ил.

112. Пат. 2555036 Российская Федерация, МПК А 01 В 17/00, А 01 В 49/04. Комбинированное почвообрабатывающее орудие / В. Г. Абезин, Н. Н. Дубенок, С. Я. Семенов, Н. Ю. Петров, В. А. Моторин. – № 2014111503/13 ; заявл. 25.03.2014 ; опубл. 10.07.2015. – 6 с. : ил.

113. Пат. 2629283 Российская Федерация, МПК А 01 В 79/02, А 01 С 21/00, А 01 В 49/06, А 01 В 13/02, А 01 В 13/14, А 01 В 33/06. Способ подготовки почвенной зоны под развитие картофеля и устройство для его осуществления / Е. С. Нестеров, А. П. Марченко, Г. Е. Шардина, Д. О. Семенов. – № 2016129273 ; заявл. 19.07.2016 ; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 25 – 11 с. : ил.

114. Пат. 2671145 Российская Федерация, МПК А 01 С 21/00, А 01 В 49/06, А 01 В 13/02, А 01 В 13/14, А 01 В 33/06. Агрегат для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным по слоям распределением минеральных удобрений под развитие картофеля / Г. Е. Шардина, Д. О. Семенов, Е. С. Нестеров, А. П. Марченко. – № 2017142695 ; заявл. 07.12.2017 ; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31 – 8 с. : ил.

115. Писаренко, В. Н. Планирование кинетических исследований / В. Н. Писаренко, А. Г. Погорелов. – М. : Наука, 1969. – 176 с.

116. "План деятельности Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на 2019 - 2024 годы" (утв. Минсельхозом России 04.04.2019 N ДП-1250). - Режим доступа : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_322795/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_322795/) -

117. Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации : бюллетень / Федер. Служба Госуд. Статистики. – М. : ИИЦ «Статистика России, 2016. – 44 с.

118. Приказ Минпромторга России от 01.03.2013 № 252 "Об утверждении норм естественной убыли продовольственных товаров в сфере торговли и общественного питания" (Зарегистрировано в Минюсте России 05.04.2013 N 27999). - Режим доступа :

[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144979/520cee6326c8e5aa7a1f64f06fd14678cc59ec0a/#dst100009-](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144979/520cee6326c8e5aa7a1f64f06fd14678cc59ec0a/#dst100009-)

119. Протасов, А. А. Технологический процесс сепарации почвенно-морковного вороха крупноячеистой поверхностью : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Протасов Андрей Анатольевич. – Саратов, 1988. – 209 с.

120. Рамазанова, Г. Г. Обоснование профиля рабочей поверхности ножа фрезы для обработки почвы / Г. Г. Рамазанова, М. И. Белов, П. И. Гаджиев // Техника и оборудование для села. - 2016. – №2. – С. 7-8.

121. Рузинов, Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов / Л. П. Рузинов. – М. : Химия, 1972. – 200 с.

122. Руководство по апробации овощных культур и кормовых корнеплодов / под редакцией Д. Д. Брежнева. – М. : Колос, 1982. – 415 с.

123. Рябов, Е. И. Ветровая эрозия и опыт применения мульчирования почвы пожнивными остатками в Ставропольском крае : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 532 / Рябов Евгений Иванович. – М., 1970. – 36 с.

124. Савин, Ю. Комментарий. Картофелеводство – перспективный вид аграрного бизнеса / Ю. Савин // Крестьянские ведомости. – 2008. – 13 ноября.

125. Северный, А. Э. Справочник по хранению сельскохозяйственной техники / А. Э. Северный, А. Ф. Пацкалев, А. А. Новиков. – М. : Колос, 1984. – 224 с.

126. Сельское хозяйство в России : [статистический сборник]. – М. : Госкомстат России, 2000. – 414 с.

127. Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в России : стат. сб. / Федер. Служба Госуд. Статистики. – М. : ИИЦ «Статистика России», 2015. – 201 с.

128. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Под общ.ред. Г. Е. Листопада. – М. : Агропромиздат, 1986. – 687 с.

129. Сельскохозяйственные машины: Методические рекомендации по выполнению расчетно-проектной работы по теме: «Основы динамического крошения почвенных комков перед посадкой картофеля» / сост. П. И. Гаджиев. – М. : РГАЗУ, 2008. – 86 с.

130. Семенов, Д. О. Technology of fertilizer application for potatoes, the conditions required for the formation of high-quality tubers // Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина // Молодой ученый: Междунар. научный журнал. – 2016. – № 18. – С. 2.

131. Семенов, Д. О. Обоснование схемы агрегата для подготовки почвы под возделывание картофеля в Саратовской области / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Научное обозрение. – 2016. – № 11. – С. 133 – 137.

132. Семенов, Д. О. Параметры работы агрегата для подготовки почвенной зоны под возделывание картофеля / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 140-145.
133. Семенов, Д. О. Полевые испытания экспериментальной картофелесажалки / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, М. В. Карпов, Е. С. Нестеров, О. В. Саяпин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-техн. семинара им. В. В. Михайлова. – Саратов, 2016. – С 7.
134. Семенов, Д. О. Построение фона почвы для возделывания картофеля / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Научное обозрение. – 2016. – № 9. – С. 38 – 39.
135. Семенов, Д. О. Применение удобрений в гребневой технологии производства картофеля / Д. О. Семенов, Е. С. Нестеров // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию Государственного аграрного университета имени императора Петра I. – Воронеж, 2015. – С. 280 – 284.
136. Семенов, Д. О. Применение удобрений при выращивании картофеля, их влияние на качество урожая / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко. - Саратов, 2016. – С. 88 – 90.
137. Серафимович, Л. П. Планирование эксперимента: учебное пособие / Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. – 128 с.
138. Синеоков, Г.Н. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 325 с.
139. Солонишкин, В. Оптимизация минерального питания картофеля / В. Солонишкин // Картофельная система. – 2010. – №4. – С. 20–22.
140. Состояние технической оснащённости АПК России : Материалы Госдумы РФ // Техника и оборудование для села. – 2002. – №11. – С. 13–15.
141. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. М. : Машиностроение, 1983. - 487 с.
142. Способы внесения удобрений : науч. труды ВАСХНИЛ. – М. : Колос, 1976. – 224 с.
143. Справочник по тарификации механизированных работ в растениеводстве и животноводстве государственных предприятий сельского хозяйства. – М. : ВНИИЭСХ, 1980. – 60 с.
144. Старовойтов, В.И. Оптический полевой мониторинг в оригинальном картофелеводстве / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, В.И. Балабанов, А.А. Манохина // Наука в центральной России. 2019. – № 6 (42). – С. 91-99.
145. Старовойтова, О.А. Влияние средовых факторов со снижением пестицидной

нагрузки на формирование урожая картофеля / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина, Ю.П. Бойко, Ю.А. Масюк // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2019. – № 2 (90). – С. 30-34.

146. Старовойтова, О.А. На пути к органическому картофелю / В.И. Старовойтов, А.А. Манохина, Н.В. Воронов, Х.Н. Насибов // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. – № 41-2. – С. 91-97.

147. Старовойтова, О.А. Физико-механические параметры почвы при выращивании картофеля на грядах / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина, С.М. Духанина // Земледелие. 2018. – № 5. – С. 16-20.

148. Строение картофеля: корня, клубня, стебля и листьев [Электронный ресурс] : Овощевед. – Режим доступа : <http://ovosheved.ru/kartofel/stroenie-kartofelya.html>.

149. Тараканов, В.Д. Овощеводство / В. Д. Тараканов, К. А. Мухин. – М. : Колос, 1993. – 511 с. : ил.

150. Технологии и технические средства заготовки кормов: учебно-методическое пособие / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, Е. Е. Демин, А. С. Старцев, А. В. Данилин, Е. С. Нестеров, Р. А. Денисов, Р. Р. Хакимзянов, О. В. Саяпин. – Саратов : ООО «Амирит», 2017. - 127 с.

151. Типовые нормы выработки на ручные работы в полеводстве и овощеводстве. – М. : Колос, 1988. – 208 с.

152. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 264 с.

153. Туболев, С. С. Машинные технологии и техника для производства картофеля / С. С. Туболев, С. И. Шеломенцев, К. А. Пшеченков, В. Н. Зейрук. – М. : Агроспас, 2010. – 316 с. : ил.

154. Турко, С. А. Настольная книга картофелевода / С. А. Турко, М. И. Рубель, В. Г. Иванюк и др. – Минск : Изд-во РУП «Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2007. – 165 с.: ил.

155. Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120 "Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации". - Режим доступа : <https://base.garant.ru/12172719/#friends> -

156. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений : (методы, исследования, приборы, характеристики). – М. : Колос, 1970. – 423 с.

157. Фирсов, М. М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники / М. М. Фирсов. – М. : МСХА, 1999. – 127 с.

158. Хвостов, В.А. Основные направления создания конструкций машин для уборки овощей : Обзорная информация / В. А. Хвостов, Э. С. Рейнгард, О. Л. Пантелеев [и др.]. – М. : ЦН ИНТЭИ тракторсельхозмаш, 1985. – 62 с.

159. Хикс, Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. – М. : Мир, 1967. – 407 с.

160. Хутинаев, О.С. Выращивание миниклубней картофеля и топинамбура в условиях водно-воздушной культуры с использованием искусственного освещения / О.С. Хутинаев, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Манохина, Н.Э. Шабанов, О.С. Колесова // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2018. – № 4 (86). – С. 7-14.

161. Чаткин, М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов с винтовыми элементами / М. Н. Чаткин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 316 с. : ил.

162. Шульгин, А.М. Климат почвы и его регулирование : монография / А. М. Шульгин. – Ленинград : Гидрометеорологическое изд-во, 1967. – 302 с.

163. Ягодин, Б. А. Агрохимия : Учебник / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – М. : Колос, 2002. – 584 с. : ил.

164. Maple 9.5 [Электронный ресурс]. – Прикладнаяпрогр. (528 Мб). – М. : ООО Гистерезис, 2003.

165. SSPS 13.0 for Windows [Электронный ресурс]. – Граф.дан. и прикладная прогр. (564 Мб). – М. : ООО Гистерезис, 2003.

166. Statistica 10.0 [Электронный ресурс]. – Прикладная прогр. (800 Мб). – М. : ООО Гистерезис, 2018.

167. Agronomic performance of sweet potato with different potassium fertilization rates / CecilioFilho, Arthur B.; Nascimento, Sandra M. C.; Silva, Alexsandra S. N.; // HORTICULTURA BRASILEIRA.-2016. - Vol. 34, i. 4.- P. 588-592

168. Balanced Fertilizer Management Strategy Enhances Potato Yield and Marketing Quality / Tan, Xue-Lian; Guo, Tian-Wen; Song, Shang-You; // AGRONOMY JOURNAL.- 2016. - Vol. 108, i. 6.- P. 2235-2244

169. Byrd, P.F. Friedman Handbook of elliptic integrals for engineers and physicists / P.F. Byrd, M.D. Friedman. – Berlin. : Gottingen-Heidelberg, 1954. – 423 p.

170. Canopy Indices to Quantify the Economic Optimum Nitrogen Rate in Processing Potato / Giletto, Claudia M.; Echeverria, Hernan E. // AMERICAN JOURNAL OF POTATO RESEARCH. - 2016. - Vol. 93, i. 3. - P. 253-263

171. Commercial Evaluation of Seasonal Distribution of Nitrogen Fertilizer for Potato / Rens, Libby R.; Zotarelli, Lincoln; Cantliffe, Daniel J.; // POTATO RESEARCH. -2016. Vol. 59, i. 1.- P. 1-20

172. Content and Uptake of Nutrients with Plant Biomass of Potatoes Depending on Potassium Fertilization / Neshev, Nesho; Manolov, Ivan // 4th International Conference on Agriculture for Life, Life for Agriculture: Bucharest, ROMANIA. - Agriculture and Agricultural Science Procedia. - 2015. - Vol. 6.- P. 63-66

173. Controls on Nitrate Loading and Implications for BMPs Under Intensive Potato Production Systems in Prince Edward Island, Canada / Zebarth, Bernie J.; Danielescu, Serban; Nyiraneza, Judith; // GROUND WATER MONITORING AND REMEDIATION.- 2015.- Vol. 35, i. 1.- P. 30-42

174. Cover crops reduce nitrogen leaching and improve food quality in an organic potato and broccoli farming rotation / Komatsuzaki, M. // JOURNAL OF SOIL AND WATER CONSERVATION. – 2017.- Vol. 72, i.5. - P. 539-549

175. Distillery anaerobic digestion residues: A new opportunity for sweet potato fertilization / Nicoletto, Carlo; Galvao, Aline; Maucieri, Carmelo // SCIENTIA HORTICULTURAE/ - 2017.- Vol. 225.- P. 38-47

176. Effect of different mineral fertilization technologies on the size of starch granules in potato / Bogucka, Bozena // STARCH-STARKE.- 2014.- Vol. 66, i. 7-8.- P. 685-690

177. Effect of green manure and supplemental fertility amendments on selected soil quality parameters in an organic potato rotation in Eastern Canada / Sharifi, Mehdi; Lynch, Derek H.; Hammermeister, Andrew; // NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS.- 2014. - Vol. 100 i. 2 .-P. 135-146

178. Effect of partial root zone drying and deficit irrigation on nitrogen and phosphorus uptake in potato / Liu, Caixia; Rubaek, Gitte H.; Liu, Fulai // AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT. - 2015. - Vol. 159. - P. 66-76

179. Effect of poultry manure on the yield and nutrients uptake of potato under saline conditions of arid regions / Oustani, Mabrouka; Halilat, Mohammed Tahar; Chenchouni, Haroune // EMIRATES JOURNAL OF FOOD AND AGRICULTURE. – 2015. - Vol. 27 I. 1 P. 106-120 Organic amendment effects on potato productivity and quality are related to soil microbial activity / Ninh, H. T.; Grandy, A. S.; Wickings, K.; и др. // PLANT AND SOIL.- 2015. - Vol. 386, i. 1-2. - P. 223-236

180. Effect of the Organic fertilizer source and the level of mineral fertilizer in concentration of N, P, K and total tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) / Mahmood, Jawad Taha; Salman, Naddin Aziz // RESEARCH JOURNAL OF PHARMACEUTICAL BIOLOGICAL AND CHEMICAL SCIENCES. 2017. - Vol. 8, i. 3.- P. 1067-1075



181.EFFECT OF TWO MAGNESIUM FERTILIZERS ON LEAF MAGNESIUM CONCENTRATION, YIELD, AND QUALITY OF POTATO AND SUGAR BEET / Orlovius, K.; McHoul, J. // JOURNAL OF PLANT NUTRITION. - 2015. -Vol. 38, i. 13. - P. 2044-2054

182.Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop / Zareabyaneh, H.; Bayatvarkeshi, M. // ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES. - 2015. -Vol. 74, i. 4. - P. 3385-3393

183.Environmental risk assessment of blight-resistant potato: use of a crop model to quantify nitrogen cycling at scales of the field and cropping system / Young, Mark W.; Mullins, Ewen; Squire, Geoffrey R. // ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH. – 2017. - Vol. 24, i. 26.- P. 21434-21444

184.Fertilizer nitrogen uptake efficiencies for potato as influenced by application timing / Rens, Libby; Zotarelli, Lincoln; Alva, Ashok; // NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS. – 2016.- Vol. 104, i. 2.- P. 175-185

185.Fertilizer reduction and nitrogen rates and splitting on growth and yield of potato / Kawakami, Jackson // HORTICULTURA BRASILEIRA.- 2015.- Vol. 33 i. 2.- P. 168-173 Content of nitrates in potato tubers depending on the organic matter, soil fertilizer, cultivation simplifications applied and storage / Pobereznny, Jaroslaw; Wszelaczynska, Elzbieta; Wichrowska, Dorota; // Chilean Journal of Agricultural Research.- 2015. -Vol. 75, i. 1. - P. 42-49

186.Fumigation and Fertilizer Nitrogen Source Effects on Potato Yield, Quality, and Early Dying / Kelling, Keith A.; Rouse, Douglas I.; Speth, Phillip E. // AMERICAN JOURNAL OF POTATO RESEARCH.- 2017.- Vol. 94, i.5.- P. 481-489

187.Impact of Bio- and Organic Fertilizers on Potato Yield, Quality and Tuber Weight Loss After Harvest / El-Sayed, Sayed F.; Hassan, Hassan A.; El-Mogy, Mohamed M. // POTATO RESEARCH. - 2015. -Vol. 58, i. 1.- P. 67-81

188.Importance of Early-Season Nitrogen Rate and Placement to Russet Burbank Potatoes / Kelling, Keith A.; Hensler, Ronald F.; Speth, Phillip E. // AMERICAN JOURNAL OF POTATO RESEARCH.- 2015.- Vol. 92, i. 4.- P. 502-510

189.Improving Productivity of Managed Potato Cropping Systems in Eastern Canada: Crop Rotation and Nitrogen Source Effects / Nyiraneza, Judith; Peters, Rick D.; Rodd, Vernon A.; и др. // AGRONOMY JOURNAL.- 2015.- Vol. 107, i. 4.- P. 1447-1457

190.Improving yield and mineral nutrient concentration of potato tubers through cover cropping / Jahanzad, Emad; Barker, Allen V.; Hashemi, Masoud; // FIELD CROPS RESEARCH. – 2017. - Vol. 212. - P. 45-51

191. In-Season Nitrogen Status Assessment and Yield Estimation Using Hyperspectral Vegetation Indices in a Potato Crop / Morier, T.; Cambouris, A. N.; Chokmani, K. // *AGRONOMY JOURNAL*. - 2015. - Vol. 107, i. 4. - P. 1295-1309

192. Lack of yield response in potato (*Solanum tuberosum* L.) to phosphate fertilizer under contrasting soil types varying in phosphate absorption coefficient and available phosphate / Gondwe, Rodney Lindizga; Kinoshita, Rintaro; Sano, Mao; // *SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION*. - 2017. - Vol. 63, i. 2. - P. 171-177

193. Lee, R. Agromechanics has machinery for farming / R. Lee // *Agricultural Machinery Journal*. - 2002. - № 3. - P. 60-64.

194. Long-term addition of compost and NP fertilizer increases crop yield and improves soil quality in experiments on smallholder farms / Bedada, Workneh; Karlton, Erik; Lemenih, Mulugeta; // *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT*. - 2014. - Vol. 195. - P. 193-201

195. Luxury Absorption of Potassium by Potato Plants / Kang, Wenqin; Fan, Mingshou; Ma, Zhong; и др. // *AMERICAN JOURNAL OF POTATO RESEARCH*. - 2014. - Vol. 91, i. 5. - P. 573-578

196. Nitrogen Fertilizer Rate and Application Timing for Chipping Potato Cultivar Atlantic / Zotarelli, Lincoln; Rens, Libby R.; Cantliffe, Daniel J.; // *AGRONOMY JOURNAL*. - 2014. - Vol. 106 i. 6. - P. 2215-2226

197. OPTIONS FOR USING VARIOUS MINERAL NITROGEN FERTILIZER APPLICATIONS IN POTATOES / Svobodova, Andrea; Kasal, Pavel; Mayer, Vaclav // *International Conference on Soil - The Non-Renewable Environmental Resource: Brno, CZECH REPUBLIC - PROCEEDINGS FROM INTERNATIONAL CONFERENCE: SOIL - THE NON-RENEWABLE ENVIRONMENTAL RESOURCE*. - 2016. - P. 295-299

198. PERFORMANCE OF ORGANOMINERAL FERTILIZER IN WINTER AND RAINY POTATO CROP / Cardoso, Atalita Francis; Quintao Lana, Regina Maria; Soares, Walyson; // *BIO-SCIENCE JOURNAL*. - 2017. - Vol. 33, i. 4. - P. 861-870

199. Performance of the SUBSTOR-potato model across contrasting growing conditions / Raymundo, Rubi; Asseng, Senthold; Prasad, Rishi; // *FIELD CROPS RESEARCH*. - 2017. - Vol. 202. - P. 57-76

200. Phosphorus influence on quality and yield of tubers of dual purpose potato cultivars / Fernandes, Adalton M.; Soratto, Rogerio P.; Evangelista, Regina M.; // *HORTICULTURA BRASILEIRA*. - 2016. - Vol. 34, i. 3. - P. 346-355

201. Plant protection for organically grown potatoes - a review / Olle, Margit; Tsahkna, Aide; Taechtjaerv, Terje; // *BIOLOGICAL AGRICULTURE & HORTICULTURE*. - 2015. - Vol. 31, i. 3. - P. 147-157

202. Possibility to predict the yield of potatoes grown under two crop production systems on the basis of selected morphological and physiological plant indicators / Zarzynska, Krystyna; Pietraszko, Milena // PLANT SOIL AND ENVIRONMENT. -2017.- Vol. 63, i. 4.- P. 165-170

203. Potassium fertilization and its residual effect on productivity and quality of potato tubers / Ferreira Silvaco, Heider Rodrigo; RezendeFontes, Paulo Cezar // PESQUISA AGROPECUARIA BRASILEIRA. - 2016. - Vol. 51, i. 7. - P. 842-848

204. Potassium impact on nitrogen use efficiency in potato - a case study from the Central-East Europe / Grzebisz, Witold; Cermak, Pavel; Rroco, Evan; // PLANT SOIL AND ENVIRONMENT. – 2017.- Vol. 63, i. 9.- P. 422-427

205. POTASSIUM SCHOENITE: AN EMERGING SOURCE OF POTASSIUM FOR IMPROVING GROWTH, YIELD AND QUALITY OF POTATO / Ghosh, Dibakar; Sarkar, Sukamal; Brahmachari, Koushik; // JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY AND AGRICULTURAL SCIENCES. – 2017.- Vol. 5, i. 2 P. 173-182

206. Potato Management Challenges Created by Phosphorus Chemistry and Plant Roots / Fixen, Paul E.; Bruulsema, Tom W. // 96th Annual Meeting of the Potato-Association-of-America on Potato Phosphorus Management and Utilization for Today and Tomorrow: Denver, AMERICAN JOURNAL OF POTATO RESEARCH. - 2014. - Vol. 91, i. 2.- P. 121-131

207. Potato performance as influenced by the proportion of wetted soil volume and nitrogen under drip irrigation with plastic mulch / Yang, Kaijing; Wang, Fengxin; Shock, Clinton C.; // AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT. -2017.- Vol. 179. - P. 260-270

208. Potato Spectrum and the Digital Image Feature Parameters on the Response of the Nitrogen Level and Its Application / He Cai-lian; Zheng Shun-lin; Wan Nian-xin; // SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS. – 2016. - Vol. 36, i. 9. - P. 2930-2936

209. PRODUCTIVITY OF POTATO TUBERS "ATLANTIC" AS A FUNCTION OF ORGANOMINERAL FERTILIZER USE / Cardoso, Atalita Francis; Queiroz Luz, Jose Magno; Quintao Lana, Regina Maria // REVISTA CAATINGA.- 2015. - Vol. 28, i. 4.- P. 80-89

210. Rate and timing of nitrogen fertilizer application on potato 'FL1867'. Part I: Plant nitrogen uptake and soil nitrogen availability / Zotarelli, Lincoln; Rens, Libby R.; Cantliffe, Daniel J. // FIELD CROPS RESEARCH.- 2015. -Vol. 183. - P. 246-256

211. Rate and timing of nitrogen fertilizer application on potato 'FL1867' part II: Marketable yield and tuber quality / Rens, Libby R.; Zotarelli, Lincoln; Cantliffe, Daniel J. // FIELD CROPS RESEARCH. - 2015. - Vol. 183.- P. 267-275

212. Recovery of phosphorus fertilizer in potato as affected by application strategy and soil type / Ekelof, J. E.; Lundell, J.; Asp, H.; и др. // JOURNAL OF PLANT NUTRITION AND SOIL SCIENCE.- 2014.- Vol. 177, i. 3.- P. 369-377

213. Response of potato's cultivation (*Solanum tuberosum* L.) to the combination of the ecological fertilizer HerbaGreen with chemical fertilizer / Abreu Cruz, Enildo Osmani; Gonzalez Oramas, Gerardo; Liriano Gonzalez, Ramon; // CENTRO AGRICOLA. -2017.- Vol. 44, i. 1.- P. 80-89

214. Soil Nutrient Evolution during the First Rotation in Organic and Conventional Farming Systems / De Cima, D. Sanchez; Reintam, E.; Tein, B. // COMMUNICATIONS IN SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS. – 2015.- Vol. 46, i. 21.- P. 2675-2687

215. Spatial Variability of Potato Tuber Yield and Plant Nitrogen Uptake Related to Soil Properties / Allaire, Suzanne E.; Cambouris, Athyna N.; Lafond, Jonathan A.; и др. // AGRONOMY JOURNAL.- 2014.- Vol. 106, i. 3.- P. 851-859

216. Testing of a Fertilizing Plant Stimulator Vermesfluid in Potatoes / Kasal, Pavel; Cervena, Kristyna; Lyckova, Barbora; // INZYNIERIA MINERALNA-JOURNAL OF THE POLISH MINERAL ENGINEERING SOCIETY. – 2015. - i. 1.- P. 57-60

217. THE EFFECTS OF DIFFERENT NITROGEN DOSES ON TUBER YIELD AND SOME AGRONOMICAL TRAITS OF EARLY POTATOES / Gulluoglu, Leyla; Arioglu, H. Halis; Bakal, Halil // TURKISH JOURNAL OF FIELD CROPS. - 2015. - Vol. 20, i. 1. - P. 120-124

218. The impact of long-term application of inorganic nitrogen fertilizers and manure on changes of selected properties of organic matter in sandy loam soil / Murawska, Barbara; Kondratowicz-Maciejewska, Krystyna; Spychaj-Fabisiak, Ewa; // JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN AGRICULTURE. – 2017.- Vol. 18, i. 3. - P. 542-553

219. The positive effect of phosphogypsum-supplemented composts on potato plant growth in the field and tuber yield / Kammoun, Mariem; Ghorbel, Imen; Charfeddine, Safa; // JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. – 2017.- Vol. 200.- P. 475-483

220. The use of humic acid urea fertilizer for increasing yield and utilization of nitrogen in sweet potato / Chen, Xiaoguang; Kou, Meng; Tang, Zhonghou; // PLANT SOIL AND ENVIRONMENT. -2017.- Vol. 63, i. 5.- P. 201-206

221. Weinstein, B. Ultimate Potato Book: Hundreds of Ways to Turn America's Favorite Side Dish into a Meal / B. Weinstein, M. Scarbrough. – William Morrow Cookbooks, 2003. – 272 c.

222. Yield and Physiological Response of Potatoes Indicate Different Strategies to Cope with Drought Stress and Nitrogen Fertilization / Saravia, David; Roxana Farfan-Vignolo, Evelyn; Gutierrez, Raymundo; // AMERICAN JOURNAL OF POTATO RESEARCH.- 2016. -Vol. 93, i. 3. - P. 288-295

223. Yield, nitrogen recovery efficiency and quality of vegetables grown with organic waste-derived fertilizers / Ovsthus, I ; Seljasen, R ; Stockdale, E ; Uhlig, C ; Torp, T ; Breland, TA // NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS.- 2017.- Vol. 109, i.3.- P. 233-248 DOI: 10.1007/s10705-017-9881-7

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU(11)[2 629 283](#)(13)С1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК

- [A01B 79/02 \(2006.01\)](#)
- [A01C 21/00 \(2006.01\)](#)
- [A01B 49/06 \(2006.01\)](#)
- [A01B 13/02 \(2006.01\)](#)
- [A01B 13/14 \(2006.01\)](#)
- [A01B 33/06 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: [2016129273](#), 19.07.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**19.07.2016**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **19.07.2016**(45) Опубликовано: [28.08.2017](#) Бюл. № [25](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2105452 С1, 27.02.1998. SU 1113021 А, 15.09.1984. DE 102011054862 А1, 03.05.2012. DE 19366296 А1, 28.01.1971. DE 20000716 U1, 31.05.2001. US 7975631 В2, 12.07.2011. EP 3108735 А1, 28.12.2016.

Адрес для переписки:  
410012, Саратовская обл., г. Саратов, 1,  
ФГБОУ ВО "Саратовский ГАУ", патентный  
отдел

(72) Автор(ы):

**Нестеров Евгений Сергеевич (RU),  
Марченко Александр Петрович (RU),  
Шардина Галина Евгеньевна (RU),  
Семенов Дмитрий Олегович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего об-  
разования "Саратовский государственный  
аграрный университет имени Н.И. Вави-  
лова" (RU)**

(54) Способ подготовки почвенной зоны под развитие картофеля и устройство для его осуществления







РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU(11)[2 671 145](#)(13)C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51)  
МПК

- [A01C 21/00 \(2006.01\)](#)
- [A01B 49/06 \(2006.01\)](#)
- [A01B 13/02 \(2006.01\)](#)
- [A01B 13/14 \(2006.01\)](#)
- [A01B 33/06 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

- A01C 21/00 (2006.01)
- A01B 49/065 (2006.01)
- A01B 13/02 (2006.01)
- A01B 13/14 (2006.01)
- A01B 33/06 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 19.11.2018)

(21)(22) Заявка: [2017142695](#), 07.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:

**07.12.2017**

Дата регистрации:

**29.10.2018**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **07.12.2017**(45) Опубликовано: [29.10.2018](#) Бюл. № **31**(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2629283 C1, 28.08.2017. EP 2401900 A1, 04.01.2012. EP 0016499 A1, 01.10.1980. US 5622123 A, 22.04.1997. US 4108089 A, 22.08.1978.**

Адрес для переписки:

**410012, обл. Саратовская, г. Саратов, 1, ФГБОУ ВО "Саратовский ГАУ", патентный отдел**

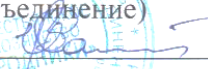

(72) Автор(ы):

**Шардина Галина Евгеньевна (RU), Семенов Дмитрий Олегович (RU), Нестеров Евгений Сергеевич (RU), Марченко Александр Петрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)**

УТВЕРЖДАЮ

Глава Крестьянского хозяйства  
«Родники» (Фермерское Семейное  
Объединение) И. В. Сяпин  
«11»  2019г.**АКТ хозяйственных испытаний и производственной проверки**

Комиссия в составе: представителей Крестьянского хозяйства «Родники» - главы Сяпина И. В. (председатель комиссии) и членов комиссии: инженера Сяпина О. В., главного агронома Сяпина В. В. и тракториста Королева Н.А. а также представителя ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» соискателя Семенова Д. О., составила акт хозяйственных испытаний и производственной проверки опытного образца агрегата с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений для подготовки почвы под возделывание картофеля, разработанного на основании результатов научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы соискателем Семеновым Д. О. на кафедре «Техническое обеспечение АПК», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова».

В ходе испытаний и при дальнейшей эксплуатации установлено, что агрегат обслуживается одним оператором. Трактор МТЗ-82, агрегатируемый с навешенным опытным образцом, производит подготовку почвы под возделывание картофеля с скоростью 9 км/ч и частотой вращения фрез агрегата 360 мин<sup>-1</sup>. Норма внесения удобрений с учетом почвенно-грунтовых условий для данной сельскохозяйственной культуры составляет 300 кг/га. Послойное взятие проб показало, что в верхнем слое почвы средняя масса минеральных удобрений составила 17,1 кг/га, во втором слое – 41,9 кг/га, в третьем слое – 61,3 кг/га, в четвертом слое – 78,3 кг/га, пятом – 104,3 кг/га.

По результатам испытаний и эксплуатации агрегата было установлено, что все узлы и детали работают удовлетворительно и без поломок, комиссия пришла к выводу, что он надежен в работе, обеспечивает достаточную производительность и пригоден для использования на производствах, связанных с выращиванием картофеля.

Председатель комиссии:

Глава Крестьянского  
хозяйства «Родники»

И. В. Сяпин

Члены комиссии:

Инженер

Крестьянского хозяйства «Родники»

О. В. Сяпин

Главный агроном

Крестьянского хозяйства «Родники»

В. В. Сяпин

Тракторист

Крестьянского хозяйства «Родники»

Н.А. Королев

Соискатель

Д.О. Семенов

**АКТ внедрения результатов научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы в КХ «Родники»**

Глава КХ «Родники» Саратовской области, Калининского района Саяпин И. В. и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова», в лице соискателя Семенова Д.О. составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы Семенова Д. О. над совершенствованием процесса подготовки почвы под возделывание картофеля путем разработки агрегата с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений, выполненной на кафедре «Техническое обеспечение АПК», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова», внедрены в КХ «Родники» Саратовской области, Калининского района путем использования в течение 2 месяцев 2019 года разработанного агрегата с послойным дифференцированным распределением удобрений для подготовки почвы под возделывание картофеля.

*Результат внедрения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы:* использование агрегата дает возможность хозяйству получить прибыль, учитывающую изменение количества и качества продукции, в размере 42883 руб/га.

Годовая экономия денежных средств с учетом эксплуатационных затрат и удельной ценой техники составит 41485 руб.

*Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:*

Внедрение агрегата с послойным дифференцированным внесением минеральных удобрений позволяет повысить эффективность технологического процесса подготовки почвы под возделывание картофеля, с достижением экономического эффекта. Считаю необходимым рекомендовать к внедрению в хозяйствах занимающихся картофелеводством.

Глава КХ «Родники»



И. В. Саяпин

**Расчет стоимости изготовления экспериментального агрегата  
для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным  
распределением минеральных удобрений**

Стоимость изготовления экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений определяем по формуле:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{зп}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{нр}}, \text{ руб.} \quad (\text{Д.1})$$

где  $C_{\text{зп}}$  - основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих с начислениями на заработную плату, руб.;

$C_{\text{мат}}$  - стоимость материалов и деталей, израсходованных на изготовление экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений, руб.;

$C_{\text{нр}}$  - накладные расходы, руб.

Расчет издержек на основную и дополнительную заработную плату рабочих определена на основе типовых нормативов времени на станочные, слесарные, сварочные работы в сельском хозяйстве (таблица Д.1).

Таблица Д.1 – Расчет расходов на оплату труда и начисления на оплату труда

№	Вид работ	Трудоёмкость, чел.ч	Часовая тарифная ставка, руб.	Основная з/плата, руб.	Дополнительная з/плата, руб. (15%)	Всего фонд оплаты труда, руб.	Отчисления в ФСС, ПФР, ФНС, руб. (30,2%)	Расходы на оплату труда и страховые взносы, руб.
1	Токарные	14	89,2	1248,8	187,3	1436,1	433,7	1869,8
2	Слесарные	32	64,2	2054,4	308,2	2362,6	713,5	3076,1
3	Сварочные	18	76,6	1378,8	206,8	1585,6	478,9	2064,5
4	Малярные	2	64,2	128,4	19,3	147,7	44,6	192,3
	<b>Итого:</b>	<b>66</b>		<b>4810,4</b>	<b>721,6</b>	<b>5532,0</b>	<b>1670,7</b>	<b>7202,6</b>

Из таблицы видно, что расходы на оплату труда рабочих и страховые взносы составляют 7202,6 рублей, при этом затраты на основную заработную плату – 4810,4 руб. при трудоемкости выполнения работ - 66 человеко-часов.

В таблице Д.2 представлен расчет затрат на материалы и приобретенные изделия для сбора агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений.

Таблица Д.2 – Затраты на материалы и покупные изделия

№	Наименование материала	Кол-во, кг, шт	Цена за кг, шт, руб	Стоимость всего, руб.
1	Труба 100x100	9,5	600	5700
2	Труба 50x50	15	370	5550
3	Труба 20x40	3	109	327
4	Уголок 80x80	1,5	407	610,5
5	Лист гладкий 1,5x1250x2500	1	712	712
6	Полоса стальная 12x150	1	950	950
7	Труба круглая 40x3,5	1,7	179	304,3
8	Редуктор МВЮ 22.000	1	5800	5800
9	Редуктор НО 9120101	2	3400	6800
10	Ступица опорного колеса	2	2500	5000
11	Окучник дисковый ТИП 1	1	1793	1793
12	Вентилятор Ровен	1	4715	4715
13	Диск колеса КрК3 887А-3101012	2	3000	6000
14	Шина 9.00-16	2	4800	9600
15	Цепь ПР – 25,4	8	380	3040
16	Цепь ПР – 15,875	1	270	270
17	Звездочка z16 t25,4	2	512	1024
18	Звездочка z32 t25,4	2	592	1184
19	Звездочка z45 t15,875	1	1088	1088
20	Звездочка z18 t25,4	4	600	2400
21	Звездочка z18 t15,875	2	500	1000
22	Шланг-гофрад40	3	150	450
23	Шланг-гофрад20	4,5	120	540
24	Лапа, стойка КПП-2,2	1	5300	5300
25	Высевающий аппарат	1	4500	4500
26	Фреза	2	1560	3120
	<b>Итого:</b>			<b>77777,8</b>

Стоимость материалов и деталей, израсходованных на изготовление экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений, без НДС составляет 77777,8 руб.

Накладные расходы (НР) по изготовлению конструкторской разработки принимаем в процентах от суммы расходов на оплату труда предприятия-изготовителя.

Таким образом, стоимость экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений составит:

$$C_{\text{м}} = 7202,7 + 77777,8 + 7202,7 \cdot 0,25 = 86781,2 \text{ руб.}$$

### Метод наименьших квадратов

Пусть в некоторой предметной области исследуются показатели  $X$ ,  $Y$  которые имеют количественное выражение (таблица Е.1). При этом есть все основания полагать, что показатель  $Y$  зависит от показателя  $X$ . Обозначим через:  $X$  – Слои почвы, ед.,  $Y$  – Масса минеральных удобрений, кг.

При проведении опытов и обработке результатов получены данные.

Таблица Е.1 – Опытные данные

$x$	1	2	3	4	5
$y$	17,1	41,9	61,3	78,3	104,3

где:  $x_1$  – первый слой почвы и т.д.;

$y_1$  – масса минеральных удобрений в первом слое почвы и т.д.

Табличные данные также можно записать в виде точек  $A_1(1;17,1)$ ,  $A_2(2;41,9)$ ,  $A_3(3; 61,3)$ ,  $A_4(4;78,3)$ ,  $A_5(5;104,3)$  и изобразить в декартовой системе координат  $XOY$  (рисунок Е.1).

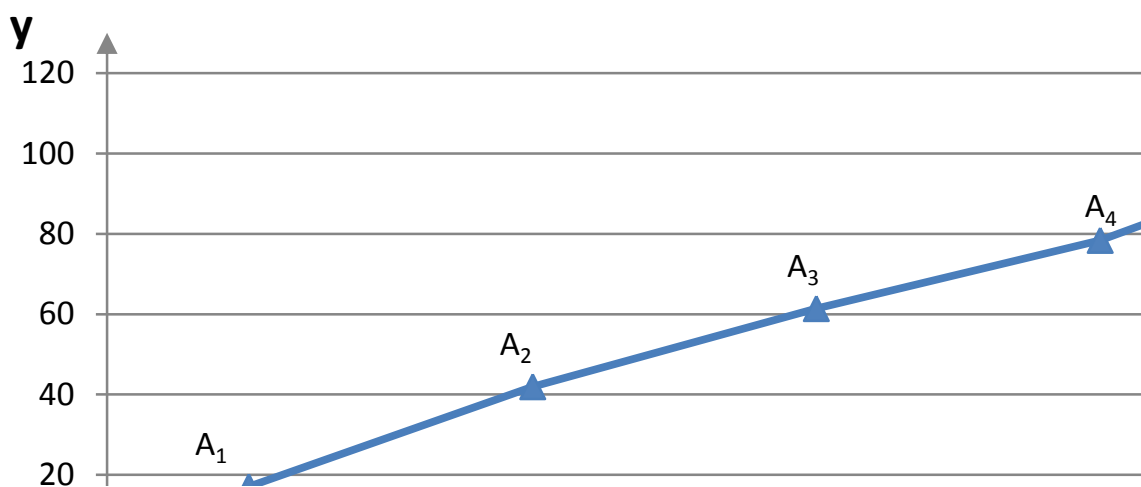


Рисунок Е.1 – Полученные результаты в системе координат  $XOY$

Согласно используемой методике, для качественного исследования необходимо 5-6 точек. Необходимо подобрать функцию  $y = f(x)$ , график которой проходит как можно ближе к точкам  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ . Такую функцию называют аппроксимирующей или теоретической функцией.

Пусть некоторая функция  $y = f(x)$  приближает экспериментальные данные  $A_1(x_1; y_1)$ ,  $A_2(x_2; y_2)$ ,  $A_3(x_3; y_3) \dots A_n(x_n; y_n)$ .

Для определения точности приближения экспериментальных данных, вычислим  $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$ , и найдем разности (отклонения)

$e_1 = y_1 - f(x_1), e_2 = y_2 - f(x_2), \dots, e_n = y_n - f(x_n)$ , между экспериментальными и функциональными значениями. При оценке суммы  $e_1 + e_2 + \dots + e_n$ , возникает проблема, что разности могут быть и отрицательны (например,  $e_2 = y_2 - f(x_2) < 0$ ) и отклонения в результате такого суммирования будут взаимоуничтожаться. Поэтому в качестве оценки точности приближения необходимо принимать сумму модулей отклонений:  $|e_1| + |e_2| + \dots + |e_n|$  или в свернутом виде:  $\sum_{i=1}^n |e_i|$

Приближая экспериментальные точки различными функциями, будут получаться разные значения  $\sum_{i=1}^n |e_i|$ , и очевидно, где сумма меньше – функция точнее.

Такой метод и называется методом наименьших модулей. Однако на практике получил гораздо большее распространение метод наименьших квадратов, в котором возможные отрицательные значения ликвидируются не модулем, а возведением отклонений в квадрат:  $e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2$ , после чего необходимо подобрать такую функцию  $y = f(x)$ , чтобы сумма квадратов отклонений  $\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$  была как можно меньше.

Необходимо изобразить точки  $A_1, A_2, \dots, A_n$  на чертеже и проанализировать их расположение. Если они имеют тенденцию располагаться по прямой (в нашем случае), то следует искать уравнение прямой  $y = f(x) = ax + b$  с оптимальными значениями  $a$  и  $b$ . Иными словами, задача состоит в нахождении таких коэффициентов  $a, b$  – сумма квадратов отклонений кото-

рых  $\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$  наименьшая.

Если точки расположены, по гиперболе то заведомо понятно, что линейная функция будет давать плохое приближение. В этом случае необходимо найти наиболее подходящие коэффициенты  $a, b$  для уравнения гиперболы  $y = f(x) = \frac{a}{x} + b$  – те, которые дают минимальную

сумму квадратов  $\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n \left( y_i - \left( \frac{a}{x_i} + b \right) \right)^2$ .

В двух случаях речь идёт о функции двух переменных, аргументами которой являются параметры разыскиваемых зависимостей:



$$F(a; b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$$

$$F(a; b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n \left( y_i - \left( \frac{a}{x_i} + b \right) \right)^2$$

Коэффициенты  $a, b$  оптимальной функции  $y = ax + b$  найдём как решение системы:

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i \\ a \sum x_i + bn = \sum y_i \end{cases}$$

Расчёт нужных сумм приведен в таблице Е.2.

Таблица Е.2 – Расчет нужных сумм

$x_i$	1	2	3	4	5	$\sum x_i$	15
$y_i$	17,1	41,9	61,3	78,3	104,3	$\sum y_i$	302,9
$x_i^2$	1	4	9	16	25	$\sum x_i^2$	55
$x_i y_i$	17,1	83,8	183,9	313,2	521,5	$\sum x_i y_i$	1119,5

Таким образом, получаем систему:

$$\begin{cases} 55a + 15b = 1119,5 \\ 15a + 5b = 302,9 \end{cases}$$

Используя метод Крамера получим:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 55 & 15 \\ 15 & 5 \end{vmatrix} = 50 \neq 0, \text{ значит, система имеет единственное решение}$$

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} 1119,5 & 15 \\ 302,9 & 5 \end{vmatrix} = 1054$$

$$a = \frac{\Delta_a}{\Delta} = \frac{1054}{50} = 21,8$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} 55 & 1119,5 \\ 15 & 302,9 \end{vmatrix} = -133$$

$$b = \frac{\Delta_b}{\Delta} = \frac{-133}{50} = -2,67$$

Выполним проверку,  $a = 21,8, b = -2,67$

Подставим найденное решение в левую часть каждого уравнения системы:

$$55 \times 21,8 + 15 \times (-2,67) = 1119,5$$

$$15 \times 21,8 + 5 \times (-2,67) = 302,9$$

Получены правые части соответствующих уравнений, значит, система решена правильно.



Таким образом, искомая аппроксимирующая функция:  $y = f(x) = 21,8x - 2,67$  – из *всех линейных функций* приближает экспериментальные данные наилучшим образом.

Для построения графика (рисунок Е.2) аппроксимирующей функции найдём два её значения:

$$f(0) = 21,8 \cdot 0 - 2,67 = -2,67$$

$$f(5) = 21,8 \cdot 5 - 2,67 = 106,33$$

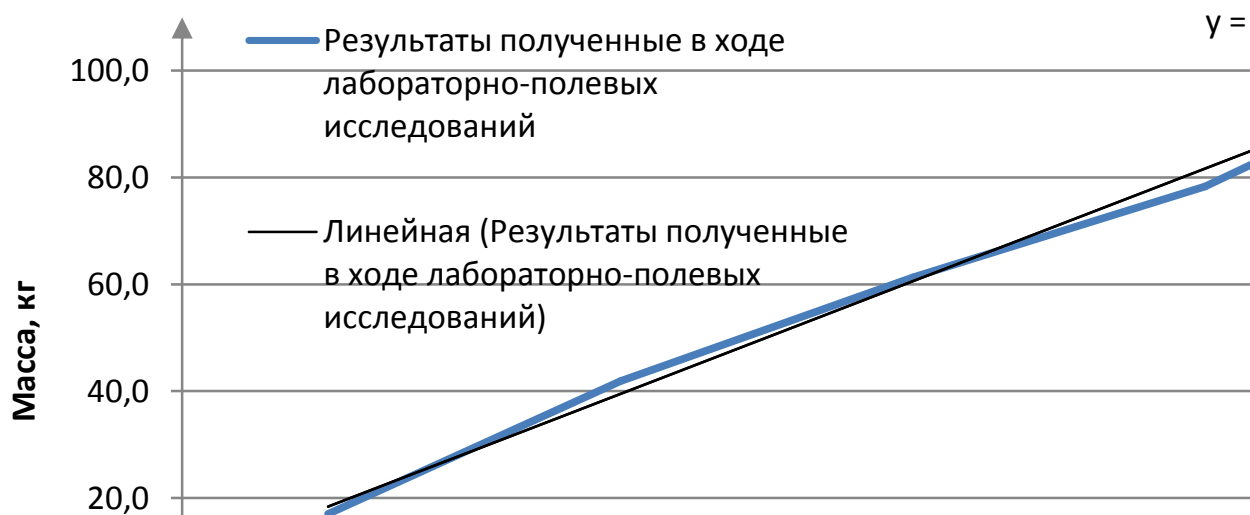


Рисунок Е.2 - График аппроксимирующей функции

Вычислим сумму квадратов отклонений  $\sum e_i^2 = \sum (y_i - f(x_i))^2$  между эмпирическими  $y_i$  и теоретическими  $f(x_i)$  значениями.

Вычисления сведём в таблицу Е.3.

Таблица Е.3 - Сумма квадратов отклонений

$x_i$	1	2	3	4	5		
$y_i$	17,1	41,9	61,3	78,3	104,3		
$f(x_i)$	18,41	39,49	60,57	81,65	102,73		
$(y_i - f(x_i))^2$	1,7161	5,8081	0,5329	11,223	2,4649	$\sum e_i^2$	21,745

$$f(x_1) = f(1) = 21,08 \cdot 1 - 2,67 = 18,41$$

$$(y_i - f(x_i))^2 = (17,1 - 18,41)^2 = 1,7161$$

Из всех линейных функций у функции  $y = f(x) = 21,8x - 2,67$  показатель  $\sum e_i^2$  является наименьшим, то есть в своём семействе это наилучшее приближение.

### Результаты обработки статистических данных

Таблица Ж.1 – Обработка полученных экспериментальных данных

	Кол-во набл.	$\bar{x}$	Доверит - 95,00%	Доверит +95,00%	$\bar{x}_{\text{геом}}$	$x_{\text{гарм}}$
1 слой	6	17,1000	14,2188	19,9812	16,9071	16,7067
2 слой	6	41,9000	38,5912	45,2088	41,7998	41,6983
3 слой	6	61,3000	52,8483	69,7517	60,8859	60,4985
4 слой	6	78,3000	74,8810	81,7190	78,2440	78,1886
5 слой	6	104,3000	100,3618	108,2382	104,2427	104,1844
Агрегат	6	302,9000	290,4984	315,3016	302,7058	302,5095
Прототип	6	302,7926	293,1544	312,4308	302,6762	302,5596

Продолжение таблицы Ж.1

	Кол-во набл.	$Me$	$\Sigma$	Min	Max	$Q_3$
1 слой	6	17,6700	102,600	13,1100	19,9500	14,8200
2 слой	6	42,5035	251,400	37,3580	46,0900	39,1960
3 слой	6	60,1027	367,800	53,6375	75,6672	55,0742
4 слой	6	77,7849	469,800	74,1789	83,4513	76,2395
5 слой	6	106,1883	625,800	98,3052	107,3975	100,9277
Агрегат	6	303,9759	1817,400	284,4194	316,3899	296,3540
Прототип	6	303,8638	1816,756	291,3363	314,3932	293,2364

Продолжение таблицы Ж.1

	Кол-во набл.	$Q_1$	$P_p$	$P_q$	$S^2$	S
1 слой	6	19,3800	6,84000	4,56000	7,5377	2,74548
2 слой	6	43,7490	8,73200	4,55300	9,9410	3,15293
3 слой	6	63,2156	22,02969	8,14141	64,8605	8,05360
4 слой	6	80,3605	9,27237	4,12105	10,6144	3,25798
5 слой	6	106,7929	9,09231	5,86523	14,0823	3,75264
Агрегат	6	312,2849	31,97056	15,93095	139,6508	11,81739
Прототип	6	310,0621	23,05685	16,82576	84,3494	9,18419

Продолжение таблицы Ж.1

	Кол. набл.	$S_x$	$\sigma$	$D(\bar{x})$	r	m	$n_t$
1 слой	6	1,120839	2,75000	1,260417	1,833333	2,365	1,925
2 слой	6	1,287179	3,17400	1,679046	2,116	2,72964	2,2218
3 слой	6	3,287870	8,07220	10,860069	5,381467	6,942092	5,65054
4 слой	6	1,330064	3,33880	1,857931	2,225867	2,871368	2,33716
5 слой	6	1,532009	3,86210	2,485969	2,574733	3,321406	2,70347
Агрегата	6	4,824430					
Прото- типа	6	3,749431					

