

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

**ГАРИФУЛЛИН ИЛЬНУР ИСМАГИЛОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
РАБОТЫ БАРАБАННОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕЛЕКЦИОННОЙ СЕЯЛКИ ПУНКТИРНОГО  
ВЫСЕВА.**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук,  
профессор И. Г. Галиев

Казань – 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
1	<b>СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	9
1.1	Обзор технологий посева зерновых культур	9
1.2	Пути интенсификаций процесса зерновых культур	12
1.3	Обзор существующих конструкций зерновых сеялок	14
1.4	Выводы по первой главе и задачи исследования	19
2	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ БАРАБАННОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ ПУНКТИРНОГО ВЫСЕВА</b>	20
2.1	Технологический процесс высева семян автоматическим высевающим аппаратом пунктирного высева	20
2.2	Определение оптимальных параметров высевающего аппарата сеялки пунктирного высева	39
2.3	Графоаналитическая модель процесса влияния параметров высевающего аппарата на точность высева	46
3	<b>ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	53
3.1	Цель и программа лабораторных исследований	53
3.2	Методика проведения экспериментов по определению оптимальных конструктивных параметров и режимов работы барабанного высевающего аппарата	54
3.3	Разработка экспериментальной лабораторной установки барабанного высевающего аппарата.	57
3.4	Общая методика обработки результатов экспериментальных исследований	66
4	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ</b>	67
4.1	Влияние кривизны ячеистой поверхности на западание семян	67
4.2	Исследование влияния формы и размеров ячеек высевающего барабана на западание семян	71
4.3	Определение параметров роторного щеточного отражателя семян	74
4.4	Определение угла установки роторного щеточного отражателя	79

4.5	Травмирование семян высевающим аппаратом.	80
4.6	Технические характеристики экспериментальной секции барабанного высевающего аппарата пунктирного высева.	82
4.7	Выводы по разделу.	83
5	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИВОДСТВУ	84
5.1	Расчёт массы и стоимости конструкции барабанной сеялки	84
5.2	Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение	86
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ	93
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	96
	ПРИЛОЖЕНИЯ	

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из трудоёмких операций в производстве сельскохозяйственной продукции – является посев. Величина собранного урожая прямо пропорционально влияет на качественно проведенный и своевременный посев. В течении многих лет отражается прогресс разработки конструктивно новых посевных и посадочных машин в странах СНГ и за её пределами. Благодаря совершенствованию конструкций сеялок, возможно более экономично использовать семенной материал, уменьшить сроки посева, и создать благоприятные условия для увеличения величины валового сбора сельскохозяйственных культур. При сортоиспытаниях семян различных видов культур, технология посева имеет более жёсткие требования по сравнению с индустриальной технологией посева семян. Не смотря на развитие технологий, на первичном семеноводстве по сей день широкой популярностью пользуются селекционные сеялки с катушечным высевальным аппаратом. Данные сеялки обладают рядом недостатков, главным среди которых является травмируемость при высевах семян.

На протяжении многих лет, конструктивные параметры данной сеялки можно охарактеризовать как относительно постоянные, в связи с чем работа на ней отличается недостаточно высоким качеством. В настоящее время существует большое количество технологий, иллюстрирующих иные типы параметров сеялки, показывая экономическую целесообразность применения сеялок с катушечным в сельскохозяйственном производстве.

В нынешнее время сеялки с барабанным высевальным аппаратом, всё больше показывают практическую ценность. Улучшение посева семян различных видов культур с минимальными экономическими затратами, которые сопровождаются более точным высевам, минимальным механическим воздействием на семена и несложные решения конструктивного характера, долговечность, простота в вопросах технического обслуживания являются доказательствами того, что барабанные сеялки представляют собой эффективные и практичные аппараты. Работу на данном виде сеялки могут осуществлять 2 сотрудника.

Необходимо также отметить, что настоящий вид сеялки имеет небольшое число шестеренных передач и узлов аппарата подвижного характера, тем самым обеспечивается использование сеялки с минимальными трудозатратами не требуя при этом постоянной проверки калибровок на заданную величину. Сеялки с барабанным высевающим аппаратом всё больше набирают широкую популярность, среди таких сеялок SPP – 12, «Cyclo - Planter», COT – 1.5, СТГ – 18 и др. В настоящее время всё чаще можно увидеть разнообразные сеялки со схожими конструкциями в сельскохозяйственном производстве.

Конструкция агрегата не требует сложных технологических операций при производстве и работе, несомненно, это сказывается на себестоимости посевной машины, тем самым, позволяя небольшим агрофирмам и фермерам заменить старую, вышедшую из строя технику на новую.

Относительно легкое решение конструктивного характера, принятые в процессе создания данного аппарата, а также его эксплуатации и последующем обслуживании является решающим фактором того, что настоящий тип сеялки актуален для работы на небольших предприятиях. На конференциях стран ближнего зарубежья, предлагаются факторы, о расходовании не более 10 процентов семян при посеве, что отражается в виде немалой экономии материальных затрат фермера. Таким образом, сеялки с барабанным высевающим аппаратом, через несколько сезонов могут полностью окупить свою стоимость.

#### **Актуальность темы.**

На протяжении длительного количества времени создаются и используются в исследовательских и практических целях большое количество разного типа машин для посева. Параметры конструктивного характера, присущие машинам для посева типичны машинам типа СЗ, являющихся достаточно популярными на предприятиях сельского хозяйства. В связи с тем, что сельское хозяйство активно развивается, появляются новые типы сельскохозяйственных культур, которые в свою очередь обуславливают ликвидацию старой техники и создание новой.

Сеялки, произведенные на территориях Российской Федерации и других стран, нацеленные на работу с единовременным уравниванием семян и минеральных удобрений в процессе посева, включают в себя определенные высевальные аппараты, что в большей степени увеличивает сложность конструкции машины для посева и, как следствие, уменьшает ее прочность, а также приводит к достаточно высокой цене на каждую единицу оборудования.

Одна из самых главных характеристик абсолютно каждой сеялки – предельно точный и равномерный посев в соответствии с рядами, данной характеристике не соответствуют большинство используемых в настоящее время сеялок.

### **Степень разработанности.**

В настоящее время, известно несколько типов сеялок с барабанным высевальным аппаратом, конструктивно схожие между собой. Все изобретения относятся к сельскохозяйственному машиностроению. Данные сеялки схожи между собой следующими узлами: высевальной аппарат, бункер высевального аппарата, типом сошников, рамой.

Технические показатели у каждой сеялки индивидуальные, соответственно разные показатели статистики и технологии посева семян различных видов культур. Индивидуальные показатели каждого типа сеялки не оказывают воздействия на уровень их практичности при любых работах и в процессе эксплуатации. Проанализировав научные и практические исследования, проведенные в области производства, эксплуатации и обслуживания сеялок с барабанным высевальным аппаратом, нами были определены наиболее важные аспекты, позволяющие улучшить данные аппараты, что обуславливает создание конструктивно – технологической схемы для большинства типов фракций семян. Одна из основных целей представляется как усовершенствование характеристик технологических параметров схем барабанного высевального аппарата, а также создание практичных сеялок для работы в области посева культур зернового типа.

В аспекте настоящей работы были выявлены наиболее разумные соотношения геометрических показателей барабана высевающего аппарата, а также проанализированы аспекты создания конструктивных параметров и режимов работы изучаемого объекта.

### **Цель и задачи исследований.**

Целью исследования является создание конструкции, вычисление параметров и режимов работы высевающей секции барабанной сеялки пунктирного высева для повышения уровня урожайности и понижения затрат экономического и энергетического плана.

### **Цель определяет следующие задачи:**

1. Создать технологический процесс зерновых культур посредством барабанного высевающего аппарата сеялки.

2. Создать математические модели процесса посева семян посредством барабанного высевающего аппарата, выявляющие диапазоны изменения главных параметров конструктивно – технологического характера, а также причины, оказывающие воздействие на эффективность процесса работы.

3. Провести обоснования выбора методики для оценки качественных и количественных рабочих показателей барабанного высевающего аппарата.

4. Провести научно лабораторные изыскания, и аргументировать технически разумные параметры и режимы работы барабанного высевающего аппарата пунктирного высева.

**Объект исследований.** процесс посева зерновых культур посредством барабанного высевающего аппарата.

**Предмет исследований:** закономерности, которые определяют рабочие процессы барабанного высевающего аппарата в процессе посева зерновых культур.

**Научная новизна работы определяется:**

- методами общего дозирования частиц с отличными друг от друга физико – математическими характеристиками посредством использования барабанного высевающего аппарата;
- математическими моделями, определяющими состояние колеблющегося слоя зерновых культур в барабанном высевающем устройстве;
- зависимостями экспериментального характера, определяющими воздействие параметров и режимов работы барабанного высевающего аппарата на его оценочные характеристики.

**Практическая значимость работы определяется:**

- параметрами конструктивного характера;
- эффективными режимами работы аппарата;
- использованием номограммы с целью настройки аппарата на необходимую норму посева зерновых культур;
- применение выводов исследований в научных и учебных целях для подготовки специалистов к работе в области сельского хозяйства.

**На защиту выносятся:**

- метод посева семян, которые характеризуются отличными друг от друга физико – математическими показателями;
- математические модели усовершенствования процесса посева зерновых культур;
- выводы исследование экспериментального плана, нацеленных на обоснование эффективных режимов работы высевающей секции в процессе посева зерновых культур.

# 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Обзор технологий посева зерновых культур

Производство культур зернового типа включает в себя ряд важнейших действий по вспашке, боронованию, культивации и т.д. Процесс обработки почвы и непосредственно сам посев представляются основными процессами при работе с зерновыми культурами.

Во время посевных работ используется более 15% труда от общих затрат. Для получения высокой урожайности необходимо выполнить посев в кратчайшие сроки и с высоким качеством. По успешному опыту большое преимущество показывает поточно – групповое организация использования машин.

При селекции, посев зерновых культур происходит на колесных тракторах с тяговым классом 1,4.

Посевная технология в некоторых аспектах схожа с обработкой почвы перед посевом: и в том, и в другом случае сначала выполняется разбивка поля на загоны, кратные объемам машины для посева. Еще одним важным моментом является выбор удачной площади для загрузки семян.

После технологических настроек сеялки на норму высева, и регулировки на глубину заделывания сошников, начинается посев семян определенного вида культуры.

Техника для посева и посадки должна отвечать следующим требованиям агротехнического характера:

- отклонение фактической нормы высева семян от заданной не более 3%, а внесение минеральных удобрений  $\pm 10\%$ ;
- неравномерность высева в рядках, т.е. отдельными высевающими аппаратами, для зерновых не более 6%, зернобобовых – 10%, трав – 20%;

- отклонение глубины заделки отдельных семян от среднего значения не более  $\pm 15\%$ , что при глубине посева 3...4 см составляет  $\pm 0,5$  см, при 4...5 см -  $\pm 0,7$  см, 6...8 см -  $\pm 1$  см;
- повреждения семян при высеве зерновых культур не выше 0,2% зернобобовых – 0,7 %, кукурузы – 1.5 %, сахарной свеклы – 0,5 %, отклонение ширины стыкового междурядья от ширины основного не более  $\pm 5$  см.
- прямолинейность рядков.

Техника для посадки и посева подразделяется на типы в соответствии с:

- видом назначения;
- методами работы;
- агрегатированию с трактором.

Машины для посева могут быть:

1. Универсальные (используются на разных культурах);
2. Специальные (используются на одной культуре).

В зависимости от вида назначения машины для посева подразделяются на:

- Машины для зерновых культур;
- Машины для кукурузных культур;
- Машины для свекловичных культур;
- Машины для хлопковых культур;
- Машины для льняных культур;
- Машины для овощных культур;
- Машины для бахчевых культур.

В зависимости от метода посева техника бывает:

- Для рядовых посевов;
- Для узкорядных посевов;
- Для гнездовых посевов;
- Для пунктирных посевов;

- Для разбросных посевов.

В зависимости от способа агрегатирования техника подразделяется на:

- Прицепные машины;
- Навесные машины;
- Полунавесные машины.

При диагонально – перекрёстном виде посева, направление линии провешивают строго по диагонали для проезда трактора с сеялкой.

Поля продолговатого прямоугольного типа делят на одинаковые части с пропорциями 1:1 до 1:1,5.

На четырёх границах делают поворотные полосы при высева диагонально – перекрёстным способом, которые равны ширине захвата сеялки.

После выполнения всех операций по подготовке поля начинается посев. В момент прохождения первой сеялки через контрольную борозду (в том случае, если посев происходит комплексом сеялок) опускаются сошники.

Следует проверить глубину заделки семян в почве при прохождении первого загона, просеяв пару десятков метров от начала посева, с соблюдением рабочей скорости. При прохождении следующих проходов, необходимо проверить вылет длины маркеров или следуказателей.

Настройка нормы высева семян и выбор технологии посева – относятся не только к агротехническим требованиям, но и имеет экономическую целесообразность.

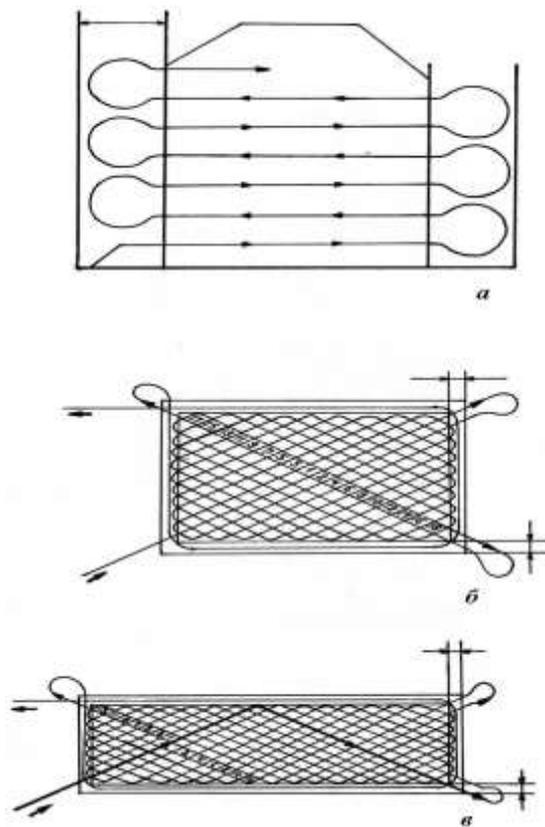


Рисунок 1.1. - Способы движения посевных агрегатов: *а* – челночный; *б* – диагонально-перекрестный при конфигурации поля близкой к квадратной; *в* – диагонально-перекрестный при прямоугольной форме поля

## 1.2 Пути интенсификаций процесса зерновых культур

Интенсивные технологии дают большую эффективность во время производства культур различных видов семян.

Применение интенсивных технологий активно применяется и даёт большой прирост в производстве зерновых культур. Многие агрофирмы не успевают соблюсти сроки проведения мероприятий в зерновой отрасли, не смотря на то что многие технологические процессы автоматизированы. Прямо пропорционально влияет, главным образом организация работ. В технологиях возделывания зерновых культур присутствуют отличия в зависимости от местоположения региона.

Целью интенсивных технологий является получить высокий сбор урожая независимо от погодных условий, путём применения таких комплексных мер как: организационно – экономические и агротехнические. Эти меры подразумевают под собой: высев высококачественными семенами, эффективные средства защиты растений, строгое соблюдение сроков и очередности проведения работ.

Посев с лучшими предшественниками в севообороте, высокий валовый сбор урожая, применение различных удобрений в виде азота в вегетационный период, применение необходимых минеральных удобрений в соответствии с нормами содержания в почве, интегрированной системы защиты растений от сорняков, применение современных и качественных технологических операций, ориентированных на защиту почв от эрозии. Весомый прирост увеличения урожайности и улучшения качества семенного материала – главное направление интенсивных технологий.

Запасом для повышения производства семян зерновых культур является химизация зерна. С правильным выбором минерального или органического удобрения, можно достичь больших результатов урожайности, с соблюдением доз нормирования в почву, при наилучших показателях эффект прироста составляет до 25 – 35 %.

Посредственное оснащение техникой является одной из главных проблем в АПК, существуют определённые меры, для её решения. Ключевым моментом является материальная помощь хозяйствам от государства в виде программ по лизингу и субсидий, создание новых станций в агрофирмах, повышение качества и увеличение сети обслуживания дилерской техники, все эти действия непременно требуют согласования со сторон заводов производителей.

Установление гибкого производства на различных заводах по изготовлению запасных частей, деталей и узлов машин. Ввести меры для разработки программы по замене старой и вышедшей из строя техники на новую. Всё больше заключать договоры по поставке техники с отечественными производителями, это может

дать положительный результат на повышение конкурентоспособности среди других стран.

### 1.3. Обзор существующих конструкций зерновых сеялок

В течение последних лет в зерновой отрасли рассматриваются пути совершенствования конструкций зерновых сеялок. Развитие зерновых сеялок идет в направлении повышения производительности техники, повышения качества посева и надежности технологического процесса.

Выращивание зерновых культур включает в себя различные комплексные работы, начиная с обработки и заканчивая внесением минеральных удобрений. Два основных вида технологии производства зерна это подготовка почвы и посев. От своевременного и качественно проведенного посева зависит величина сбора сельскохозяйственных культур. От правильно выбранного посевного комплекса напрямую зависят материальные и энергетические затраты.

В сеялках важно равномерное распределение семян без травмирования по рядкам, быстрая очистка от семян в бункере высевающего аппарата, а также быстрое наполнение катушек семенами высевающего аппарата. В настоящее время не все сеялки серийного производства соответствуют этим требованиям.

Деляночные сеялки предназначены для сортоиспытаний в первичном семеноводстве, на опытных участках. Они отличаются возможностью посева различных семян зерновых культур. Главной конструктивной особенностью является равномерное распределение семян по рядкам без травмирования. Анализ действующих моделей деляночных сеялок серийного производства приведен ниже.

Фермерская селекционная машина для посева СФС-2 производится на территории Республики Татарстан предприятием ООО «Технический центр Лаишево». Данная машина используется при выполнении следующих работ:

- Посев полосного характера с единовременной подкормкой гранулированными минеральными удобрениями в процессе предварительного и конкурсного испытания сортов;

- Организация агротехнических опытов и посевов размножения;
- Применение, как универсальной зернотукотравяной сеятельной техники.
- Ниже, на рисунке 1.1 показана сеялка СФС-2, является навесной посевной машиной с катушечным высевальным аппаратом, такой вид сеялок является наиболее популярным при семеноводстве растений, из-за простой конструкции, легкости в обслуживании, в ремонтпригодности и низкой стоимости. Анализируемая сеялка включает в себя:
  - Рамы;
  - Бункера для семян и удобрений с встроенными высевальными аппаратами;
  - Однодисково – анкерными сошниками с нажимными штангами и пружинами;
  - Два редуктора для установки норм посева семян и удобрений;
  - Навесное оборудование.
  - 2,1 метра – ширина захвата агрегата.
  - Привод высевальных аппаратов производится от опорного правого колеса через цепную передачу.



Рисунок 1.1 – Сеялка СФС – 2 «Технический центр Лаишево».

Похожая по конструкции сеялка – Сеялка селекционная навесная СС-11, изготовитель ФГУП Омский экспериментальный завод так же является навесной машиной с катушечным высевальным аппаратом. 160 сантиметров – максимальная ширина захвата СС-11. Данная сеялка применяется при посеве сельскохозяйственных культур при первичном семеноводстве и используется с целью рядового посева культур на опытных участках.

Сеялка включает в себя:

- раму с навеской;
- семенной ящик с катушечными высевальными аппаратами и ворошилкой;
- опорно – приводные колеса пневматического характера; механизм передачи;
- сошники.



Рисунок 1.2 – Сеялка селекционная навесная СС-11.

Технологический процесс высева семян аналогичных по конструкции с катушечными высевающими аппаратами. Семена из бункера самотёком попадают непосредственно в высевающие аппараты, под своим весом заполняют открытые желобки катушки, от опорно приводного колеса при движении передаётся вращение через цепной привод на высевающие аппараты, протаскиваются по нижнему клапану, захватываются катушкой, затем попадают в воронки, далее по семяпроводам выпадают через сошники в почву.

На данных сеялках установлены высевающие аппараты катушечного типа, что приводит к повреждению семян и не в полной мере удовлетворяет агротехнические требования при посеве семян различных культур.

Сеялка селекционная Wintersteiger Plotseed S, Австрия, WINTERSTEIGER AG, 4910 Ried, Austria.

Порционная селекционная сеялка легкая, навесная (например на Т-25, МТЗ - 320). Plotseed S показана на рисунке 1.3 была специально разработана для точного посева на селекционных делянках. Благодаря различным высевающим аппаратам порция семян распределяется по всем рядкам делянки. Возможность комбиниро-

вать высевальные аппараты в различных вариациях обуславливает универсальность сеялки.



Рисунок 1.3 - Plotseed S, порционная сеялка.

Сеялка обладает порционным высевальным аппаратом, которая дает некоторые преимущества в дозировании семян по рядкам.

Исходя из проведенного анализа конструкций высевальных аппаратов можно сделать вывод, что серийно выпускаемые сеялки не в полной мере соответствуют требованиям деланочных сеялок. Поэтому актуальна задача по созданию сеялки, которая будет отвечать следующим требованиям: распределение семян по рядкам без травмирования, лёгкая выгрузка оставшихся семян в бункере без прокрутки колеса, удобная и быстрая регулировка нормы высева, простота конструкции. Для создания новой сеялки необходимо: воплотить идею в техническое задание, разработать технический проект, изготовить опытные образцы, провести исследования.

Новый в техническом плане механизм сеялки с барабанным высевальным аппаратом. Конструкция барабана не отличается сложностью и включает в себя небольшое число подшипников и передач, это обуславливает удобство в ее создании и эксплуатации.

Движение агрегата вызывает вращение барана, которое распространяется на звездочку, расположенную на крышке барабана. Данное действие переходит на вал со щетками с помощью шестеренчатой передачи и зубчатого зацепления. Вместе с этим зерновые культуры из находящегося в состоянии покоя бункера посредством отверстия в его кармане переходят в сам барабан с калиброванными отверстиями. В последних происходит задержка семян, которая выполняется посредством отбойника, расположенного на раме и заканчивающегося сразу после взаимодействия семян со щеткой для очищения поверхности барабана и отверстий от излишних семян. Далее семена попадают в бороздку, которая закрывается загорчатыми. Сцепной элемент рамы механизма включает в себя балку для установки грузов, что обусловлено необходимостью контроля за глубиной заделки семян. Такая необходимость объясняется различным давлением для посева семян в почву на конкретную глубину, которое зависит от типа почвы, влажности и других условий агротехнического характера.

#### 1.4 Выводы по первой главе.

Предложенный метод совмещения высевающего аппарата с сошником и самой сеялкой является принципиально новой идеей и совершенно новой конструкцией сеялки.

Исходя из анализа высевающих конструкций, можно сделать вывод, что данные конструкции высевающих аппаратов полностью не удовлетворяют требованиям на сортоиспытательных участках полей. Главный их недостаток, сложные в техническом решении. Надежность один из самых наиболее значимых параметров, при интенсивной работе в период полевых работ.

Удачным моментом данной конструкции является то, что сеялка имеет минимальное количество передач и подвижных элементов; КПД такой сеялки высок; в процессе работы сеялки семена практически не подвержены механическим повреждениям.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ БАРАБАННОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ ПУНКТИРНОГО ВЫСЕВА

### 2.1 Технологический процесс высева семян автоматическим высевающим аппаратом пунктирного высева

В данной главе мы коснемся вопросов анализа и синтеза самих элементов системы, и в частности высевающего аппарата, как одного из основных рабочих органов посевной машины.

Технологический процесс высева семян высевающими аппаратами, в общем виде можно разделить на пять этапов. Первый этап характеризуется созданием семенного потока в бункерах (емкостях для семян), обеспечивающего поддержание постоянства оптимального уровня семян в зоне западания. Второй и наиболее важный этап — это захват семян ячейкой и вынос их из слоя. Третий — удаление лишних семян — в общем технологическом процессе высева является сопутствующим. Однако, по данным многочисленных лабораторных экспериментов сеялок пунктирного высева, качество его выполнения во многом определяет итоговую равномерность распределения семян.

К четвертому и пятому этапам можно отнести транспортирование семян к месту снятия (сбрасывания) их из ячей и само сбрасывание.

Для решения этой задачи применительно к высевающему аппарату барабанного типа рассмотрим силы, действующие на семя в момент западания его к отверстию равномерно вращающегося барабана. На семя в данном случае рисунок 2.1 будут действовать сила тяжести  $Q = mg$ , центробежная сила  $J$ , сила трения между семенем и поверхностью барабана  $F$  и сила инерции  $F_n$ .

Составим уравнение движения семени в момент западания:

$$F - Q \cos \alpha - F_n = 0; \quad (2.1)$$

$$(P_a - P_6)S \cdot K - J + Q \sin \alpha = 0; \quad (2.2)$$

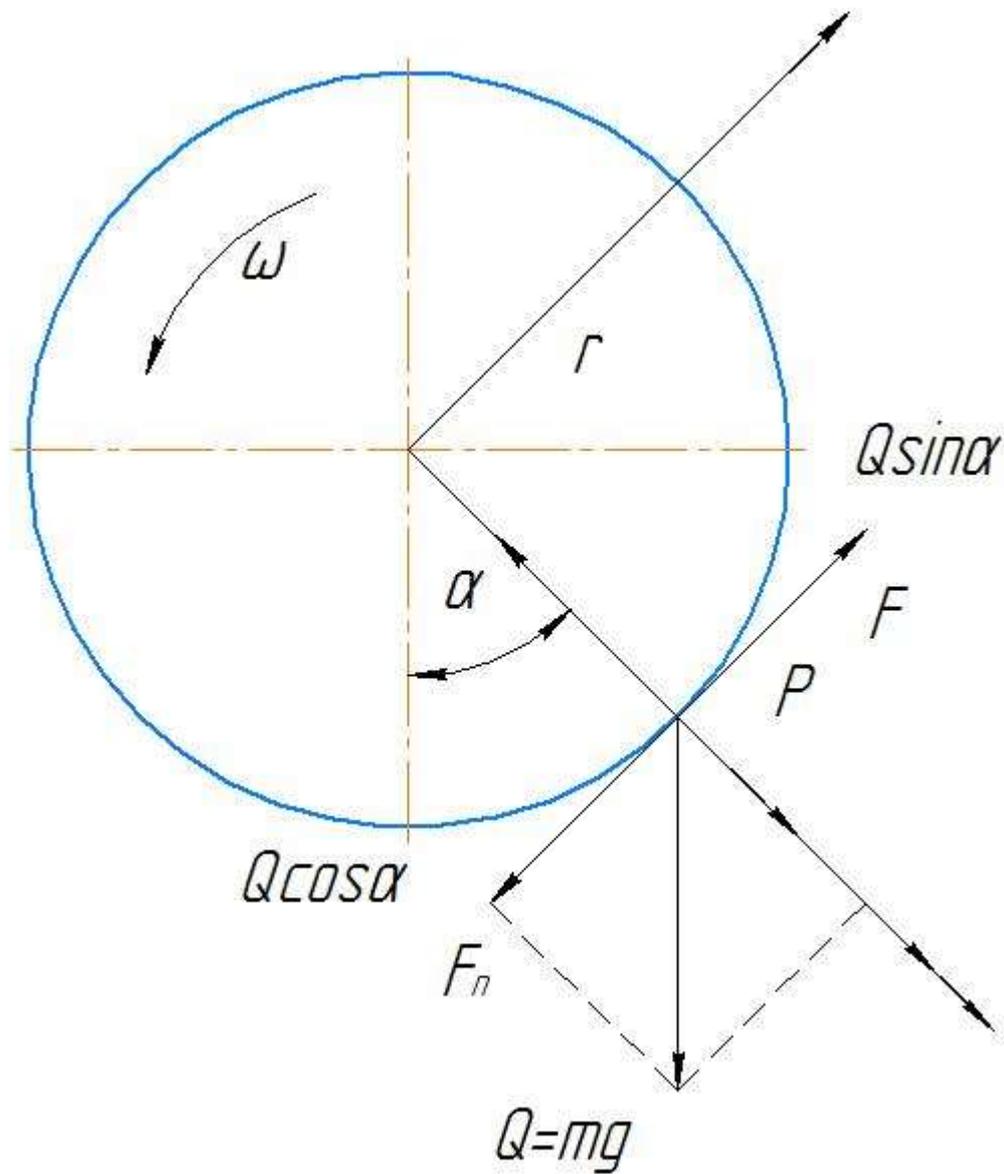


Рисунок. 2.1 – К определению необходимых условий для западания семян в камере высевающего аппарата барабанного типа в момент западания семян к отверстиям при  $V_c \neq 0$

Очевидным условием западания семени к отверстию вращающегося барабана в этом случае будет

$$F \geq Q \cos \alpha + F_n. \quad (2.3)$$

При таком процессе западания скорость семени будет изменяться: в относительном движении от нуля и до нуля, в переносном — от нуля и до скорости барабана. При этом время, за которое произойдет это изменение, определяется сум-

мой скоростей семени и барабана, т. е. абсолютной скоростью семени в процессе западания в ячеи.

$$t = \frac{l_n}{V_c + V_6}, \quad (2.4)$$

где  $t$  — время западания;  $l_n$  — путь, пройденный семенем по поверхности барабана за время западания;  $V_c$  — относительная скорость семени в процессе западания.

Если предположить, что движение семени под действием силы трения между семенем и поверхностью барабана начинается с момента касания его верхней кромки отверстия (по направлению вращения барабана) и заканчивается при полном его перекрытии, т. е. при достижении (касании) семени нижней кромки отверстия, то путь, пройденный семенем в процессе западания, будет равен диаметру отверстия.

Тогда выражение (2.5) можно записать в виде

$$t = \frac{d}{V_c + V_6}. \quad (2.5)$$

Поскольку изменение скорости семени в процессе западания происходит от 0 до  $V_6$ , то среднее ускорение семени равно

$$a = \frac{V_6}{t} = \frac{V_6(V_c + V_6)}{d}. \quad (2.6)$$

В выражении (2.6) неизвестной является скорость семени, величина которой зависит от силы инерции тела (семени), а также от силы трения между ним и поверхностью барабана.

Функциональная связь между силой инерции потока и скоростью семени в процессе его западания может быть найдена из равенства количества движения и импульса силы

$$mV_6 = F_n t. \quad (2.7)$$

Отсюда

$$F_n = \frac{mV_6}{t}. \quad (2.8)$$

или, подставив значение  $t$  из (2.5), получим

$$F_n = \frac{mV_6(V_c + V_6)}{d}. \quad (2.9)$$

Для определения скорости  $V_c$  составим дифференциальное уравнение движения семени в процессе западания

$$m \frac{dV_c}{dt} = Q \cos \alpha + F_n - F. \quad (2.10)$$

После подстановки значения  $F_n$ , согласно (2.9), получим

$$m \frac{dV_c}{dt} = \frac{mV_6}{t} + (Q \cos \alpha - F). \quad (2.11)$$

Разделяя переменные и интегрируя уравнение (2.11) при начальных условиях

Разлагая логарифмическую функцию в степенной ряд и подставив значение  $t$ , согласно (2.5), получим

$$V_c = V_6 \ln t + \frac{Q \cos \alpha - F}{m} t. \quad (2.12)$$

В соответствии с предположением о характере процесса западания изолированного семени величины в скобках числителя второй дроби правой части выражения (2.13) примерно равны, поэтому эту дробь без особой погрешности можно принять равной нулю. Одновременно с этим первая дробь правой части, ввиду малости значений диаметра ячеек по сравнению с другими входящими в нее величинами, может быть принята равной единице (погрешность, вызванная последним допущением, даже при минимальной линейной скорости вращения барабана (0,1 м/с) на высеве большинства семян зерновых культур не превышает 2%, а по остальным сельскохозяйственным культурам — 5%).

С учетом сделанных допущений выражение (2.13) примет вид

$$V_c \cong |2V_6| \quad (2.14)$$

(знак — опущен, так как он указывает, на противоположность направлений скоростей).

Равенство (2.14) вытекает также из физической картины процесса западания. На самом деле, чтобы тело, движущееся на перемещаемой поверхности в противоположном ей направлении, прошло какой-то фиксированный участок пути и в конце его приобрело скорость, равную скорости перемещаемой поверхности, оно должно перемещаться со скоростью в два раза большей, чем скорость самой поверхности. Это также следует из равенства (2.7), согласно которому тело, двигаясь с начальной скоростью  $V_c$ , может иметь количество движения, равное

$mV_6$  в двух случаях: либо когда оно имеет начальную скорость, равную нулю, либо когда скорость его в два раза больше конечной.

Подставив значение скорости  $V_c$  согласно (2.14), в выражение (2.9), получим

$$F_n = \frac{3mV_6^2}{d}. \quad (2.15)$$

Тогда неравенство (2.3) с учетом выражения (2.15) примет вид

$$H_i \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \left( \cos \alpha + \frac{3V_6^2}{g \cdot d} \right) - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right], \quad (2.16)$$

Данное неравенство определяет условие, необходимое для западания семян к отверстиям барабана, вращающегося с постоянной скоростью, при условии наличия относительного движения семян, вызванной силой инерции к семени.

Рассмотрим второй случай, когда относительная скорость семени  $V_c$  в процессе западания равна нулю, т. е. когда семя находится в слое. Скорость семени при этом будет изменяться от 0 до  $V_6$  по линейному закону в течение времени, определяемого только скоростью барабана.

$$t = \frac{d}{V_6} \quad (2.17)$$

В соответствии с этим среднее ускорение семени в процессе западания может быть определено по формуле

$$a = \frac{V_6^2}{d} \quad (2.18)$$

Следовательно, в случае, когда относительная скорость семян  $V_c = 0$ , основой процесса западания является преодоление инерции покоя семян, равной произведению его массы на ускорение.

$$J_u = ma$$

или, с учетом (2.18),

$$J_u = m \frac{V_6^2}{d} \quad (2.19)$$

В конструкции высевающего аппарата барабанного типа в целях снижения отрицательного влияния инерции семени в процесс западания используются специальный щёточный отражатель, которые создают движение семян, попутное вращению барабана.

Определим условие, которое необходимо создать для надежного западания в аппарате с щёткой - отражателем.

Ускорение и сила инерции семени в процессе западания для этого случая вычисляются по формулам

$$a = \frac{(V_6 - V_c)^2}{d}. \quad (2.20)$$

$$J_u = m \frac{(V_6 - V_c)^2}{d}. \quad (2.21)$$

Подставив значение силы инерции в выражение (2.4) вместо силы  $F_n$ , получим

$$H_3 \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \left( \cos \alpha + \frac{(V_6 - V_c)^2}{g \cdot d} \right) - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right], \quad (2.22)$$

Если щёточный - отражатель в процессе западания семян придает им скорость движения, равную скорости барабана, а последний вращается равномерно, т. е. с ускорением, равным нулю, то выражение (2.22) примет вид

$$H_4 \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \cos \alpha - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right], \quad (2.23)$$

Сравним полученные формулы, определяющее условие в барабане, для рассмотренных выше процессов западания семян

$$H_1 \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \cos \alpha - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right] + \frac{Q}{fSK} \cdot \frac{3V_6^2}{g \cdot d}, \quad (2.24)$$

$$H_2 \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \cos \alpha - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right] + \frac{Q}{fSK} \cdot \frac{V_6^2}{g \cdot d}, \quad (2.25)$$

$$H_3 \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \cos \alpha - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right] + \frac{Q}{fSK} \cdot \frac{(V_6 - V_c)^2}{g \cdot d}, \quad (2.26)$$

$$H_4 \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \cos \alpha - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right], \quad (2.27)$$

Из этих выражений видно, что при прочих равных условиях, высевающие аппараты, процесс западания у которых сопровождается относительным движением семян, направленным в сторону, противоположную вращению барабана, наименьшего — аппараты, у которых относительная скорость семян равна по величине скорости вращения барабана и совпадает с ней по направлению.

Конструктивно сложно создать условия, при которых имело бы место равенство скоростей семян и вращения барабана. Поэтому для расчетов улучшения западания в высевающих аппаратах с щёточными отражателями ряд авторов рекомендует пользоваться следующей формулой [95]

$$H \geq \frac{Q}{SK} \left[ \frac{1}{f} \left( \cos \alpha + \frac{\psi(V_6 - V_b)}{g \cdot d} \right) - \sin \alpha + \frac{V_6^2}{g \cdot r_6} \right], \quad (2.28)$$

где  $V_6$ — окружная скорость щётчного - отражателя;  $\psi$ — коэффициент, учитывающий отклонение скорости семени к моменту его западания от окружной скорости барабана.

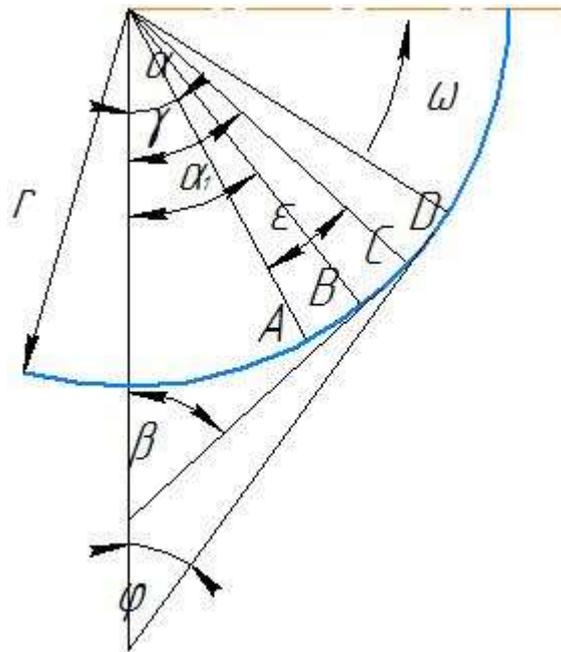


Рисунок – 2.3. К определению условий и зоны западания семян высевальным аппаратом барабанного типа

Однако использование формулы (2.28) для расчета западания в барабане при высевае семян зерновых культур со значением  $\psi = 1$ , как будет показано ниже, может привести к погрешностям, так как действительная величина скорости концов щётки - отражателя значительно отличается от скорости слоя семян, прилегающего к барабану.

Коэффициент западания  $K$  зависит от размеров, формы и состояния поверхности семян, диаметра отверстий и определяется экспериментально. Для семян зерновых культур, высеваемых пунктирным и гнездовым способами, значения  $K$ .

Важным моментом в процессе удаления лишних семян является расположение устройств относительно точки (зоны) западания семян, которое определяет, будут попадать снятые лишние семена обратно в заборную камеру или нет. В дисковых высевающих аппаратах этот вопрос решается просто. Вилочки или секторы устанавливаются на некотором расстоянии от поверхности семян заборной камеры. В барабанных они должны быть установлены так рисунок 2.3, чтобы угол между касательной, проведенной к окружности барабана в точке сбрасывания семян (С), и горизонтальной осью был больше угла трения движения семян, т. е.  $\beta > \varphi$ . В противном случае удаленные лишние семена увлекутся вращающимся барабаном и попадут в борозду, если в конструкции сошника или самого высевающего аппарата не предусмотрена соответствующая емкость для сбора этих семян. Попадание лишних семян в борозду может значительно ухудшить распределение интервалов между семенами в рядке, что впоследствии вызовет необходимость прореживания всходов.

Не менее важным вопросом при проектировании барабанного высевающего аппарата, является определение зоны западания семян. Ввиду наличия сил сцепления между семенами западание их происходит не в постоянной какой-то точке, а на некоторой дуге. Очевидно, начало этой дуги должно располагаться в точке А рисунок 2.3 соответствующей уровню семян в заборной камере, а конец — между точками А и С, т. е. несколько ниже точки С, определяющей положение сбрасывателя лишних семян, которое, согласно принятому выше условию, находится из неравенства

$$\gamma < 90 - \varphi. \quad (2.29)$$

Тогда зона западания и уровень семян в заборной камере могут быть определены из следующих условий

$$\alpha < \alpha_1 < \gamma. \quad (2.30)$$

$$\alpha < \gamma < \theta,$$

где

$$\theta = \frac{360}{2\pi r} \cdot U AC.$$

Таким образом, зная угол трения движения семян (динамический коэффициент трения) по материалу барабана и задавшись величиной дуги AC, можно найти положение сбрасывателя лишних семян, допустимый уровень семян, примерную величину зоны западания семян и расположение щёточного - отражателя.

Рассмотрим несколько подробнее работу щёточного - отражателя и определим примерные его геометрические и режимные параметры.

Основным назначением щёточного отражателя в высевальном аппарате барабанного типа является создание попутного барабану движения семян и ограничение влияния слоя посевного материала, расположенного в бункере, на процесс западания и выноса семян из заборной камеры. В соответствии с этим щётка устанавливается в нижней части бункера и работает следующим образом. Семена заполняют зону расположения щёточного отражателя. Щётка, вращаясь в сторону, противоположную барабану, подает семена в зону западания. Импульс щётки благодаря внутреннему послойному трению передается нижележащим слоям, в результате чего они приходят в движение.

Эта зависимость выражается в виде экспоненциальной функции

$$V_c = V_k e^{-b_0 c}. \quad (2.31)$$

где  $V_c$  — скорость слоя семян на расстоянии «с» от поверхности (ребер) катушки;  $V_k$  — окружная скорость щётки - отражателя;  $b_0$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от формы, размеров семян, их влажности и коэффициента трения, определяемый экспериментально, 1/мм.

Полагая в выражении (2.31)  $V_c = V_0$ , найдем окружную скорость щётки - отражателя, при которой скорость семян в момент касания их к барабану будет примерно равна окружной скорости барабана

$$V_{\partial} = V_6 e^{b_0 c}. \quad (2.32)$$

Из выражения (2.34) видно, что при постоянных значениях  $V_6$  и «с» окружная скорость щётки однозначно определяется величиной  $b_0$ , зависящей от физико-механических свойств высеваемых семян.

Экспериментальным путем установлено, что расстояние «с», при котором обеспечивается минимальное повреждение семян, можно вычислить из условия

$$c \geq a, \quad (2.33)$$

где  $a$  — максимальная длина высеваемых семян.

При высеве семян различных видов культур можно принять равным 0,005 м; при высеве кабачков — 0,015 м.

Для различных видов культур экспериментально были определены значения коэффициентов  $b_0$ . Так, для семян кукурузы он составил 0,15—0,20 1/мм; ячменя, овса, просо — 0,18—0,25. Изменение положения щётки и регулирование скорости его вращения при переходе с посева одной культуры на другую представляет определенные технические трудности. Поэтому в целях упрощения конструкции привода высевашего аппарата значение  $b_0$  можно усреднить и принять равным 0,20 1/мм.

С учетом принятых числовых значений  $c$  и  $b_0$  выражение (2.32) примет вид для мелких семян

$$V_{дм} = 2,72V_6; \quad (2.34)$$

для крупных семян

$$V_{дк} = 20V_6.$$

Таким образом, для обеспечения надежного западания семян овощных культур в высевашем аппарате с роторно щёточным – отражателем скорость вращения последнего должна быть примерно в 3—20 раз больше скорости вращения барабана.

Удаление лишних семян из ячеек так же осуществляется вращающимся щёткой отражателем. Положение ролика относительно барабана должно определяться так же, как и рассмотренных выше сбрасывателей, углом  $j$  с соблюдением условий. При этом должны быть учтены требования минимального повреждения семян при оптимальном заполнении ими ячеек. На рисунке приведена схема взаимодействия ролика 1 с лишним семенем 2, которое должно быть удалено из ячейки высевающего барабана 3.

Лишнее семя, выходя из ячейки под действием вращения барабана и ролика, поворачивается вокруг точки А (семя условно принято круглым). Составим уравнение момента действующих сил относительно точки А.

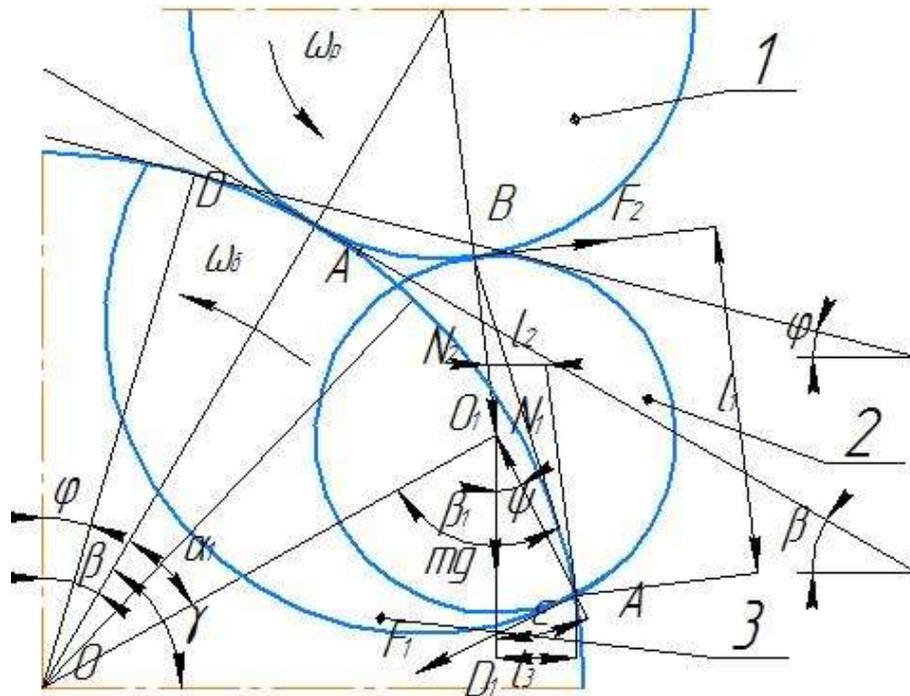


Рисунок 2.5. Схема взаимодействия ролика с лишним семенем: 1 — ролик съема лишних семян; 2 — семя (условно), 3 — высевающий барабан

$$F_2 l_1 - N_2 l_2 - m g l_3 = 0,$$

или

$$f N_2 l_1 - N_2 l_2 - m g l_3 = 0, \quad (2.35)$$

где  $f$  — коэффициент трения семени в точке контакта его с роликом;  $N_1$ ;  $N_2$  — нормальное давление соответственно ячейки барабана и ролика на семя;  $F_1$ ,  $F_2$  — силы трения в точках контакта семени соответственно с ячейкой и роликом;  $m$  — масса семени:

$g$  — ускорение свободного падения;  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$  — плечи действующих сил относительно точки А.

Из рисунка 2.5 видно, что

$$\begin{aligned} l_1 &= BO_1 + O_1A \cos \theta; \\ l_2 &= O_1A \sin \theta; \\ l_3 &= O_1A \sin \psi; \end{aligned} \quad (2.36)$$

где  $BO_1 = O_1A = r_c$  — условный радиус семени;  $\theta$  — угол между нормальными  $N_1$  и  $N_2$ .

Из  $\Delta OO_1D_1$  имеем

$$\psi = \gamma + \beta_1 - \alpha_1 - \frac{\pi}{2}; \quad (2.37)$$

После подстановки в уравнение (2.35) значений величин, согласно (2.36), (2.37), и приведения подобных членов оно примет вид

$$N_2 [f (1 + \cos \theta) - \sin \theta] - mg \sin (\gamma + \beta_1 - \alpha_1 - \frac{\pi}{2}) = 0.$$

Отсюда

$$N_2 = \frac{mg \sin (\gamma + \beta_1 - \alpha_1 - \frac{\pi}{2})}{f (1 + \cos \theta) - \sin \theta}. \quad (2.38)$$

Очевидно, что минимальное сдавливание (разрушение) семян будет при  $N_2 = 0$

$$N_2 = \frac{mg \sin (\gamma + \beta_1 - \alpha_1 - \frac{\pi}{2})}{f (1 + \cos \theta) - \sin \theta} = 0. \quad (2.39)$$

Равенство (2.39) возможно при условии

$$\gamma + \beta_1 - \alpha_1 - \frac{\pi}{2} = 0.$$

Отсюда получим

$$\beta_1 = \frac{\pi}{2} - \gamma + \alpha_1. \quad (2.40)$$

Условие минимального разрушения семян (2.40) может иметь место рисунок 2.5 в случае, когда сила нормального давления  $N_1$  и сила тяжести семени  $mg$  совпадают по направлению и проходят через точку А. Иначе говоря, когда расстояние АВ в момент касания ролика семени, т. е. в момент начала сбрасывания, будет примерно равно максимальному размеру семени.

Однако следует учесть, что указанное условие минимального разрушения семян является необходимым, но недостаточным, так как защемление семян между ячейкой барабана и роликом в данном случае во многом будет зависеть от соотношения скоростей ролика и барабана.

Очевидно, что окружная скорость вращения щётки в точках касания с семенем должна быть больше окружной скорости барабана в точке А.

Из рисунка 2.6 видно, что отсутствие деформации семени при вращении барабана и ролика возможно, когда оно, перемещаясь вместе с барабаном (ячейкой), одновременно вращается вокруг точки А, не нарушая касания с поверхностью щётки и сохраняя при этом свои размеры, например величину хорды АА', А'А". В этом случае, когда точка А, перемещаясь по дуге АО<sub>1</sub> А' достигнет точки А', семя повернется вокруг собственной оси на вполне определенный угол  $\varphi_c$ . Этому повороту семени при условии постоянного касания будет соответствовать также вполне определенный поворот ролика.

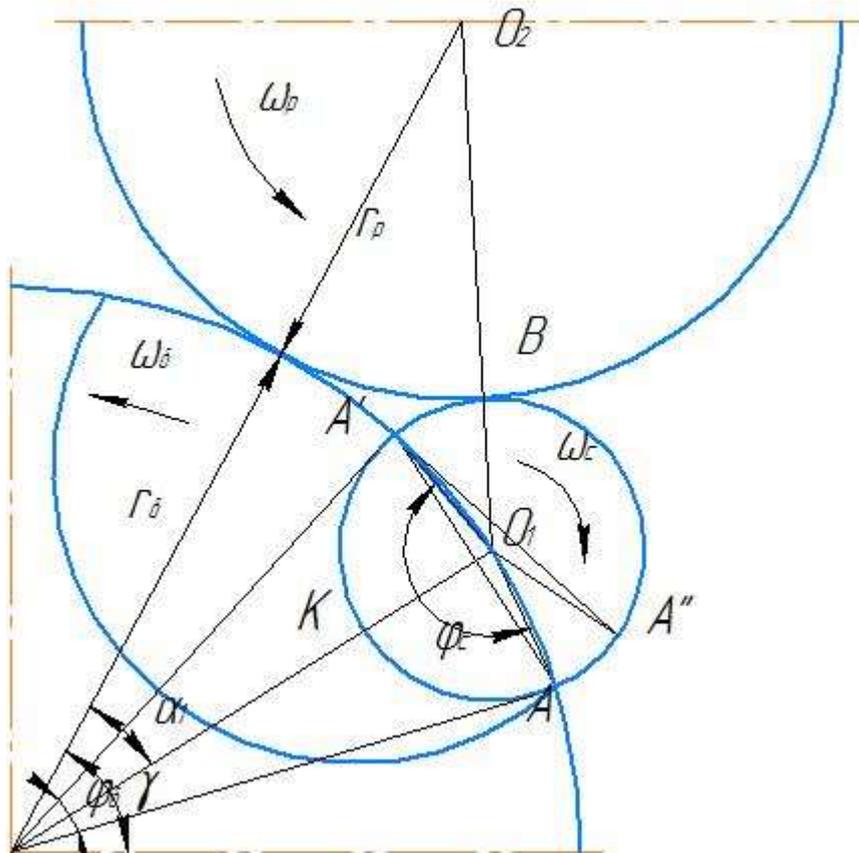


Рис. 2.6. К определению скорости вращения щётки удалению лишних семян.

Используя соотношения элементов секторов  $O_1AA'$  и  $O A'A$ , найдем угол поворота семени  $\varphi_c$

$$\varphi_c = 2 \arcsin \left( \frac{r_6}{r_c} \sin \frac{\varphi_6}{2} \right), \quad (2.41)$$

где  $\varphi_6$  — центральный угол дуги  $AA'$  барабана (в градусах).

Учитывая малость величин  $\varphi_6$  и  $r_c$ , можно без особых погрешностей принять

$$\sin \frac{\varphi_6}{2} \cong \frac{\varphi_6}{2} \cong \frac{r_c}{r_6} \quad (2.42)$$

(в данном случае принято  $\cup AO_1A' = \varphi_6 \cdot r_6 \cong 2r_c$ ).

Тогда с учетом сделанных допущений (2.42) выражение (2.41) примет вид

$$\varphi_c \cong \pi. \quad (2.43)$$

Далее, для определения скорости ролика воспользуемся очевидным соотношением

$$t = \frac{\varphi_6 r_6}{V_6} = \frac{\varphi_c r_c}{V_c} = \frac{\varphi_p r_p}{V_p},$$

где  $t$  — время, за которое происходит движение точки А в точку А', поворот семени и ролика соответственно на угол  $\varphi_c$  и  $\varphi_p$ .

Отсюда находим

$$V_p = \frac{V_6 \varphi_p r_p}{\varphi_c r_c}. \quad (2.44)$$

Принимая во внимание принятое допущение о постоянном безскольжения контакте семени и ролика, имеем

$$U_{AKA} = \varphi_c r_c = \varphi_p r_p$$

Откуда

$$\varphi_p = \frac{\varphi_c r_c}{r_p}. \quad (2.45)$$

Подставив в выражение (5.58) значения  $\varphi_c$  и  $\varphi_p$  согласно (5.57) и (5.59), получим

$$V_p \cong \pi V_6 \frac{r_c}{\varphi_6 r_6} \quad (2.46)$$

или с учетом сделанного допущения

$$\varphi_6 r_6 \cong 2r_c$$

Имеем

$$V_p \cong \frac{1}{2} \pi V_6 \cong 1,57 V_6. \quad (2.47)$$

После завершения процесса западания очевидным условием удержания семян на вращающемся барабане.

$$F \geq Q \cos \alpha. \quad (2.48)$$

Теперь, сопоставляя данные расчетов по формуле, с расчетами, выполненными по формуле соответствующего процесса западания, определим силу инерции для семени в барабане, которое обеспечит надёжное западание и транспортирование семян до момента сбрасывания их в семяпровод или непосредственно в открытую сошником борозду.

Конструктивно экранирующий ролик закрепляется на подпружиненном кронштейне, что сохраняет плотное прилегание его к поверхности барабана. При вращении последнего в результате трения, возникающего в точках контакта, ролик приводится во вращательное движение.

Под действием собственного веса и усилия, создаваемого пружиной, обрешиненная поверхность ролика в месте контакта с барабаном сминается на некоторую величину. Величина смятия и является основным условием, определяющим вид движения ролика — качение либо скольжение.

Согласно предпосылкам акад. В. П. Горячкина о том, что круглое тело можно рассматривать как тело с бесконечно большим числом граней, а качение как непрерывное опрокидывание, представим вращающийся ролик как правильный многогранник, величина грани которого равна длине (хорде) сминаемой поверхности.

В первом приближении условием, при котором может иметь место либо качение, либо скольжение, является равенство моментов, действующих сил при опрокидывании ролика относительно точки  $O_1$  (моментом силы трения на оси ролика пренебрегаем)

$$F(r - h) = Q \frac{a}{2}, \quad (2.49)$$

где  $F$  — сила трения качения (скольжения) ролика;  $Q$  — обобщенная сила тяжести ролика и усилия пружины;  $r$  — радиус ролика;  $a$  — длина сминаемой поверхности ролика;  $h$  — величина смятия (высота смятия).

Тогда условием наличия качения, очевидно, будет

$$F(r - h) \geq Q \frac{a}{2}$$

Подставив значение  $F$ , получим

$$(r - h) \geq \frac{a}{2}, \quad (2.50)$$

где  $f$  — коэффициент трения.

Используя соотношения между геометрическими элементами сектора, по выражению (2.50) найдем значение радиуса ролика, при котором он будет совершать только вращательное движение

$$r \geq \frac{h}{f^2} (f^2 + \sqrt{f^2 + 1} + 1). \quad (2.51)$$

Если учесть, что значение выражения, стоящего в круглых скобках правой части неравенства (2.51), ввиду малости коэффициента трения, немногим больше двух, то величину радиуса экранирующего ролика можно рассчитывать по следующей приближенной формуле

$$r \geq \frac{2h}{f^2}. \quad (2.52)$$

Таким образом, величина радиуса экранирующего ролика высевающих аппаратов прямо пропорциональна удвоенной высоте сминаемой его поверхности и обратно пропорциональна квадрату коэффициента трения скольжения.

## 2.2 Определение оптимальных параметров высевающего аппарата сеялки пунктирного высева

Основными геометрическими и кинематическими параметрами барабанных высевающих аппаратов, определяющими качество высева, являются диаметр и число ячеек, диаметр и окружная скорость барабана, расположение юны западания и удаления лишних семян.

Условием для выбора диаметра ячеек будет отсутствие заклинивания их в отверстиях. Исходя из этого, диаметр отверстий обычно рассчитывается по соотношению

$$d = (0,7ч \div 0,8)b, \quad (2.53)$$

где  $b$  — минимальная ширина высеваемых семян.

Число ячеек зависит от шага размещения их на барабане (диске), диаметрами окружной скорости барабана, шага посева и скорости движения сеялки.

При однорядном расположении ячеек минимальный шаг их на барабане для односемянного высева определяется из условий наиболее надежного удаления лишних семян и их максимальной длины

$$t_i = 2a - d, \quad (2.54)$$

где  $t_i$  — минимальный шаг ячеек на барабане односемянного высева;  $a$  — максимальная длина высеваемых семян.

В высевающих аппаратах барабанного типа гнездовой посев осуществляется либо гладкими барабанами, либо ячеистыми. На гладких — ячеи располагаются группами по образующей барабана. Расстояние между отверстиями в группе определяется исходя из конструктивной ширины барабана и числа семян, высеваемых в одно гнездо. Окружной шаг отверстий

в этом случае рассчитывается так же, как и для односемянного высева по формуле (2.54).

На ячеистых барабанах отверстия выполняются в ячейках по два на каждую и располагаются по образующей барабана, проходящей через центр ячейки. Окружной шаг отверстий при этом равен шагу ячеек и может быть определен из соотношения

$$t_n = d_n + a, \quad (2.55)$$

где  $t^*$  — окружной шаг ячеек;  $d_n$  — диаметр ячеек.

Величина шага  $t_1$  и соответственно  $t_n$  с диаметром барабана связаны зависимостями

$$t_1 = \frac{\pi D_б}{Z_1}. \quad (2.56)$$

$$t_я = \frac{\pi D_б}{Z_я}. \quad (2.57)$$

где  $D_б$  — диаметр барабана;  $Z_1$  — число ячеек;  $Z_n$  — число ячеек (число пар ячеек). Отсюда

$$Z_1 = \frac{\pi D_б}{t_1}, \quad (2.58)$$

$$Z_я = \frac{\pi D_б}{t_я}, \quad (2.59)$$

или, подставив значения  $t_1$  и  $t_n$  согласно (2.54) и (2.55), получим

$$Z_1 = \frac{\pi D_б}{2a - d}, \quad (2.60)$$

$$Z_я = \frac{\pi D_б}{d_я + a}, \quad (2.61)$$

Размеры (диаметр и глубина) ячеек барабана определяются количеством семян, высеваемых в одно гнездо. Согласно агротехническим требованиям на гнездовой посев овощных культур, в гнездо должно быть высея-

но  $5 \pm 2$  шт. семян. В соответствии с этим объем ячейки может быть вычислен из выражения

$$V_{\text{я}} = \frac{7q_1}{q_c} 10^6 \quad (2.62)$$

где  $V_{\text{я}}$  — объем ячейки,  $\text{мм}^3$ ;  $q_1$  — масса одного семени, г;  $q_c$  — натура семян (масса 1 литра семян в г).

Проведенные нами исследования показали, что ячейки сферической формы по сравнению с цилиндрическими и коническими значительно лучше заполняются семенами в процессе западания. Указанные преимущества сферической ячейки в большей мере проявляются при ее глубине, определяемой соотношением

$$h_{\text{я}} \leq r_{\text{я}} \quad (2.63)$$

где  $h_{\text{я}}$  — глубина ячейки;  $r_{\text{я}}$  — радиус сферической поверхности ячейки.

В соответствии с (5.89) и (5.90) диаметр и глубина ячейки могут быть рассчитаны по формулам

$$d_{\text{я}} \cong 300^3 \sqrt{\frac{q_1}{q_c}}, \quad (2.64)$$

$$h_{\text{я}} \cong 150^3 \sqrt{\frac{q_1}{q_c}}, \quad (2.65)$$

Тогда выражение (2.61) для определения числа ячеек на барабане с учетом (2.64) примет вид

$$z_{\text{я}} = \frac{\pi D_6}{300^3 \sqrt{\frac{q_1}{q_c}} + a}. \quad (2.66)$$

Диаметр барабана (диска) выбирается из условий наиболее надежного западания семян, а также исходя из конструктивных параметров, обеспечивающих возможность оптимального расположения устройств для удаления лишних семян, щётки - отражателя и минимальную высоту падения семян в борозду, т. е. максимальное приближение высевающего барабана к поверх-

ности раскрытой сошником борозды. По данным наших исследований, указанным требованиям в наибольшей степени отвечает аппарат с высевающим барабаном, диаметр которого примерно равен 0,2 м.

Подставляя значение  $D_6 = 0,2$  м в выражения (2.60) и (2.66), найдем максимально возможное число отверстий и ячеек соответственно на барабанах для односемянного и гнездового высева.

$$z_{1max} = \frac{628}{2a-d}, \quad (2.67)$$

$$z_{яmax} = \frac{628}{300^3 \sqrt{\frac{q_1}{q_c} + a}}. \quad (2.68)$$

По данным ряда авторов, допустимая окружная скорость барабана не должна превышать 0,3 м/с. В наших опытах величина допустимой скорости барабана при односемянном и гнездовом (групповом) высева семян зерновых культур была получена в пределах 0,25—0,3 м/с. При этой скорости и диаметре барабана 0,2 м число семян, высеваемых по одному, и количество гнезд с заданным числом семян в гнезде  $5 \pm 2$  шт. составили соответственно 75—92% и 70—96%, что вполне укладывается в агротехнические требования, предъявляемые к овощным сеялкам пунктирного и гнездового посевов.

Прежде чем определить западания семян в барабане, необходимого для надежного высева, найдем геометрические параметры щётки - отражателя и создаваемую им скорость движения слоя, прилегающего к барабану.

Высота ворса щётки определится из условий согласно выражению (2.37). Принимая для семян зерновых культур

$$h_{ж} = \sqrt{b_s c_s}$$

и используя данные табл. 3.3, имеем

$$h_{ж} = \sqrt{4.1 * 1.7} = 2.64 \text{ мм}$$

Согласно (2.25), ширина желобка вместе с толщиной ребра равна

$$b_{\text{ж}} = \frac{b_s}{c_s} h_{\text{ж}} + 1.3 = \frac{4.1}{1.7} 2.64 + 1.3 = 7.66 \text{ мм}$$

Принимая.  $z_{\partial} = 18$  по формуле (2.26), найдем диаметр щётки

$$d_{\partial} = \frac{z_{\partial} b_{\text{ж}}}{\pi} = \frac{18 * 7.66}{3.14} \cong 44$$

Весовую подачу семян за один оборот щётки определим по формуле (2.32) и данным табл. 3,6 для семян названных выше: культур с наибольшей натурой

$$Q_{\partial} = \frac{\pi d_{\text{ж}}^2}{3.2 * 10^6} l_{\text{ж}} z_{\partial} q_c = \frac{3.14 * 3^2}{3.2 * 10^6} 40 * 18 * 600 = 3.81 \text{ г.}$$

Весовой высев семян за один оборот барабана найдем по формуле (2.33) с учетом значений  $z$  согласно (2.67) и (2.68).

$$Q_{\text{б}_1} = \frac{628}{2a-d} q_1 \quad (2.69)$$

При гнездовом высеве

$$Q_{\text{б}_я} = \frac{628}{300 \sqrt[3]{\frac{q_1}{q_c}} + a} 7q_1. \quad (2.70)$$

Согласно данным табл. 3.1, принимаем  $a = 5$  мм,  $b = 1,7$  мм. Из выражения (2.53) находим диаметр ячеек  $d = 1,4$  мм. Подставив эти значения в выражения (2.69) и (2.70), получим

$$Q_{\text{б}_1} = \frac{628}{2 * 5 - 1.4} 0.007 = 0.51 \text{ г}$$

$$Q_{\text{б.я}} = \frac{628}{300 \sqrt[3]{\frac{0.007}{600}} + 5} 7 * 0.007 = 2.6 \text{ г}$$

По формуле (5.48) определяем число оборотов щётки, которое он должен сделать за один оборот барабана

$$n_{\partial} = \frac{Q_{\text{б}}}{Q_{\partial}} = \frac{2.6}{3.81} = 0.68$$

При допустимой окружной скорости  $V_{\text{б}\partial} = 0,25$  м/с и  $D_{\text{б}} = 0,2$  м обороты барабана и щётки - отражателя в минуту равны

$$n_{\text{б}} = \frac{30V_{\text{б}\partial}}{\pi r_{\text{б}}} = \frac{30 * 0.25}{3.14 * 0.1} \cong 24 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, \quad (2.71)$$

$$n_{\partial} = n_{\text{б}} * 0.68 = 2 * 40.68 = 16.3 \text{ об/мин} \quad (2.72)$$

В данном случае обороты щётки были определены из условия равенства подаваемых им семян и высеваемых барабаном. Подставляя в (2.42) значения допустимой окружной скорости барабана и других входящих в него величин, найдем обороты щётки - отражателя, при которых слой семян, прилегающий к барабану, будет иметь скорость, близкую к скорости барабана

$$n_{\partial\text{м}} = 163 \frac{V_{\text{б}\partial}}{z_{\partial} b_{\text{ж}}} = 163 \frac{0.25}{18 * 0.00766} \cong 295 \quad (2.73)$$

Сравнивая обороты щётки, вычисленные по формулам (2.72) и (2.73), можно заметить, что для обеспечения равенства скоростей слоя семян и барабана необходимо, чтобы у щётки - отражателя обороты были примерно в 12 раз больше, чем у барабана, и в 18 раз превышали те, которые он должен иметь при сбалансированной подаче семян. С технической стороны выполнение этих условий вызывает определенные трудности и требует применения специальных герметически закрытых многоступенчатых редукторов, что значительно усложняет конструкцию приводов высевальных аппаратов и снижает надежность сеялки в целом. В связи с

этим в высевающих аппаратах была использована одноступенчатая цилиндрическая передача с максимально возможной редукцией, равной примерно 2,5, т.е

$$\frac{n_{\partial}}{n_{\text{б}}} = i = 2.5 \quad (2.74)$$

Снижение числа оборотов щётки отражателя по сравнению с расчетными согласно (5.42), ввиду увеличения разницы в скоростях слоя семян и барабана, Согласно передаточному отношению (2.74) и выражению (2.71), обороты щётки отражателя равны

$$n_{\partial} = i_a n_{\text{б}} = i_a \frac{30V_{\text{б}\partial}}{\pi r_{\text{б}}} \quad (2.75)$$

Тогда окружная скорость щётки при высеве мелких и крупных семян определится из выражений

$$V_{\partial_{\text{м}}} = \frac{\pi n_{\partial}}{30} r_{\partial_{\text{м}}}, \quad (2.76)$$

$$V_{\partial_{\text{к}}} = \frac{\pi n_{\partial}}{30} r_{\partial_{\text{к}}}$$

или, подставив значение  $n_{\partial}$  согласно (2.75), получим

$$V_{\partial_{\text{м}}} = i_a \frac{r_{\partial_{\text{м}}}}{r_{\text{б}}} V_{\text{б}} = 2.5 \frac{0.022}{0.1} V_{\text{б}} = 0.56V_{\text{б}} \quad (2.77)$$

$$V_{\partial_{\text{к}}} = i_a \frac{r_{\partial_{\text{к}}}}{r_{\text{б}}} V_{\text{б}} = 2.5 \frac{0.012}{0.1} V_{\text{б}} = 0.32V_{\text{б}}$$

Таким образом, из приведенных расчетных данных видно, что применение щётки отражателя, как устройства для создания попутного высевному барабану движения семян со скоростью, равной скорости ячеек, приводит к значительному усложнению конструкции механизма привода, а следовательно, и всего высевающего аппарата в целом. Вместе с тем следует отметить, что даже при тех скоростях движения семян (5.105), которые обеспечивает щётка в простейшем варианте

привода (одноступенчатая цилиндрическая передача с  $i = 2,5$ ), роль его в общей равномерности высева, создаваемой аппаратом, остается весомой. Так, при высеве семян зерновых, барабанным аппаратом с щёткой пропуски не превышают 1%, тогда как при высеве этих же семян аппаратом без щётки они достигают 10—25%. В данном случае положительное влияние щётки - отражателя проявляется благодаря равномерной подаче им семян к барабану и значительному ограничению воздействия слоя семян на процесс западания и выноса их из бункера.

Поэтому при проектировании новых моделей барабанных высевающих аппаратов высевающих устройств щётки - отражатели должны быть обязательной принадлежностью конструкции аппаратов.

Условие, необходимое для надежного западания семян в высевающем аппарате с щёткой отражателем, определяется по формуле (2.24) или (2.28) при подстановке в них скорости слоя семян согласно (2.105) значений  $\alpha = 0$ ,  $V_{\sigma_0} = 0,25$  м/с,  $D_{\sigma} = 0,2$  м, соответствующих показателей высеваемых семян и параметров ячеек барабана.

### 2.3 Графоаналитическая модель процесса влияния параметров высевающего аппарата на точность высева

Без подробного изучения процесса единичного западания семян в отверстия высевающего аппарата и относящихся к нему закономерностей, конструктивных и геометрических параметров, невозможно добиться интенсификации в работе высевающего аппарата барабанного типа.

Ссылаясь на методы описанные в следующих литературных источниках [18,34,35,36,37,38,39,40,41,42] и закладывая в основу теорию, которая описывает процесс единичного западания семени в отверстие высевающего барабана, создана математическая модель. При сопоставлении модели с оригиналом, почти всегда следует ожидать усложнение модели и увеличение труда к его исследованию.

Взяв на заметку вышеизложенные факты, при изучении процесса западания семян в ячею, допускаются следующие факты:

- семена имеют форму шара и движутся по ячеистой поверхности высевающего барабана без качения,
- изменчивость размерной характеристики подчиняется закону нормального распределения;
- семя считается запавшим в ячейку высевающего аппарата барабанного типа при условии, что центр тяжести пересечет плоскость ограничивающая объём сверху.
- Движение семени по ячеистой поверхности высевающего аппарата считается равномерной, и относительная скорость её движения направлена в обратную сторону вращения высевающего барабана и равна окружной скорости.

На рисунке показано положение слоя семян в первом приближении можно определить центральным углом  $\alpha_{\text{нб}}$ , соответствующим середине хорды зоны заполнения. Самой плохой вероятностью заполнения являются верхние слои семян

При разборе процесса западания семени приведено на рисунке, находящаяся в верхней точке слоя, считать при прохождении слоя семян ячейка осталась незаполненной.

Размер семени находится в интервале

$$r_{\min} < r < r_{\max} . \quad (2.78)$$

Если принять, что

$$|r - r_0| < \varepsilon , \quad (2.79)$$

где  $r_0$  - средний радиус семени, метр;

$r$  - текущее значение радиуса семени, метр;

$\varepsilon$  - величина, которая характеризует изменчивость размерной характеристики, метр.

То, текущее значение размера семени расположено в пределах

$$r_{\min} < r_0 - \varepsilon < r < r_0 + \varepsilon < r_{\max} , \quad (2.80)$$

где  $\varepsilon > 0$ .

Длина (диаметр) ячейки

$$L = 2r + \Delta, \text{ при } \Delta > 0, \quad (2.81)$$

где  $\Delta$  - величина допуска на диаметр ячейки, которая обеспечивает гарантированное западание семени, метр.

В тоже время глубина входной фаски ячейки должна будет находиться в пределах описываемых неравенством:

$$0 < c < h,$$

где  $c$  - глубина входной фаски ячейки, метр;

$h$  - глубина ячейки, метр.

При потере точки опоры на поверхности высевающего барабана семя совершает свободное падение с начальной скоростью  $V = \omega R$ . После рассмотрения дифференциального уравнения движения семени, при потере контакта с поверхностью высевающего аппарата барабанного типа, имеем возможность для определения значения критической скорости, при вероятности западания семени в ячейку.

$$\omega R = \frac{c \operatorname{tg} \mu + L - r}{\sqrt{\frac{2[(c \operatorname{tg} \mu + L - r) \sin \alpha + r]}{g}}}. \quad (2.82)$$

Из вышеприведенного уравнения 2.82 сможем определить радиус семени:

$$r = \frac{[\omega^2 R^2 (1 + \sin \alpha) - g(c \operatorname{tg} \mu + \Delta)]}{g} + \frac{\sqrt{\omega^4 R^4 (1 + \sin \alpha)^2 - 2\omega^2 R^2 g(c \operatorname{tg} \mu + \Delta)}}{g}. \quad (2.83)$$

В данном случае радиус семени допускается принимать следующее рациональное значение при наложении следующих ограничений.

Радиус семян может, в этом случае, принимать следующее рациональное значение при наложении следующих ограничений:

- Подъём угла  $\alpha_{\hat{\epsilon}\delta}$  которое принимает критическое значение высеваемого семени внутренней поверхностью высевающего аппарата барабанного типа, необходимо описать следующим выражением:

$$\alpha_{\hat{\epsilon}\delta} \geq \arcsin \left[ \frac{\sqrt{2g(c \operatorname{tg}\mu + \Delta)}}{\omega R} - 1 \right]; \quad (2.84)$$

- в этом случае значение угловой скорости высевающего барабана должно будет находиться в следующих пределах:

$$0 < \omega \leq \frac{\sqrt{2g(c \operatorname{tg}\mu + \Delta)}}{R}. \quad (2.85)$$

Если провести аналогию с функцией Лапласа, то выражение для определения вероятности западания семян в ячеи можно будет представить в виде:

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma}} dr. \quad (2.86)$$

Учитывая зависимость 2.56, выражение для определения вероятности западания семян в ячеи высевающего барабана, в случае прохождения ячейки непосредственно под слоем высеваемых семян:

$$P(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\alpha_{\hat{\epsilon}\delta}} e^{-\frac{\left[ \frac{p(1+\sin\alpha) - q + \sqrt{p^2(1+\sin\alpha)^2 - 2pq}}{g} - r_0 \right]^2}{2\sigma}} d\alpha, \quad (2.87)$$

где  $p = \omega^2 R^2$ ;  $q = g(c \operatorname{tg}\mu + \Delta)$ .

После проведения анализа данной модели, описывающую вероятность заполнения ячеек, которые находятся под слоем семян, в ходе изменения положения

ячеек от  $\alpha = 0$  до  $\alpha = \alpha_{\text{ед}}$ , необходимо так же принять во внимание, что при заполнении ячеек семенами немаловажным фактором является схожесть высеваемых фракций семян, т.е. от размера среднеквадратичного отклонения. Качество калибровки семян перед просевом является важной операцией для определения диаметра ячейки высевяющего аппарата. В том случае, когда диаметр ячеек в высевяющем аппарате не превышает размер самой крупной фракции семени, то спустя определенное время то по истечению определённого времени при высеве, слой будут состоять только из больших, не высеянных фракций семян. Соответственно, при подборе диаметра ячеек, необходимо соблюсти следующее условие по критерию размера ячеек.

$$L > 2(r_0 + \varepsilon) \quad (2.88)$$

если известно среднеквадратическое отклонение

$$L > 2(r_0 + 3\sigma). \quad (2.89)$$

При увеличении скорости вращения высевяющего аппарата, и увеличение внутреннего диаметра барабана в рамках исследования, приводит к неизбежному уменьшению снижения вероятности заполнения ячеек. Повышение следует ожидать в случае увеличения размеров входной фаски и увеличения допуска на диаметр ячейки высевяющего аппарата барабанного типа.

На рисунке 2.20 и рисунке 2.21 показаны характерные изменения вероятности заполнения ячеек в зависимости от конструктивных параметров в диапазоне  $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{ед}}$ .

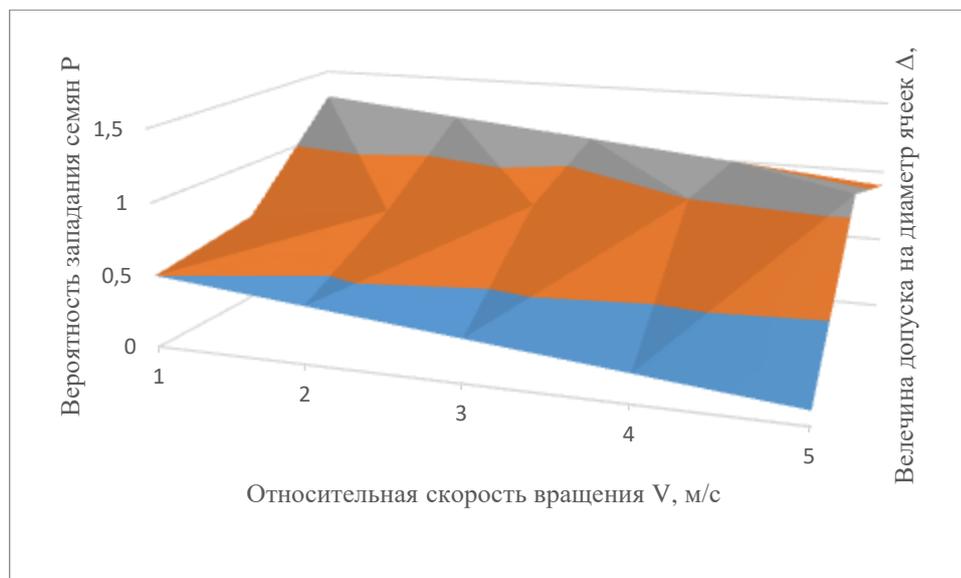


Рисунок 2.7 – График изменения вероятности одиночного заполнения ячеек в зависимости от величины допуска на диаметр ячеек ( $\Delta$ ) относительной скорости перемещения семян по высевающему барабану ( $V$ )

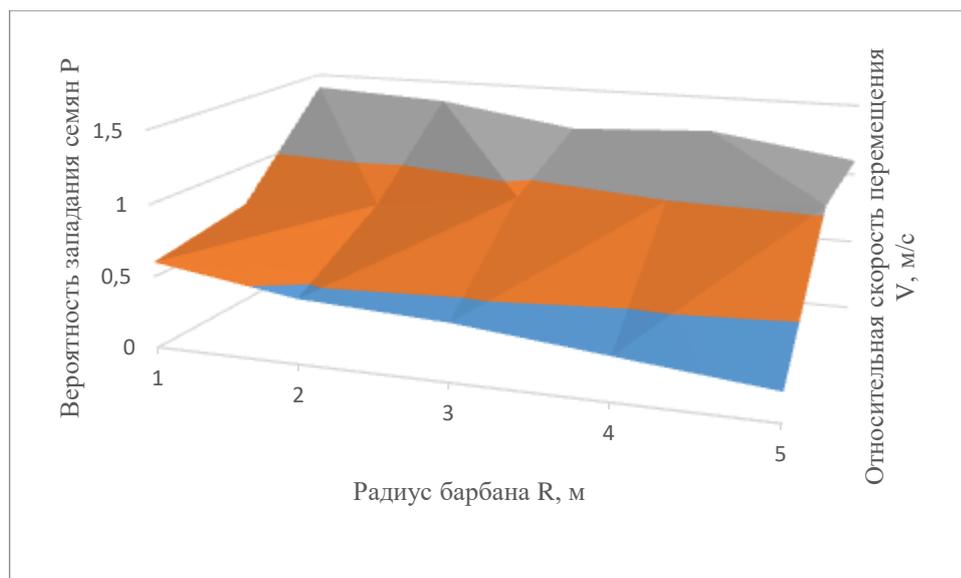


Рисунок 2.7 – График изменения вероятности одиночного заполнения ячеек семенами в зависимости от радиуса барабана ( $R$ ) относительной скорости перемещения семян по высевающему барабану ( $V$ )

Придерживаясь тому закону, по мере увеличения размеров ячеек, вероятность заполнения является линейным, независимо от изменения скорости высе-

вающего аппарата, приведено на рисунке. При уменьшении скорости вращения, вероятность западания снижается по параболической зависимости.

Зависимость, приведенная на рисунке показывает изменение вероятности единичного заполнения ячеек семенами, от изменения внутреннего диаметра высевающего аппарата барабанного типа.

Выявлены зависимости, которые описывают значительное влияние на изменение качества процесса высева семян барабанным высевающим аппаратом, перемещающихся по внутренней поверхности барабана, посредством моделирования заполнения ячеек, оборудованных входными фасками. улучшающими качество заполнения.

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

#### **3.1 Цель и программа лабораторных исследований**

В ходе научных лабораторных изысканий и тщательного изучения взаимодействия семян с поверхностью барабана и роторным щеточным отражателем, определена достоверность аналитических зависимостей и теоретических выводов приведённые во второй главе.

Основываясь на теоретические данные со следующих литературных источников [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51], для осуществления поставленных целей и задач лабораторных изысканий необходимо разработать структуру программы а также общую методику проведения экспериментов.

Структура программы по проведению лабораторных испытаний основывается на нижеприведённых факторах.

1. Проведение опытов по выявлению зависимости геометрических параметров ячеек барабанного высевающего аппарата на коэффициент западания семян в зависимости от исследуемого вида культуры семян в ходе научных изысканий.
2. Зависимость геометрических параметров роторного щеточного -отражателя, определение его месторасположения и угла фиксации относительно вертикальной оси барабанного высевающего аппарата пунктирного высева, на равномерность высева, также количество дроблённых и травмируемых семян различных видов культур в относительном сравнении с катушечным высевающим аппаратом.
3. Выявление параметров зависимости заполнения семенного бункера семенным материалом барабанного высевающего аппарата, на качество единичного посева семян различных видов культур.

Для удостоверения действительности конструктивных и технологических параметров аппарата пунктирного высева в лабораторных исследованиях, были

соблюдены все требования в полном соответствии с разработанной схемой по проведению лабораторных опытов по рандомизированному блочному плану.

### 3.2 Методика проведения экспериментов по определению оптимальных конструктивных параметров и режимов работы барабанного высевающего аппарата

#### Параметры высевающего барабана.

При подготовке к лабораторным испытаниям, на внутренней полости барабанного высевающего аппарата, были разработаны геометрические параметры ячеек в системе автоматического проектирования, а затем успешно напечатаны на 3 - д принтере, и принимали следующие значения 6, 7, 9 и 10 миллиметров.

#### 2) Геометрические параметры ячеек и входных фасок

высевающего барабана.

Ячейки расположены на внутренней поверхности высевающего барабана и составляют в зависимости от типа высеваемых культур, формы и размеров ячеек в количестве для пшеницы от 16 отверстий одного ряда; для ячменя от 18 штук; для овса от 14 штук. Опыты проведены на разных частотах вращения высевающего барабана 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22 об/мин.

Опыты по определению параметров проходили в пять этапов. После каждого завершения этапа производился расчет заполнения ячеек семенами по следующему выражению:

$$K_z = \frac{nN_1}{M_z}, \quad (3.1)$$

где  $K_z$  - коэффициент заполнения;

$n$  - количество оборотов высевающего барабана;

$N_1$  - количество ячеек на исследуемом барабане, штук;

$M_z$  - количество высеянных семян, штук.

### 3) Размеры, места установки и режимы работы

роторного отражателя семян.

Угол расположения щётки – отражателя относительно вертикальной оси высевающего барабана принимали следующие значения: 0; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45 градусов.

Для опытов были напечатаны на 3д – принтере шесть разных размеров щёток – отражателей с изменением диаметров равной 80 миллиметрам; 100 миллиметрам; 120 миллиметрам; Все опыты проходили с пятикратным повторением.

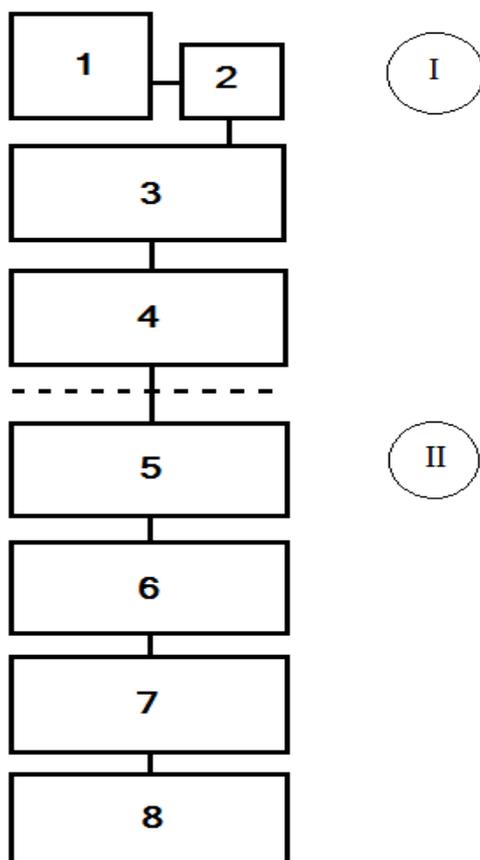


Рисунок 3.1 – Структура блок - схемы регистрации показаний с датчиков.

I – Блок записи сигналов: 1 – барабанный высевающий аппарат; 2 – оптический датчик; 3 – контроллер Arduino Uno; 4 – запись цифрового сигнала на ПК через COM port;

II – Блок вывода информации и расшифровки графиков: 5 – вывод показаний на дисплей персонального компьютера; 6 – расшифровка показаний с цифрового датчика; 7 – определение межсемянного значения в высеянной полосе; 8 – определение среднего межсеменного значения в рядке.;

Полученная информация о расстоянии между фракциями семян. Структурно подразделились на две блок схемы. Первая подразумевает под собой – сохранение полученных цифровых данных с оптического датчика. Второй подраздел это выведение информации и графиков с микроконтроллера на дисплей персонального компьютера. Блок под номером один включает в себя следующие действия:

Считывание показаний с оптического датчика, о высеве семян, которые поступают из высевающего аппарата пунктирного высева;

Конвертирование данных в микроконтроллере;

Передача показаний с микроконтроллера на персональный компьютер через USB COM port;

На втором блоке выполняются следующие операции:

Визуализация данных с сигналов в графическом виде на дисплей персонального компьютера выводится через программу SFMonitor;

Процесс расшифровки графиков с учётом зависимости частоты вращения барабанного высевающего аппарата.

Процесс экспорта полученных окончательных данных о расстоянии между семенами с последующей обработкой информации сравнивался программой «Statistica 13.3»

В соответствии с полученными информационными данными с блок схем, сделаны графики распределения семенного материала по высеянной траектории, с учётом агротехнических требований к различным видам семян культур.

### 3.3 Разработка экспериментальной лабораторной установки барабанного высевающего аппарата.

Для более точного поиска определения параметров и режимов работы барабанного высевающего аппарата разработана лабораторная установка пунктирного высева показанная на рисунке 3.2.

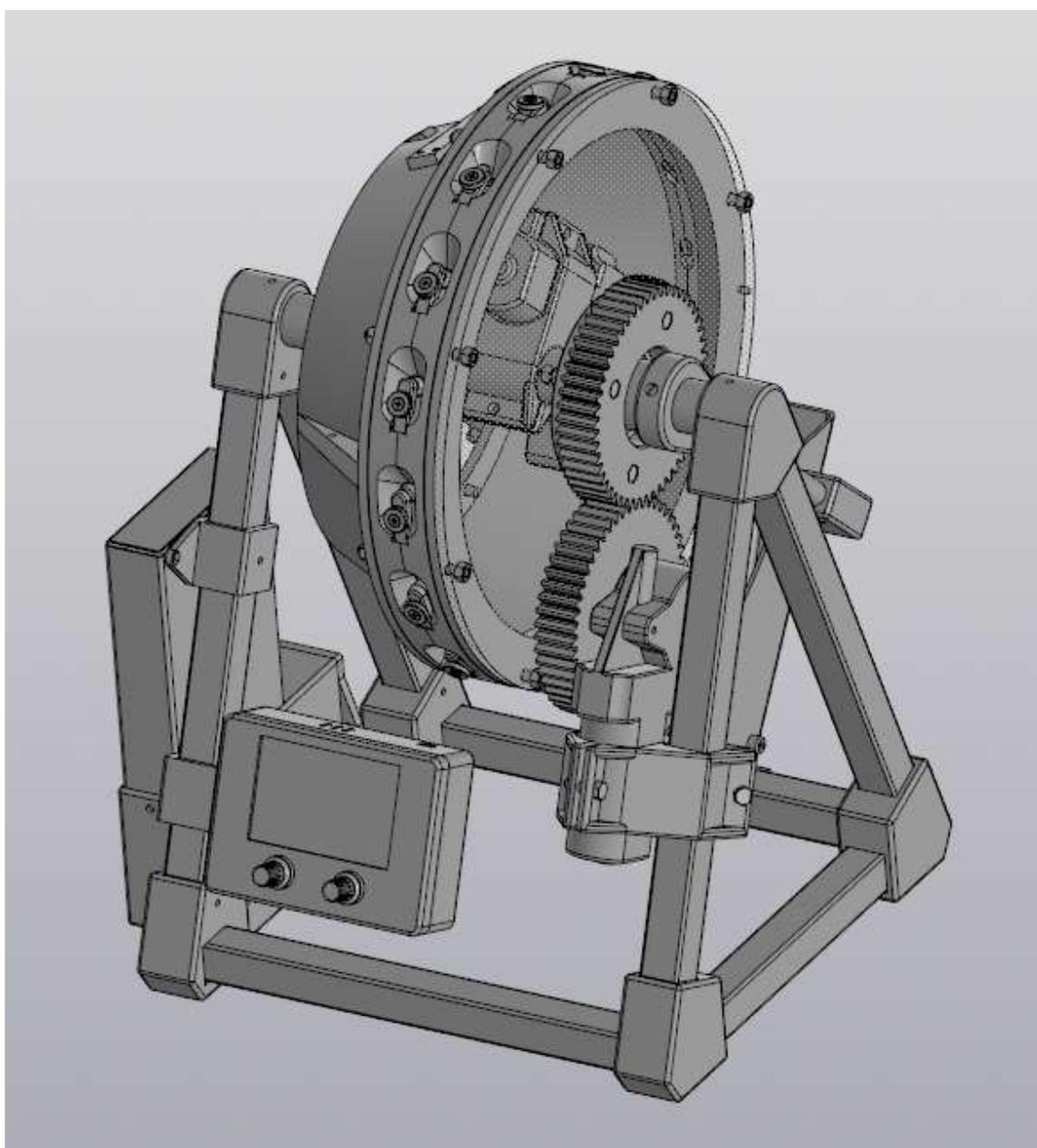


Рисунок 3.2 – Общий вид барабанной лабораторной установки.

Изначально была сконструирована трёхмерная модель в САПР КОМПАС – 3D V18, начерчена принципиальная схема для управления барабанным высевающим аппаратом лабораторной установки, и с дальнейшим снятием данных с цифровых и аналоговых датчиков на персональный компьютер. При разработке экспериментальной модели активно использовались аддитивные технологии и технологии ЧПУ. Разнесенная трёхмерная модель лабораторной установки по компонентам представлена на рисунке 3.3.

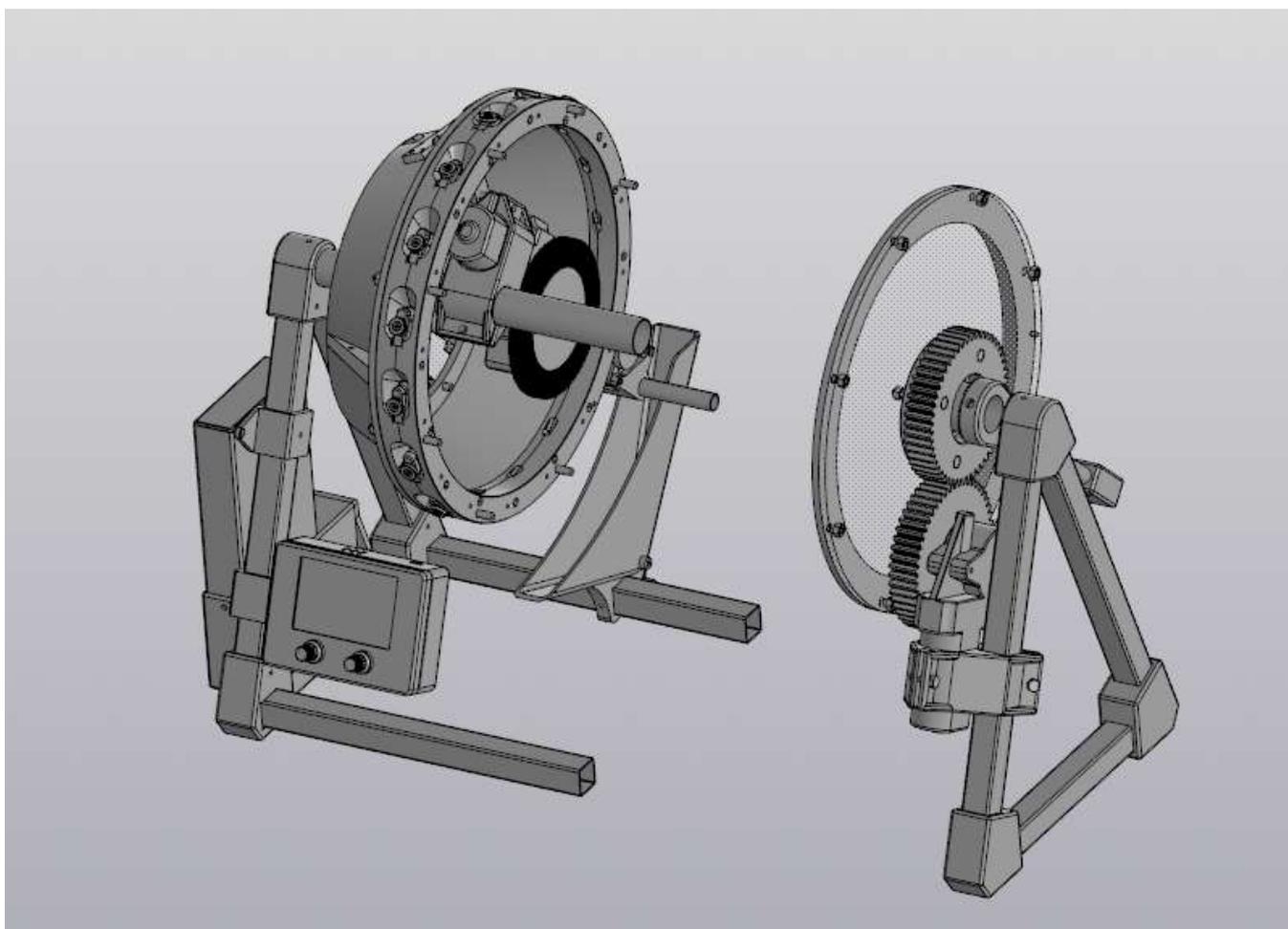


Рисунок 3.3 – Разнесенная трёхмерная модель лабораторной установки по компонентам.

Щётка-отражатель с клапанным механизмом расположенной под определенным углом относительно оси показана на рисунке 3.3.

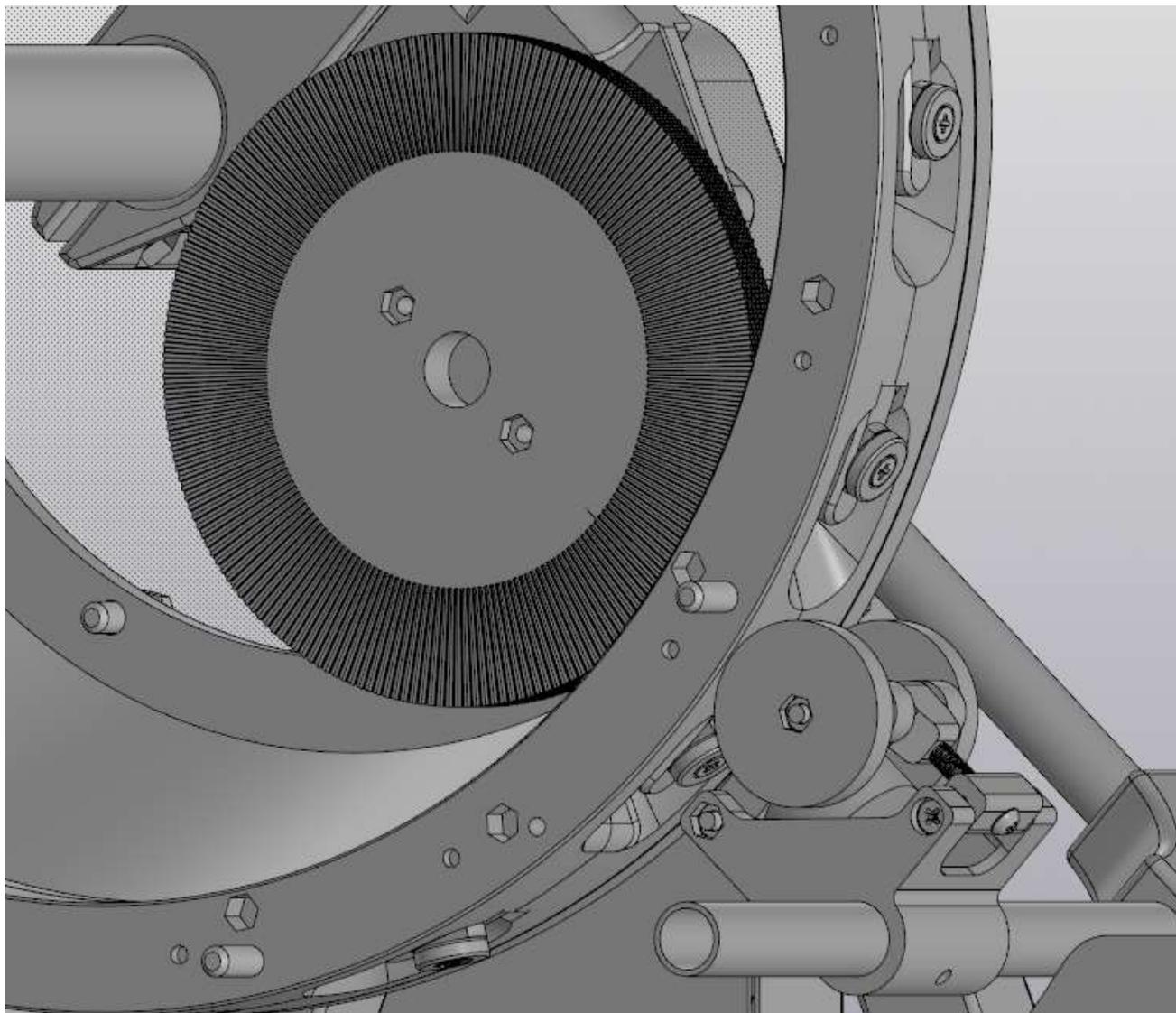


Рисунок 3.4 – Щётка-отражатель с клапанным механизмом.

Вид сбоку лабораторной экспериментальной установки, показанная на рисунке 3.5. Она включает в себя секцию высевающего аппарата 3, установленного на раме из алюминиевого экструдированного профиля. На секции барабана проделаны отверстия (ячейки) по всему периметру в один ряд, на равном расстоянии друг от друга. Привод на высевающий аппарат передается посредством шестеренной передачи через вращение коллекторного двигателя постоянного тока закрепленной вдоль рамы. 1. Ведущая шестерня установлена непосредственно на

самом

высевающем

аппарате

2.

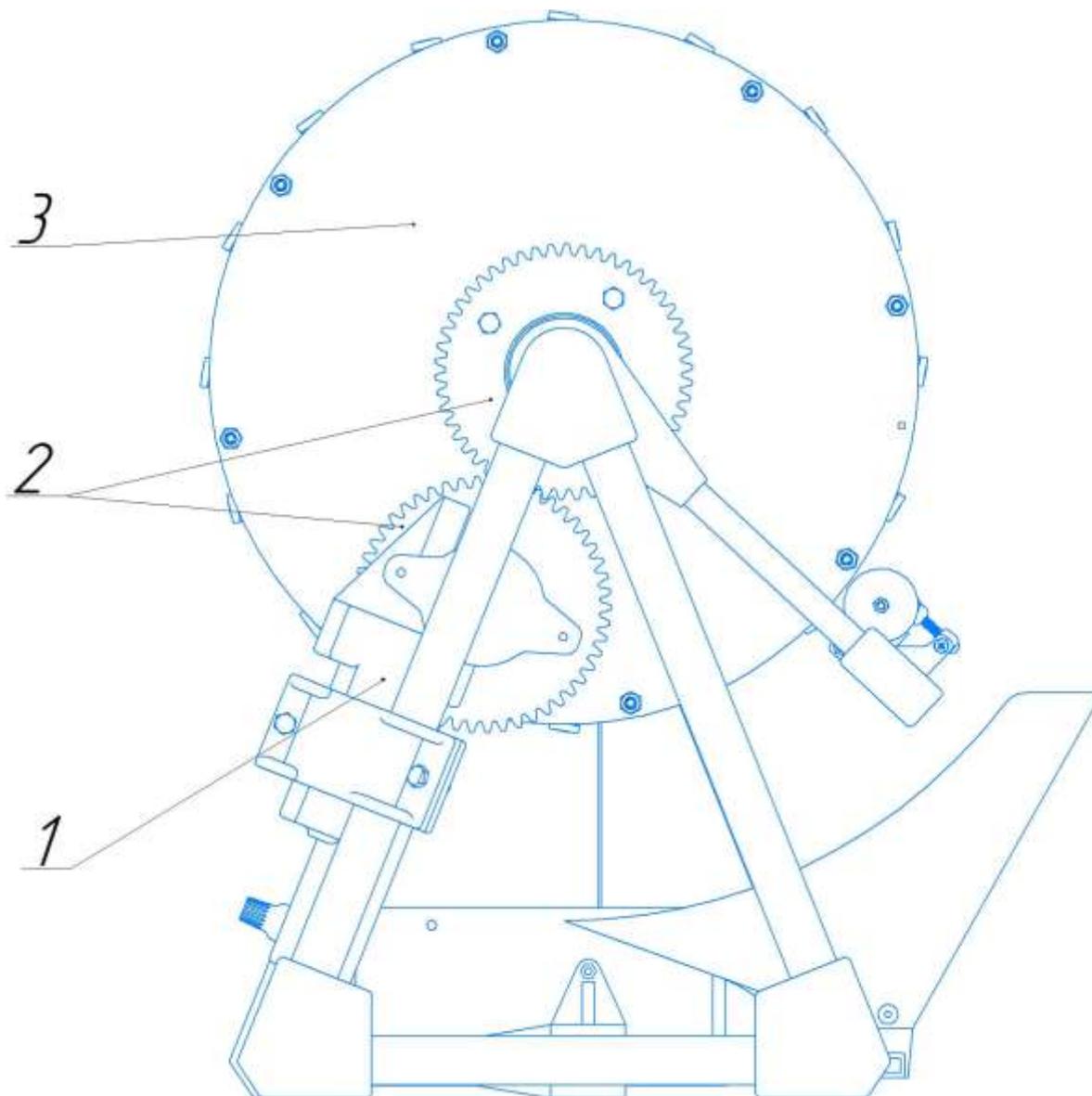


Рисунок 3.5 Вид слева.

1 – мотор - редуктор; 2 - приводные шестерни; 3 – барабанный высевающий аппарат (бункер).

По внешней периферии на одинаковом расстоянии друг от друга установлены клапана ячеек 3, представлен на рисунке 3.5, предназначенные от преждевременного выпадения семян через ячейки при вращении. На самом клапане установлен постоянный неодимовый магнит. По внешнему радиусу в нижней части барабана установлен механизм открывания клапана 4. Состоит из неодимового посто-

янного магнита и двух роликов с пружиной сжатия, для поддержания заданного расстояния между двумя магнитами.

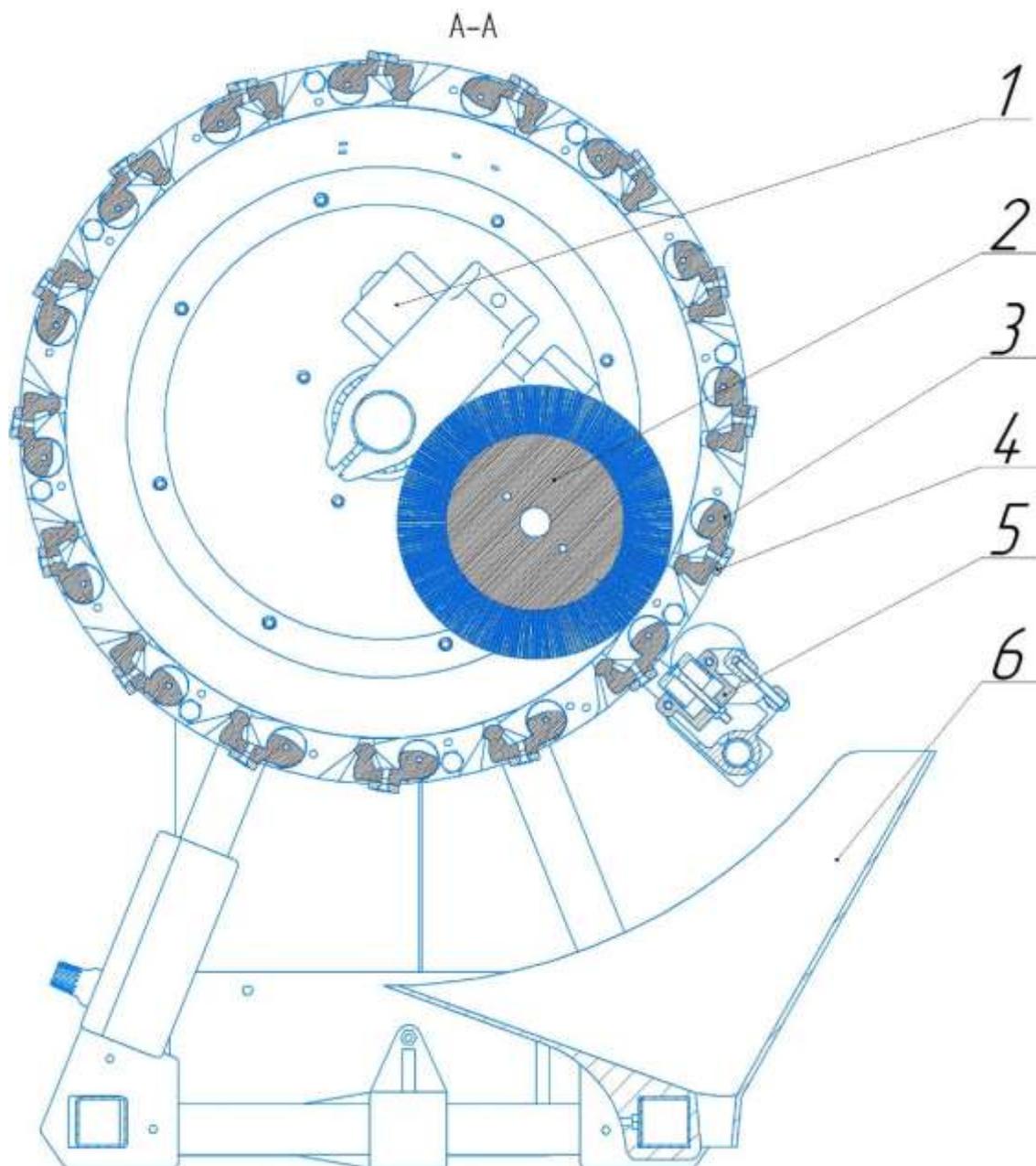


Рисунок 3.6 - Лабораторная установка по исследованию барабанного высева разре-  
зе

1 – Мотор - редуктор щетки отражателя; 2 – Щётка отражатель; 3 - Клапан ячейки; 4 – Магнит клапана; 5 – Механизм открывания клапана; 6 – Воронка для семян.

На лабораторной установке для определения параметров работы барабанного высевающего аппарата установлен дисплей 3 показан на рисунке 3.7, для вывода данных о количестве оборотов в минуту с двух мотор - редукторов, который запитан от блока питания (4) на 12В. В нижней части воронки установлен оптический датчик (5) для регистрации выпавших семян из высевающего аппарата.

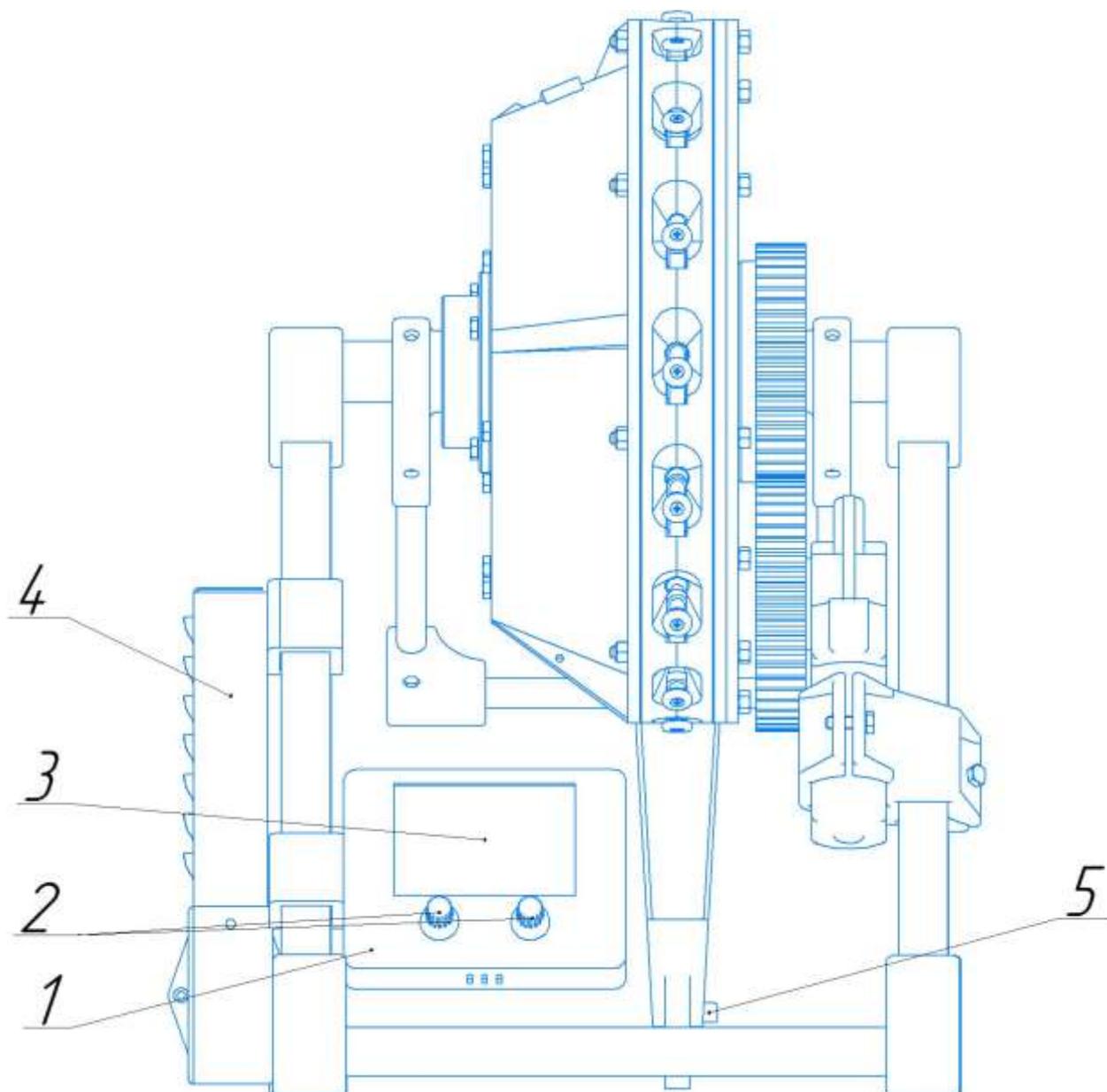


Рисунок 3.7 – Проекция вида спереди.

1 – Корпус контроллера с дисплеем; 2 – Потенциометры; 3 – Дисплей; 4 – Блок питания; 5 – Оптический датчик.

Регулировкой потенциометров R1, R2 представленной на рисунке 3.8 задается аналоговый сигнал, который поступает в контролер Arduino Nano, в контролере аналоговый сигнал преобразуется в ШИМ сигнал, цифровой сигнал от контроллера поступает на затвор транзисторов, к истоку транзистора подается отрицательный потенциал от блока питания на 12В V1, от стока транзисторов отрицательный потенциал преобразованный в ШИМ передается непосредственно на сами коллекторные моторы M1 и M2 постоянного тока. Частота вращения барабана и щетки отражателя регистрируется с помощью датчиков холла U1, U2. Данные с датчиков выводятся на TFT дисплей Display.

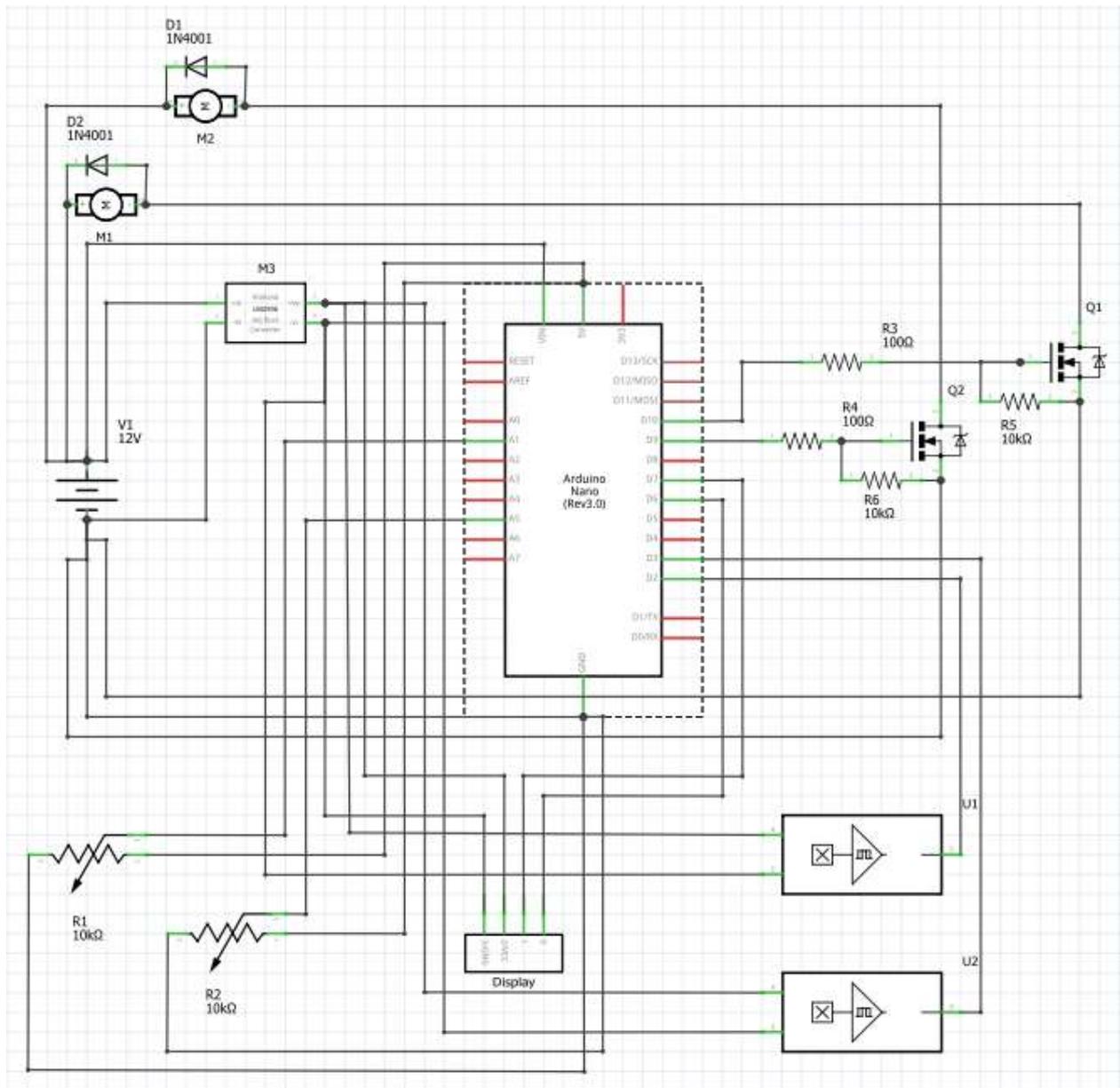


Рисунок 3.8 – Принципиальная схема электрооборудования лабораторной экспериментальной установки для определения параметров работы высевающего аппарата.

Для снятия показаний с датчика о высеве семян с барабанного высевающего аппарата лабораторной установки, используется отдельный контроллер Arduino Uno в паре с оптическим датчиком МЗ показан на рисунке 3.9. Данные с контроллера выводятся через COM port персонального компьютера и фиксируются значения в программе SFMonitor.

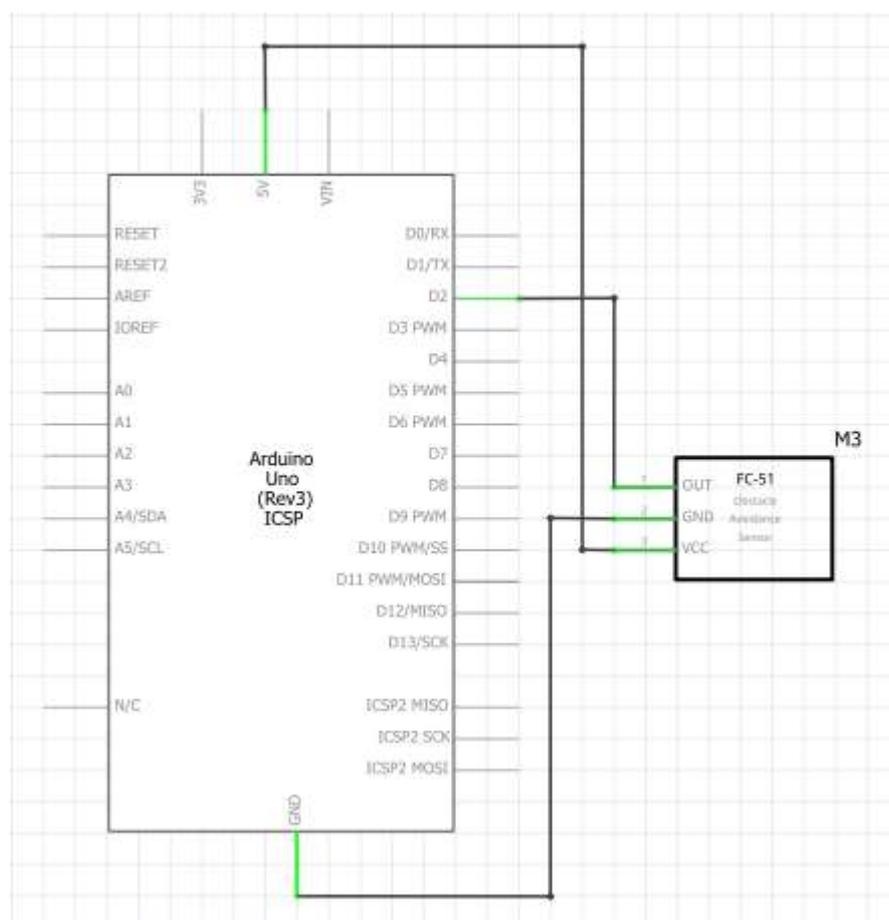


Рисунок 3.9 – Принципиальная схема контроллера с оптическим датчиком.

На рисунке 3.10 представлена собранная лабораторная экспериментальная установка для определения параметров высевающего аппарата пунктирного высева. Семена попадают в бункер через верхний отсек в корпусе высевающего аппарата. Мотор - редуктор вращаясь передает крутящий момент высевающему аппарату непосредственно через шестеренную передачу, параллельно подается

напряжение для вращения мотор - редуктора щётки отражателя против направления высевающего аппарата. При вращении высевающего аппарата семена внутри перемешиваются и под своим весом заполняют внутренние отверстия в высевающем барабане, ячейки в высевающем барабане выполнены в форме продолговатых углублений с повторением контура семян с расширением при входе и сужением на выходе для направления траектории выпадения семян с ячеек. Оставшиеся семена в ячейках поднимаются вверх по направлению вращения высевающего барабана. На определенном угле относительно оси вращения барабана закреплена щётка отражателя с мотор - редуктором, который, в свою очередь выталкивает оставшиеся семена из ячеек наружу и вычищает излишки семян вдоль ячеек. По всему внешнему периметру установлены подпружиненные клапана на ячейках, которые предотвращают преждевременные выпадения семян из отверстий. На наружной части клапанов зафиксированы постоянные магниты. Напротив щётки отражателя установлен механизм открывания клапана, в котором закреплены постоянные магниты.



Рисунок 3.10 - Общий вид собранной лабораторной установки высевающего аппарата.

Магнит механизма открывания закреплен напротив магнита клапана, противоположным полюсом относительно к магниту на клапане. В следствии этого, при вращении барабана, клапан притягивается к механизму открывания, с помощью силы магнитных полей действующих на него. Тем самым открывается ячейка, и зерно выпадает из высевающего аппарата, непременно попадает в воронку, проходит мимо оптического датчика, для регистрации высева. Код программы контроллера написан на языке программирования «С++» в среде Arduino IDE.

### 3.4 Общая методика обработки результатов экспериментальных исследований

Для формирования выявленных значений с лабораторных испытаний, данные обрабатывались в программе с математическим ядром, которая называется Statistica 13.3, она несёт в себе следующие математические операции такие как: выявление средне арифметического значения показанных данных, среднеквадратического отклонения, дисперсии, основного отклонения среднего арифметического значения, коэффициента вариации, а также показателя точности опыта с использованием методик и рекомендаций, которые приведены в известных источниках [52,53,54,55,56].

Общие и частные технологии исследования, которые применялись в вышеизложенных экспериментах, содействовали изучению и проведению опытов барабанного высевающего аппарата пунктирного высева, и упразднили сомнения о эффективности применения в производстве сельскохозяйственной продукции.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

### 4.1 Влияние кривизны ячеистой поверхности на западание семян

В ходе лабораторных изысканий было установлено, что форма, размеры, и кривизна ячеистой поверхности оказывает сильное влияние на одиночное западание семян в ячей высевающего аппарата. При лабораторных испытаниях, по проверке факта о зависимости кривизны ячеек к заполнению семенами, была проведена качественная и количественная оценка поверхностей ячеек, на относительных различных частотах вращения высевающего барабана, с различными формами поверхностей ячеек для определения вероятности западания.

Изменение процентного соотношения заполнения семян в зависимости от коэффициента кривизны ячеистой поверхности, и её скорости перемещения визуализированы графически на рисунке 4.1.

Коэффициент кривизны ячеистой поверхности является отношением диаметра ячейки  $d$  к радиусу высевающего барабана  $R_b$ :

$$\eta = \frac{d}{R_b} . \quad (4.1)$$



Рисунок 4.1 - Изменение процента заполнения (P) ячеек семенами в зависимости от коэффициента кривизны (η) ячеистой поверхности и скорости её относительного перемещения (V)

Отсюда следует, что коэффициент кривизны равен нулю в случае плоской ячеистой поверхности. Отрицательное значение коэффициента соответствует при вогнутой поверхности, при положительном значении - выпуклой.

Во время проведения опытов проходил высев семян на липкую ленту ячеистыми поверхностями с кривизной  $\rho_1 = +0,1 \text{ м}^{-1}$ ;  $\rho_2 = +0,07 \text{ м}^{-1}$ ;  $\rho_3 = 0 \text{ м}^{-1}$ ;  $\rho_4 = -0,07 \text{ м}^{-1}$ ;  $\rho_5 = -0,1 \text{ м}^{-1}$  с нижеследующими значениями скорости перемещения ячей относительно слоя семян:  $V_1 = 0,04 \text{ м} / \text{с}$ ;  $V_2 = 0,13 \text{ м} / \text{с}$ ;  $V_3 = 0,22 \text{ м} / \text{с}$ ;  $V_4 = 0,31 \text{ м} / \text{с}$ ;  $V_5 = 0,4 \text{ м} / \text{с}$ . Все результаты опытов показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты экспериментов по определению влияния коэффициента кривизны ячеистой поверхности и скорости ее перемещения на заполнение ячеек высевающего барабана.

№ опыта	Коэф. кривизны ячеистой поверхности	Скорость движения ячеистой поверхности, метр /сек	Заполнение ячеек высевающего барабана, процент
1	0,035	0,050	89,500
2	0,035	0,140	86,200
3	0,035	0,230	84,300
4	0,035	0,320	81,200
5	0,035	0,410	78,900
6	0,025	0,050	91,800
7	0,025	0,140	90,300
8	0,025	0,230	88,000

9	0,025	0,320	85,400
10	0,025	0,410	81,700
11	0,000	0,050	95,600
12	0,000	0,140	92,700
13	0,000	0,230	89,300
14	0,000	0,320	86,100
15	0,000	0,410	82,400
16	-0,025	0,050	97,500
17	-0,025	0,140	94,500
18	-0,025	0,230	90,600
19	-0,025	0,320	88,000
20	-0,025	0,410	85,200
21	-0,035	0,050	99,700
22	-0,035	0,140	97,100
23	-0,035	0,230	94,800
24	-0,035	0,320	93,000
25	-0,035	0,410	93,600

Полученные в результате расчётов поверхности отклика в факторном пространстве, из-за наложения ограничений на переменные, обладают условным максимумом и минимумом. Поверхности являются эллиптическими параболоидами, центры поверхностей расположены в области отрицательных скоростей перемещения ячеек относительно семян.

Уравнения регрессии, которые описывают данные поверхности, имеют следующий вид:

$$Y_{1G} = 94,308 - 168,65 \eta - 26,708 V - 15,28 \eta^2 - 18,643 \eta V - 7,937 V^2 \quad (4.2)$$

Для определения оптимального радиуса высевающего барабана селекционной сеялки, который будет соответствовать требованиям максимального процентного соотношения заполнения семян при высеве барабанного высевающего аппарата, во всем диапазоне скоростей относительного перемещения ячеистой поверхности (рабочих скоростей сеялки), был проведён некоторый анализ линий равных значений поверхностей отклика (рисунок 4.2).

Из результатов данного анализа были обозначены пределы допустимых значений радиуса высевающего барабана  $R = 0,9...0,15''$ .

Исходя из унификации конструктивных элементов высевающего аппарата, радиус высевающего барабана был взят за значение 0,11 метра, что в свою очередь, обеспечивает гарантированное западание 94,6 процентов исследуемых семян при относительной скорости  $V = 0,32''/с$ .

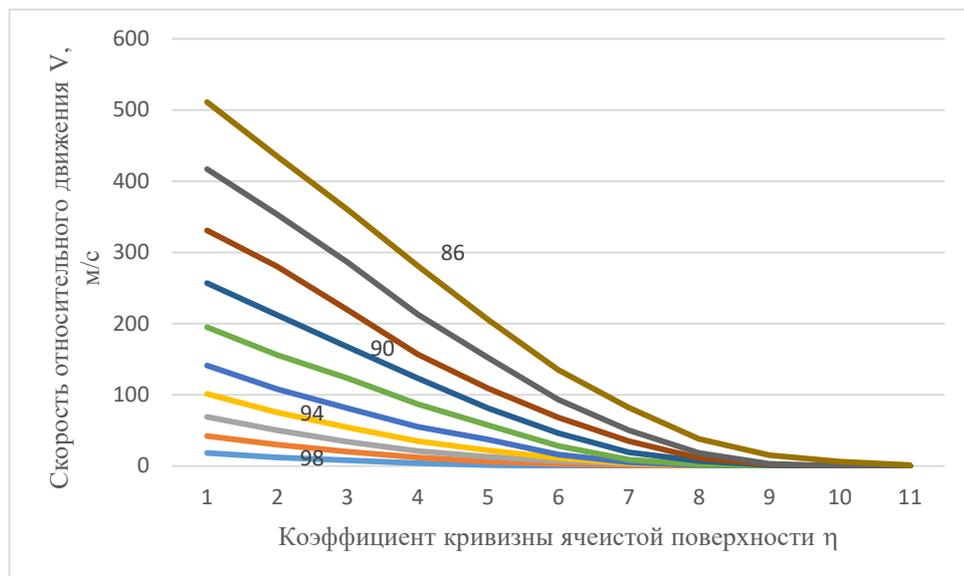


Рисунок 4.2 - Линии равных значений поверхностей отклика  $Y_1$  во время высева семян в зависимости от коэффициента кривизны ячеистой поверхности ( $\eta$ ) и скорости её относительного движения ( $V$ )

Необходимо обратить внимание на следующий факт, что показанные значения приведены из результатов лабораторных экспериментов для ячеек в форме цилиндра, без углублений на рабочей поверхности в виде фаски. В случае оптимизации формы ячеек рабочей поверхности высевающего аппарата, есть вероятность увеличения процентного заполнения, на относительных скоростях движения найденных в ходе исследований.

#### 4.2 Исследование влияния формы и размеров ячеек высевающего барабана на падение семян

Из анализа научно – теоретических изысканий, можно заметить что на процесс заполнения семян в ячейки сильное влияние оказывают геометрический профиль ячейки, и барабанного высевающего аппарата. Основными решающими факторами на заполнение ячеек, являются: диаметр ячейки, ее глубина, длина фаски на рабочей поверхности, угол наклона, скорость вращения барабана.

В данном случае, завершая отсеивающие эксперименты по насыщенным планам были выявлены факторы со значимыми коэффициентами корреляции к функции отклика, за которую принято единичное заполнение ячей семенами в процентах ( $Y_2$ ). Второй критерий оптимизации - процент пропусков в следствии невысева семян ( $Y_3$ ). В результате предварительных экспериментов стало известно, что самыми большими коэффициентами корреляции к данным функциям отклика являются факторы: глубина ячейки барабана ( $X_1$ ), диаметр ячеек ( $X_3$ ), длина фаски ( $X_4$ ), угол наклона фаски ( $X_7$ ). На рисунке 4.3 изображено влияние факторов на функцию единичного заполнения ячей барабана.

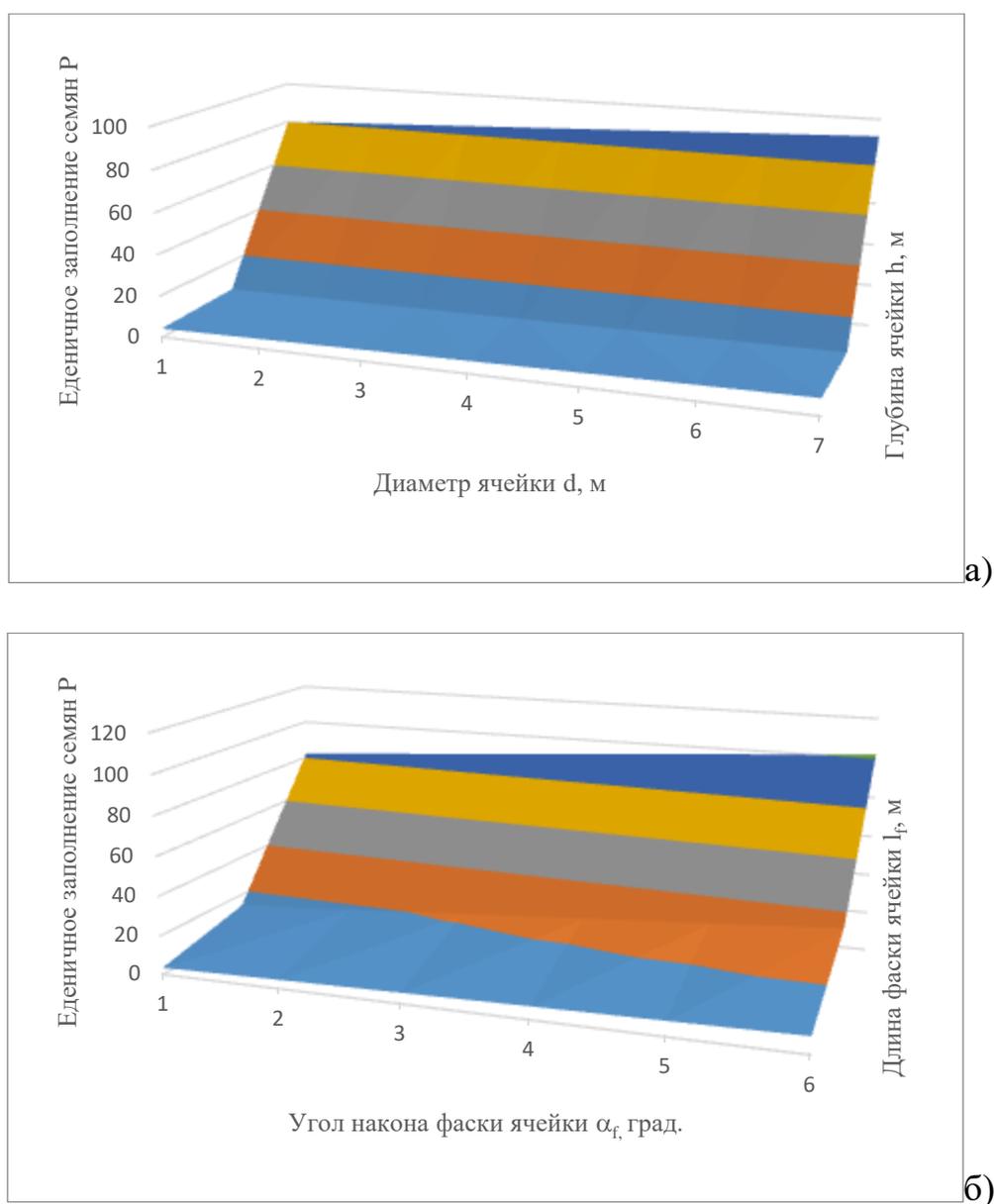


Рисунок 4.3 - Влияние диаметра ячейки ( $d$ ) и ее глубины ( $h$ ) на единичное заполнение ячейки ( $P$ ) семенами (а). Влияние угла наклона фаски ячейки ( $\alpha_f$ ) и ее длины ( $l_f$ ) на единичное заполнение ячеек ( $P$ ) семенами (б)

После завершения проведения операции по нелинейному приближению определены уровни значимости и величины коэффициентов регрессии уравнений второго порядка по вышеназванным функциям отклика  $Y_2$  и  $Y_3$  для скорости  $V_b = 2,4''/-$ . Исходя из всего этого, уравнения регрессии, которые представлены в именованных величинах, при показателях соответствия модели опытным данным не ниже 95,9 процента можно записать как:

$$Y_{2G} = 24,571 d - 0,566 \alpha_f - 0,418 h^2 - 1,546 d^2 + 0,208 h l_f + 0,096 h \alpha_f \quad (4.3)$$

$$Y_{3G} = -2,414 d + 4,134 l_f + 0,758 \alpha_f + 0,515 d^2 - 0,699 d l_f - 0,109 d \alpha_f \quad (4.4)$$

Уравнение регрессии, которое представлено в именованных величинах, при показателе соответствия модели опытным данным 98,24 процента можно записать как:

$$D_o = -1,06251 + 0,08585 h + 0,442317 d + 0,03328 l_f - 0,00915 h^2 - 0,02849 d^2 - 0,00004 \alpha_f^2 + 0,000416 h \alpha_f - 0,00463 d l_f . \quad (4.5)$$

Оптимальные значения факторов были определены решением системы уравнений, которые были получены после приравнивания к нулю первой производной обобщенной функции желательности по каждому из переменных  $X_i$ .

В этом случае система дифференциальных уравнений, которая была получена из уравнения регрессии (4.5) записывается как:

$$\begin{cases} \frac{\partial D_o}{\partial h} = -0,08585 - 0,0183 h + 0,000416 \alpha_f = 0 \\ \frac{\partial D_o}{\partial d} = 0,442317 - 0,05698 d - 0,00463 l_f = 0 \\ \frac{\partial D_o}{\partial l_f} = 0,03328 - 0,00463 d = 0 \\ \frac{\partial D_o}{\partial \alpha_f} = 0,000416 h - 0,00008 \alpha_f = 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Решение данной системы уравнений способствовало получению следующих значений факторов, которые были оптимизированы по комплексному показателю качества протекания процесса западания семян в ячеи высевающего барабана, для

средней скорости вращения барабана  $\omega_b = 2,4c^{-1}$ : глубина ячейки  $h = 5,59\text{мм}$ , диаметр ячейки  $d = 6,47\text{мм}$ , длина фаски  $l_f = 7,083\text{мм}$ , угол наклона фаски  $\alpha_f = 28,57$ .

Отсюда следует то, что полученные значения варьируемых факторов позволяют обеспечить допустимый и хороший уровень качества ( $D_o = 0,912$ )

Отсюда следует, что, заметного прироста коэффициента высева семян пунктирным способом, можно достичь, применив дополнительный узел в конструкции высевающего аппарата – роторный щёточный отражатель семян, обоснование режимов работы и конструктивных параметров приведены в следующем разделе.

#### 4.3 Определение параметров роторного щеточного отражателя семян

При проведении научных изысканий был выявлен следующий факт, что щёточный отражатель очищает лишние семена вокруг рабочих поверхностей ячеек, перемешивает слои семян между собой, и выполняет функцию выталкивания семян через ячейки барабанного высевающего аппарата. Следует заметить, что добавление дополнительного узла барабанного высевающего аппарата, привело к необходимости обоснования конструктивных параметров и режимов работы роторного щёточного отражателя, таких как: частота вращения, диаметр, площади контакта ворса щётки с рабочей поверхностью высевающего аппарата, угол расположения щётки отражателя относительно к вертикальной оси барабана. А так же параметры, которые дают характеристику ворса щётки: материал изготовления, длина ворса, эластичность, густота.

Из проведённых опытов было выявлено, что параметры ворса щётки – отражателя определены размерами высеваемых культур, ворс должен иметь определенную густоту, что бы исключить застревание семян в щётке, и обеспечивался постоянный контакт с рабочей поверхностью высевающего аппарата, независимо от скорости вращения в пределах допустимой нормы.

В ходе экспериментов с мелкосемянными культурами, показаны наихудшие результаты по сравнению с другими культурами, предъявляются наиболее жёсткие

условия к конструктивным параметрам щётчного отражателя. Из вышеизложенного следует, что рациональным решением является оптимизация конструктивных параметров роторного - отражателя, при высеве мелкосеменных культур как рапс, сорго, просо и др.

Более того, во время оптимизации процесса очистки было произведено априорное ранжирование факторов, которые существенно влияют на его качество. В ходе процесса было доподлинно определено, что факторами наиболее плотно коррелирующими к целевой функции, которая представляет собой одиночное нахождение семян в ячейке к моменту сброса, являются: диаметр отражающего ролика ( $x_{11}$ ); кинематический коэффициент, который представляет собой соотношение скорости вращения роторного отражателя к скорости вращения высевающего барабана ( $x_{12}$ ); площадь контакта ворса с ячеистой поверхностью барабана, выражаемая радиальным перемещением центра вращения отражателя от центра вращения барабана ( $x_{15}$ ); угол установки центра вращения отражателя относительно вертикальной оси вращения высевающего барабана ( $x_{17}$ ). Все эти конструктивные параметры, соответственно  $D_r$ ,  $\lambda_r$ ,  $\Delta_r$  и  $\gamma_r$  изображены на рисунке 4.4.

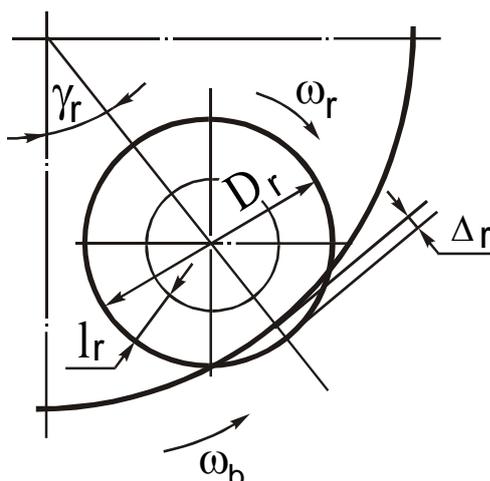


Рисунок 4.4 - К определению конструктивных параметров роторного щеточного отражателя

Линейный корреляционный анализ научно-экспериментальных данных, по выявлению степени влияния каждого фактора указал на то, что все факторы довольно значимы. Самую главную степень влияния на одиночное западание семян имеет величина прижатия ворса ( $x_{15}$ ), незначительно меньшая степень влияния на функцию отклика определена у фактора, который определяет диаметр роторного отражателя ( $x_{11}$ ).

Для того чтобы выявить оптимальные значения факторов, которые определяют конструктивные параметры щеточного отражателя, по экспериментальным данным была сконструирована математическая модель в виде уравнения второго порядка, используя метод нелинейного приближения и способу наименьших квадратов.

Более того, правильность предсказания математической модели находится на уровне 84,8 процента, а уравнение после подстановки именованных величин факторов можно записать в следующем виде:

$$Y_5 = 94,8468 - 0,02439 d_r + 1,8094 \Delta_r - 0,18963 \Delta_r^2 + 0,044482 \lambda_r \gamma_r \quad (4.7)$$

Анализ уравнения регрессии был произведен с помощью графоаналитического метода. Дифференцированием уравнения (4.7) по переменной  $\Delta_r$  и приравниванием первой производной нулю найдено оптимальное значение величины прижатия  $\Delta_r = 4,77$  миллиметра. Отсюда следует, что после подстановки в уравнение (4.7) фиксированных значений факторов  $x_{11} = 80$  миллиметров;  $x_{12} = 1,5$ ;  $x_{15} = 4,77$  миллиметров;  $x_{17} = 45^\circ$  были построены трехмерные графики, которые определяют зависимость процента заполнения ячеек семенами рапса (рисунки 4.5 - 4.8).

С помощью анализа данных зависимостей получилось выявить области оптимальных значений факторов, при которых функция отклика – процент заполнения ячеек высевающего барабана одиночными семенами – является максималь-

ной. После этого были получены такие значения факторов: диаметр роторного отражателя  $d_r = 95$  миллиметров; кинематический коэффициент частоты вращения роторного отражателя  $\lambda_r = 1,57$ ; поджатие ворса  $\Delta_r = 4,77$  миллиметра; угол установки роторного отражателя  $\gamma_r = 41^\circ$ .

Все полученные опытные значения конструктивных параметров неплохо согласованы с теоретическими данными. При подстановке в расчетные уравнения стрелы прогиба щетинок ворса значение модуля упругости материала (капрон) определена величина прижатия  $\Delta_r = 4,5$  миллиметра для диаметра отражателя  $d_r = 95$  миллиметров. Более того, значение угла установки роторного отражателя определённо зависит от значений коэффициентов внутреннего, внешнего трения семян и угла естественного откоса. А также для выявления фиксированных значений угла установки отражателя был проведён ряд проверочных испытаний высевающего аппарата при одиночном отборе других культур.

Из однофакторных экспериментов были получены значения углов установки роторного отражателя, при максимальных значениях процента заполнения ячеек с соответствующими параметрами, для семян гречихи, проса, подсолнечника, клевера и люцерны. По полученным из научных опытов данным были построены графики (рисунок 4.8) и выявлены оптимальные значения углов для установки роторного отражателя при высеве мелкогазмерных семян и семян сложной формы.

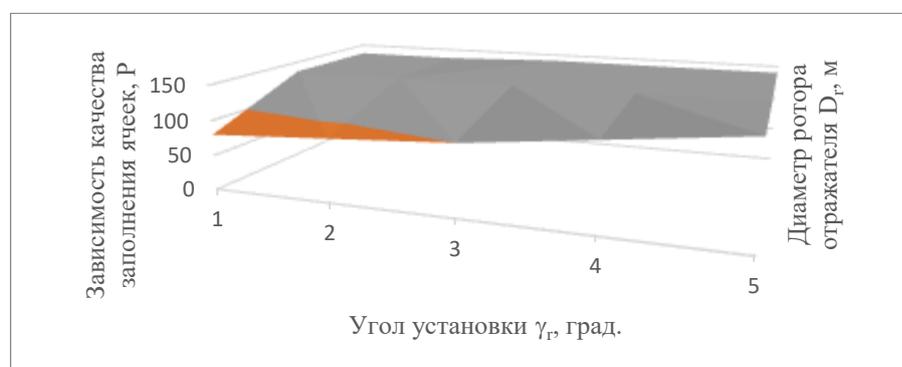


Рисунок 4.5 - Зависимость качества заполнения ячеек (Р) одиночными семенами от угла установки ( $\gamma_r$ ) и диаметра ротора отражателя ( $D_r$ )

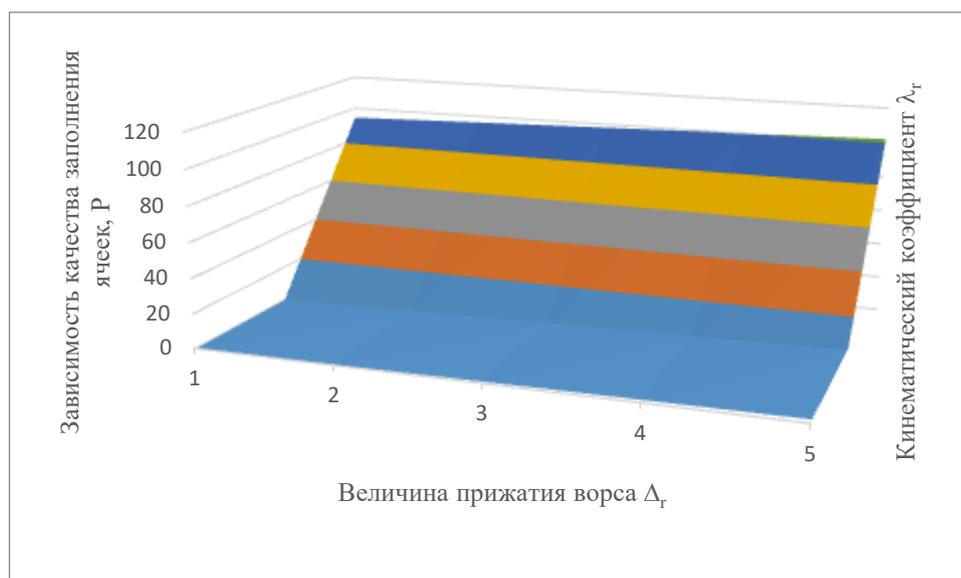


Рисунок 4.6 - Зависимость качества заполнения ячеек (Р) одиночными семенами от величины прижатия ворса ( $\Delta_r$ ) и кинематического коэффициента ( $\lambda_r$ )

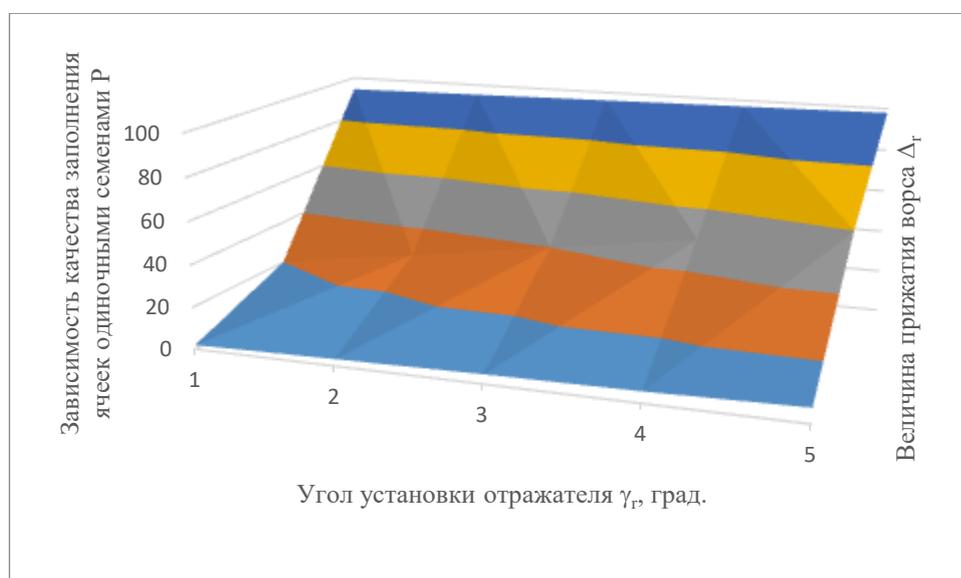


Рисунок 4.7 - Зависимость качества заполнения ячеек (Р) одиночными семенами от величины прижатия ворса ( $\Delta_r$ ) и угла установки отражателя ( $\gamma_r$ )

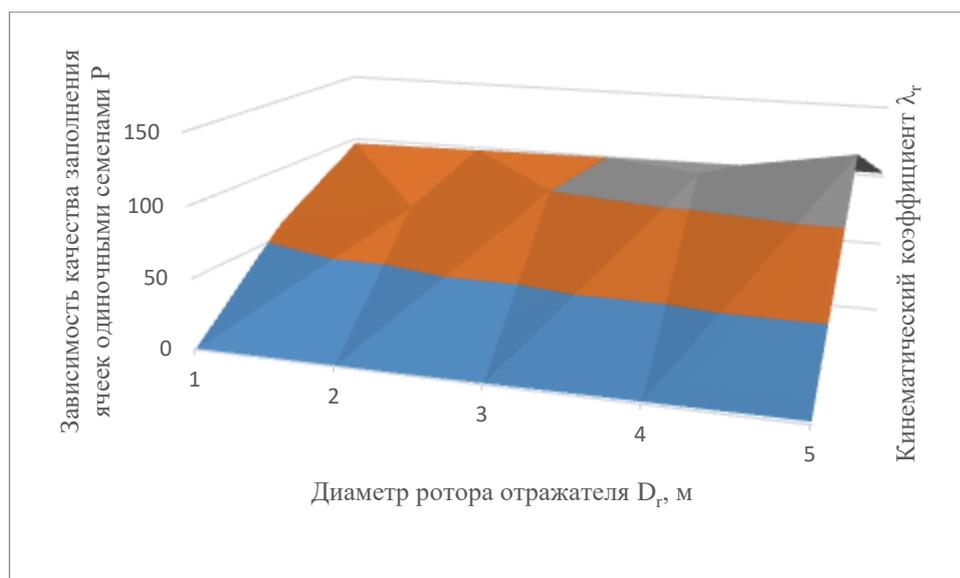


Рисунок 4.8 - Зависимость качества заполнения ячеек (Р) одиночными семенами от кинематического коэффициента ( $\lambda_r$ ) и диаметра ротора отражателя ( $D_r$ )

Значение угла установки оси отражателя относительно оси вращения высевающего барабана составило  $54^0$ .

Обобщая информацию, полученную в результате экспериментов по уточнению параметров роторного щеточного отражателя были определены оптимальные конструктивные размеры и регулировки, которые позволяют получить высокий процент одиночного высева для семян.

#### 4.4 Определение угла установки роторного щеточного отражателя

При проведении научных изысканий, проводилась работа на выявления качества работы щётки – отражателя ( влияние крепления угла мотор – редуктора щётки при высеве семян различных культур на параметры слоя и длины зоны заполнения). По результатам экспериментов, которые были изложены в разделе 4.3, были определены предельные значения установки углов, для семян различных культур. Семена обладающей сложной геометрической формой ( подсолнечник, гречиха,) принимают следующие значения крепления щётки относительно оси 36, и 40 соответственно, для мелкосемянных культур (просо и рапс) – 43 и 47 градусов.

Для упрощения технологического процесса настройки под различные виды культур семян, был исследован параметр позволяющий установить угол крепления мотор – редуктора с щёткой – отражателем на едином углу относительно вертикальной оси высевающего барабана равному 35 градусам. В результате установился следующий факт, при высеве культур со сложной геометрической формой семян, работа роторного отражателя усложняется (щётка работает в слое семян, а не по кромке слоя). Снижения процента выпадения семян из ячеек не происходит, так как угол на котором закреплена щётка – отражатель, лишь незначительно уменьшает зону заполнения семян, которая определена по вышеизложенной величине в разделе 4.3.

#### 4.5 Травмирование семян высевающим аппаратом.

Исходя из результатов лабораторных исследований, было установлено что барабанный высевающий аппарат обладает минимальным травмированием семян при высеве. Количественный прирост травмированных семян из средней навески, по наблюдениям составляла не более 3,1 %.



Рисунок 4.9 – Проведение лабораторных испытаний на травмируемость семян с катушечным высевающим аппаратом.

Для сравнения результатов травмирования был выбран катушечный высевочный аппарат с селекционной сеялкой СФС – 2 «Хараша» показан на рисунке 4.9, при высеве с данного высевочного аппарата, по результатам анализов сделанные в лаборатории агрономического факультета КГАУ, механическое воздействие на семена составило более 25% от общего количества. В таблице 4.2 приведены результаты с трёх образцов обследованных фракций семян. Под позицией номер 1 – данные с результатов катушечного высевочного аппарата, номер 2 – чистые (целые) семена, номер 3 – семена из барабанного высевочного аппарата.



Рисунок 4.10 – Проведение экспериментов на лабораторной установке с барабанным высевочным аппаратом.

Таблица – 4.2 Результаты определения травмированности семян (% от общего количества семян)

Типы повреждения семян	Номер образца		
	1	2	3
Целые семена	41,5	69,8	66,7
Повреждение оболочки над эндоспермом	15,9	6,7	10,4
Повреждение оболочки над зародышем	5,0	-	3,3
Повреждение оболочки над хохолком	43,1	14,3	23,3

Перед проведением эксперимента установлена относительная влажность семян. Она составила не более 18%. Низкая травмируемость семян в отличии от катушечного высевяющего аппарата сеялки СФС – 2, объясняется тем, что в барабанном высевяющем аппарате исключена возможность зажима семян пластиковыми элементами конструкции.

#### 4.6 Технические характеристики экспериментальной секции барабанного высевяющего аппарата пунктирного посева.

Конструкция предназначена для определения параметров посева и режимов работы барабанного высевяющего аппарата. С возможностью посева семян разных фракций. В таблице приведены технические характеристики разработанной конструкции.

Таблица 4.3 – Технические характеристики лабораторной установки с барабанным высевающим аппаратом пунктирного высева .

1. Тип высевающего аппарата	барабанный, пунктирного высева
2. Привод высевающего аппарата	электронный, с двигателем постоянного тока
3. Регулировка нормы высева	программная настройка
4. Виды высеваемых культур	зерновые, масличные
5. Требуемое напряжение электрооборудования трактора	12...24В
6. Вывод информации	на TFT дисплей

Удачным моментом данной конструкции является то, что сеялка имеет минимальное количество передач и подвижных элементов; КПД такой сеялки высок; в процессе работы сеялки семена практически не подвержены механическим повреждениям.

#### 4.7 Выводы по разделу.

Проведя тщательный анализ всего выше написанного, а также взяв во внимание результаты лабораторных, можно прийти к следующим выводам:

После проведения лабораторных исследований на тему воздействия формы и размеров ячеек барабана на качество западания семян было выявлено наиболее положительное западание одиночных семян (около 92%), при наиболее низком показателе пропуска в 2% и двоичного высева в 3%. Такое западание было достигнуто при отношении средних размеров семян к глубине ячейки 0,790; к диаметру ячеек 0,629; к длине фаски 1,334.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИВОДСТВУ

### 5.1 Расчёт массы и стоимости конструкции барабанной сеялки

Масса конструкции определяется по формуле:

$$G = (G_k + G_r) \cdot K \quad (5.1)$$

где  $G_k$  – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг;

$G_r$  – масса готовых деталей, узлов и агрегатов, кг;

$K$  – коэффициент, учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкции монтажных материалов ( $K=1,05\dots 1,15$ ).

Масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчёт массы сконструированных деталей.

№ пп	Наименование деталей.	Объём деталей, см <sup>3</sup> .	Удельный вес, кг/дм <sup>3</sup>	Масса одной де- тали, кг.	Количество деталей.	Общая масса деталей, кг
1	Рама	165,82	0,78	130	1	130
2	Щёточные от- ражатели	0,22	1,78	0,4	4	1,6
3	Пластик	2,51	2,78	7	1	7
4	Крышка боко- вая	2,64	3,78	10	2	20
5	Ось	2,93	4,78	14	1	14
6	Вал	1,04	5,78	6	1	6
7	Магнит	0,07	6,78	0,5	4	2
8	Пружины сжа- тия	0,01	7,78	0,1	4	0,4
9	Привод отража- телей	0,82	8,78	7,2	1	7,2
Итого:						188,2

Масса покупных деталей и цены на них представлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Масса покупных деталей и цены.

№ пп	Наименование деталей	Количество	Масса, кг		Цены, руб	
			Одной	Всего	Одной	Всего
1	Болты	58	0,01	0,58	1,1	63,8
2	Гайки	56	0,013	0,728	0,8	44,8
3	Шайбы	24	0,012	0,288	0,5	12
4	Подшипники	2	0,2	0,4	250	500
5	Моторы	2	0,5	1	1500	3000
6	Микроконтроллер	1	0,01	0,01	3500	3500
Итого:			3,0		7120,6	

Определим массу конструкции по формуле 5.1, подставив значения из таблиц 5.1 и 5.2:

$$G = (188 + 3) \cdot 1,15 = 220 \text{ кг}$$

Определение балансовой стоимости новой конструкции производится на основе сопоставления ее отдельных параметров по расчетно-конструктивному способу с использованием среднеотраслевых нормативов затрат на 1 кг. массы:

$$C_{\text{б}} = [G_{\text{к}} \cdot (C_{\text{з}} \cdot E + C_{\text{м}}) + C_{\text{пд}}] \cdot K_{\text{нац}} \quad (5.2)$$

где  $G_{\text{к}}$  – масса конструкции без покупных деталей и узлов, кг;

$C_{\text{з}}$  – издержки производства приходящиеся на 1 кг. массы конструкции, руб.  
( $C_{\text{з}}=0,7...4,95$ );

$E$  – коэффициент измерения стоимости изготовления машин в зависимости от объема выпуска (так как конструкция является штучным производством, принимаем  $E=2,5$ );

$C_{\text{м}}$  – затраты на материалы, приходящиеся на 1 кг массы машин, руб./кг.  
( $C_{\text{м}}=1,68...4,65$ );

$C_{\text{пд}}$  – дополнительные затраты на покупные детали и узлы, руб.;

$K_{\text{нац}}$  – коэффициент, учитывающий отклонение прейскурантной цены от балансовой стоимости ( $K_{\text{нац}} = 1,15 \dots 1,4$ ).

$$C_6 = (188 \cdot (4,50 \cdot 2,50 + 4,50) + 7121) \cdot 1,40 = 14119 \text{ руб.}$$

## 5.2 Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение

Прежде чем приступить к расчету технико-экономических показателей, приведём исходные данные (см. таблицу 5.3)

Таблица 5.3 - Исходные данные сравниваемых конструкций

Наименование	Проектируемой	Базовой
Масса конструкции (3 конструкции в агрегате, кг)	220	250
Балансовая стоимость, руб.	14119	16500
Расход топлива, л/час	7,8	9
Часовая производительность, ед/ч	2,3	2,2
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Разряд работы	IV	IV
Тарифная ставка, руб./ч.	215	215
Норма амортизации, %	7	7
Норма затрат на ремонт ТО, %	8	8
Годовая загрузка конструкции, ч	85	85

С помощью этих данных рассчитываются технико-экономические показатели эффективности конструкции, и дается их сравнение.

При расчетах показатели базового (существующего) варианта обозначаются как  $X_0$ , а проектируемого как  $X_1$ .

Энергоемкость процесса определяют из выражения:

$$\mathfrak{E}_e = \frac{N_e}{W_z} \quad (5.3)$$

где  $N_e$  – потребляемая конструкцией мощность, кВт;

$W_z$  – часовая производительность конструкции; ед./ч.

Подставив значения в формулу (5.3) получим:

$$\mathcal{E}_{e0} = \frac{9}{2,2} = 4,09 \text{ кВт}\cdot\text{ч/ед}$$

$$\mathcal{E}_{e1} = \frac{7,8}{2,3} = 3,39 \text{ кВт}\cdot\text{ч/ед}$$

Металлоемкость процесса определяют по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_z \cdot T_{\text{год}} \cdot T_{\text{сл}}} \quad (5.4)$$

где  $G$  – масса конструкции, кг;

$T_{\text{год}}$  – годовая загрузка конструкции, час;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы конструкции, лет

$$M_{e0} = \frac{250}{2,2 \cdot 85 \cdot 3} = 0,4456 \text{ кг/ед.}$$

$$M_{e1} = \frac{220}{2,3 \cdot 85 \cdot 3} = 0,3749 \text{ кг/ед.}$$

Фондоёмкость процесса определяют по формуле:

$$F_e = \frac{C_6}{W_z \cdot T_{\text{год}}} \quad (5.5)$$

$$F_{e0} = \frac{16500}{2,2 \cdot 85} = 88,235 \text{ руб/ед.}$$

$$F_{e1} = \frac{14119}{2,3 \cdot 85} = 72,218 \text{ руб/ед.}$$

Трудоёмкость процесса определяют по формуле:

$$T_e = \frac{n_p}{W_z} \quad (5.6)$$

где  $n_p$  – количество рабочих, чел.

$$T_{e0} = \frac{1}{2,2} = 0,45455 \text{ чел ч/ед}$$

$$T_{e1} = \frac{1}{2,3} = 0,43478 \text{ чел ч/ед}$$

Себестоимость работы определяют по формуле:

$$S = C_{зп} + C_{э} + C_{рто} + A \quad (5.7)$$

где  $C_{зп}$  – затраты на оплату труда, руб/ед;

$C_{рто}$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб/ед;

$C_{э}$  – затраты на электроэнергию, руб/ед;

$A$  – амортизационные отчисления, руб/ед.

Затраты на заработную плату определяют по формуле:

$$C_{зп} = Z \cdot T_e \quad (5.8)$$

где  $Z$  - часовая тарифная ставка, руб/ч:

$$C_{зп0} = 215 \cdot 0,45455 = 97,73 \text{ руб./ед.}$$

$$C_{зп1} = 215 \cdot 0,43478 = 93,48 \text{ руб./ед}$$

Затраты на ТСМ определяют по формуле:

$$C_{э} = Эе * Ц_{тсм}; \quad (5.9)$$

где  $C_{\text{тсм}}$  - комплексная цена за топливо, руб./литр.

$$C_{\text{э0}} = 43 \cdot 4,09 = 175,91 \text{ руб./ед.}$$

$$C_{\text{э0}} = 43 \cdot 3,39 = 145,83 \text{ руб./ед.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяют по формуле:

$$C_{\text{рто}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot N_{\text{рто}}}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}} \quad (5.10)$$

где  $N_{\text{рто}}$  - суммарная норма затрат на ремонт и техобслуживание, %.

$$C_{\text{рто0}} = \frac{16500 \cdot 8}{100 \cdot 2,2 \cdot 85} = 7,0588 \text{ руб./ед.}$$

$$C_{\text{рто1}} = \frac{14119 \cdot 8}{100 \cdot 2 \cdot 85} = 5,7775 \text{ руб./ед.}$$

Затраты на амортизационные отчисления определяют по формуле:

$$A = \frac{C_{\text{б}} \cdot a}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}} \quad (5.11)$$

где  $a$  - норма амортизации, %.

$$A_0 = \frac{16500 \cdot 7}{100 \cdot 2,2 \cdot 85} = 6,1765 \text{ руб./ед.}$$

$$A_1 = \frac{14119 \cdot 7}{100 \cdot 2,3 \cdot 85} = 5,0553 \text{ руб./ед.}$$

Полученные значения подставим в формулу 5.7:

$$S_0 = 97,73 + 175,91 + 7,05882 + 6,1765 = 286,87 \text{ руб./ед.}$$

$$S_1 = 93,48 + 145,83 + 5,77745 + 5,0553 = 250 \text{ руб./ед.}$$

Приведённые затраты определяют по формуле:

$$C_{\text{прив}} = S + E_{\text{н}} \cdot F_{\text{е}} = S + E_{\text{н}} \cdot k \quad (5.12)$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_{\text{н}} = 0,1$ );

$F_{\text{е}}$  – фондоемкость процесса, руб./ед;

$k$  – удельные капитальные вложения, руб./ед.

$$C_{\text{прив}0} = 286,87 + 0,1 \cdot 88,235 = 295,7 \text{ руб./ед.}$$

$$C_{\text{прив}1} = 250,14 + 0,1 \cdot 72,218 = 257,36 \text{ руб./ед.}$$

Годовую экономию определяют по формуле:

$$E_{\text{год}} = (C_{\text{прив}}^0 - C_{\text{прив}}^1) \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}} \quad (5.13)$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (286,87 - 250,14) \cdot 2,3 \cdot 85 = 7182 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (S_0 - S_1) \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}} \quad (5.14)$$

$$E_{\text{год}} = (295,70 - 257,36) \cdot 2,3 \cdot 85 = 7495 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определяют по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{б1}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}} \quad (5.15)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{14119}{7182} = 1,9659 \text{ лет}$$

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений определяют по формуле:

$$E_{\text{эф}} = \frac{\text{Э}_{\text{год}}}{C_6} \quad (5.16)$$

$$E_{\text{эф}} = \frac{7182}{14119} = 0,51$$

Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции показаны в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции

№ пп	Наименование показателей	Базовый	Проект	Проект в % к базовому
1	Часовая производительность, ед/ч	2,2	2,3	105
2	Фондоёмкость процесса, руб./ед	88,2353	72,2182	82
3	Энергоёмкость процесса, кВт./ед.	4,0909	3,3913	83
4	Металлоёмкость процесса, кг/ед.	0,4456	0,3749	84
5	Трудоёмкость процесса, чел*ч/ед.	0,4545	0,4348	96
6	Уровень эксплуатационных затрат, руб./ед.	286,87	250,14	87
7	Уровень приведённых затрат, руб./ед.	295,70	257,36	87
8	Годовая экономия, руб./ед.	7181,61		
9	Годовой экономический эффект, руб.	7494,75		
10	Срок окупаемости капитальных вложений, лет	1,97		
11	Коэффициент эффективности капитальных вложений	0,51		

Как видно из таблицы 5.4 спроектированная конструкция является экономически эффективной, так как срок окупаемости: 1,97 года, и коэффициент эффективности равен: 0,51.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Методы, которые были использованы в данной исследовательской работе, предоставили возможность провести доскональное исследование и испытания высевающего аппарата. В настоящей работе в том числе было принято решение по вопросу, который касался необходимости и эффективности использования данного аппарата в процессе производства сельскохозяйственной направленности.

Были приняты способы, позволяющие произвести увеличение номенклатуры техники и запасных частей, изготовленных на предприятиях Республики Татарстан. На территории Республики Татарстан существует необходимость в создании специальной программы, направленной на переоснащение сельского хозяйства, что в свою очередь обуславливает потребность заключения договоров на поставку зарубежной техники. Подобный действия приведут к положительным изменениям в сфере ведения сельскохозяйственного производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После проведения лабораторных исследований было доказано воздействие показателя кривизны ячеистой поверхности на вероятность заполнения ячеек высевающего барабана. Для наиболее эффективного западания семян необходимо, чтобы поверхность имела вогнутую форму. Установленный в результате работы радиус барабана (0,1 метр) оказывает положительное влияние на западание семян на скоростях вращения высевающего барабана, и соответствует поступательной скорости движения аппарата (6,7... 8, 3 километров/ час).

2. Процесс западания сопровождается относительным движением семян, направленным, в сторону, противоположную вращению барабана, наименьшего — аппараты, у которых относительная скорость семян равна по величине скорости вращения барабана и совпадает с ней по направлению.

3. После проведения лабораторных исследований на тему воздействия формы и размеров ячеек барабана на качество западания семян было выявлено наиболее положительное западание одиночных семян (около 92%), при наиболее низком показателе пропуска в 2% и двоичного высева в 3%. Такое западание было достигнуто при отношении средних размеров семян к глубине ячейки 0,790; к диаметру ячеек 0,629; к длине фаски 1,334.

4. В 4 разделе преподносятся данные, из которых можно понять, что заметного прироста коэффициента высева семян пунктирным способом, можно достичь, применив дополнительный узел в конструкции высевающего аппарата — роторный щёточный отражатель семян.

5. Высокий уровень увеличения показателей качества одиночного отбора семян анализируемым высевающим аппаратом может быть достигнут посредством использования роторного щёточного отражателя с капроновым ворсом, расположенным в рабочей полости аппарата. Наиболее удачный диаметр роторного щёточного отражателя определяется 105 миллиметрами при показателе угла установки отражателя 25 – 40 градусов. Густоте ворса определено следует быть

$2 \cdot 10^{-8}$  штук/м<sup>2</sup> и выше. Величина прижатия ворса к рабочей поверхности должна находиться в диапазоне 3 – 5 миллиметров. Отношение скорости вращения к барабану должны быть равно 1,7. При данных показателях возможно получить показатель в 98,6% одиночного отбора семян ячеистой рабочей поверхностью.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Рудаков Г.М. Технологические основы механизации посева хлопчатника. - Ташкент: Изд. «ФАН» Узбекской ССР, 1974. - 245 с.
2. Будагов А.А. Точный посев на высоких скоростях. - Краснодар: Краснодарское кн. издательство, 1971. - 139 с.
3. Комаристов В. Е. Косинов М.М., Факаду К.Х. Исследование зерновых сеялок на высева семян люцерны // Мех. и электриф. сел. хоз-ва. - 1996, № 2. С. 27-28.
4. Нанаенко А.Н., Локтионов Г.Г. Еремченко В.В. Высев семян люцерны овощными сеялками // Техника в сел. хоз-ве. - 1987. - №4. С. 17-18.
5. Сеялка модели «Monocenter» // Проспект фирмы «Fahse» ФРГ. 1996.
6. Кочев В.И. Шумляк Н.И. Исследование пневматических высевающих аппаратов для посева семян люцерны // Землед. механика и прогр. урожая. - Волгоград, 1990. С. 159-160.
7. Кришталь Т.Е. Элементы теории отражающих устройств вертикально-дисковых высевающих аппаратов. / Исследование и изыскание новых рабочих органов сельскохозяйственных машин. - М., 1973. Вып. 10, с. 18-26 (ВИСХОМ и Укр. НИИСХОМ)
8. Волик А.Ф. Селивестров В.Е. Исследование работы ролика - чистика свекловичной сеялки 2СТСН-6А / Перспективы механизации уборки сахарной свеклы. -Днепропетровск: Изд. НТО Машпром, 1969. С. 35-36.
9. Волик А.Ф., Селивестров В.Е., Колотец В.П. Обоснование места установки ролика - чистика вертикально-дискового высевающего аппарата сеялки точного высева // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. Вып. 3. - Киев: Техника, 1973. С. 44-46.
10. Бузенков Г.М., Ма С.А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. - М.: Машиностроение, 1976. - 271 с.

11. Васильковский М.И. и др. Теоретические предпосылки для выбора параметров вертикально-дискового высевающего аппарата с отражающим роликом // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. Вып. 6. - Киев: Техника, 1976. С. 14-16.
12. Шмат С.И., Комаристов В.Е. Исследование работы отражателя семян в свекловичных аппаратах точного высева. // Тракторы и сельхозмашины, - 1971, № 3. С. 24-25.
13. Кришталь Т.Е. Исследование высевающего аппарата свекловичных сеялок с целью повышения качества его работы при точном высеве обычных и дражированных семян: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Харьков, 1978. - 20 с.
14. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. - М., Л.: Сельхозиздат, 1940. - 814 с.
15. Басин В.С. Элементы теории процесса точного высева // Сб. науч. тр. / Укр. НИИСХОТ. - 1965. - Вып. 2.
16. Бондаренко Н.Г. Исследование процессов точного высева семян пропашных культур: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Киев, 1961.
17. Бондаренко П.М. Исследование процесса высева клещевины дисковым аппаратом: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Волгоград, 1982.
18. Бузенков Г.М., Ма С.А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. - М.: Машиностроение, 1976. - 271 с.
19. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. - Киев: Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1960. - 283 с.
20. Гайнанов Х.С., Гайнутдинов Д. А., Назипов А. М., Яппаров Ф. Х. Некоторые результаты исследования процесса движения сыпучих материалов по вращающейся вертикальной трубе // Совершенствование методов эксплуатации и технического обслуживания машинно-тракторного парка / Труды Горьковского СХИ. Т. 61, С. -92-96.

21. Кормициков А. Д. Теоретическое исследование работы центробежных дисковых аппаратов при внесении удобрений на склонах // Конструирование и испытания машин для внесения минеральных удобрений / Тезисы республиканской научно-технической конференции. - Уфа: Башкирский з-д с.-х. машин, 1988. С.23.
22. Липин В.Д. Обоснование параметров и совершенствование вертикально-дискового аппарата для высева семян сои: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - М., 1993.
23. Лисицын Н.И. Исследование процесса высева крупносеменных культур вертикально-дисковым высевающим аппаратом: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Краснодар, 1971.
24. Макаров С. А. Обоснование типа, формы и размеров ячеек высевающих дисков точного высева на повышенных скоростях движения / Доклады ТСХА. - 1963 .№ 81. - С.35-43.
25. Никитин С.П. Расчет некоторых конструктивных параметров высевающего аппарата для мелкосеменных культур // Совершенствование рабочих органов с.-х. машин. - Киев, 1988 . С. 72-79.
26. Попандопуло К.Х. Исследование процесса высева семян подсолнечника дисковым аппаратом: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Зерноград, 1978.
27. Рудаков Г.М. Технологические основы механизации посева хлопчатника. - Ташкент: Изд. «ФАН» Узбекской ССР, 1974. - 245 с.
28. Горячкин В.П. Собрание сочинений в трех томах - М.: Колос, 1968.
29. Бондарев С. И. Исследование режимов работы волосяной цилиндрической щетки в планетарном триере // Актуальные вопросы послеуборочной обработки и хранения зерна / Тезисы докладов II Всесоюзного научно технического совещания. ВИМ. - М., 1973.
30. Бондарев С. И. Исследование технологического процесса планетарного триера с целью улучшения качества очистки: Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Омск, 1974.

- 31.Фетисов Н. А., Бондарев С. И. Исследование ротационной цилиндрической щетки, работающей в сопряжении с ячеистой поверхностью // Научные труды Омского СХИ, том 114. - 1973.
- 32.Фетисов Н. А., Черняков В. И., Бондарев С. И. Определение факторов, влияющих на очищающую способность чистиков планетарного триера // Научные труды Омского СХИ, том 110. - 1973.
- 33.Черняков В. И., Бондарев С. И. Экспериментальное исследование режимов работы чистиков на плоской ячеистой поверхности // Научные труды Омского СХИ, том 114. - 1973.
- 34.Василенко П.М. Основные принципы моделирования и их применение при разработке проблем с.-х. техники. - Труды ВИМ, т.1. № - М.: БТИ ГОСНИТИ, 1966, С.3-17.
- 35.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1964, - 576 с.
- 36.Гурский Е.И. Теория вероятностей с элементами математической статистики. - М.: Высшая школа, 1971. - 328 с.
- 37.Иофинов А.П. Математические модели в задачах управления качеством технологических процессов // Мех. и электр. соц. сел. хоз-ва, 1978, № 7, с. 3-8.
- 38.Иофинов А.П., Хангильдин Э.В. Моделирование технологических процессов сельскохозяйственных машин. - Уфа: Изд. УСХИ, 1978. - 46.
- 39.Иофинов С.А. Земледельческая механика. - М., 1965, т.5, С. 112-131.
- 40.Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. - Л.: Колос, 1970. - 376 с.
- 41.Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. - Л.: Машиностроение, 1977. - 528 с.
- 42.Шакалис В.В. Моделирование технологических процессов. - М.: Машиностроение, - 1973. - 136 с.
- 43.Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. - Киев: Гостехиздат УССР, 1963. - 791с.

44. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976, - 279 с.
45. Грановский Ю.В. Основы планирования экстремального эксперимента для оптимизации многофакторных технологических процессов. - М.: Инст. нар. х-ва, 1971. - 264с.
46. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая школа, 1988. - 239 с.
47. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. - Л.: Колос, 1980. - 168 с.
48. Налимов В.В. Теория эксперимента. - М.: Наука, 1971. - 208 с.
49. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965.
50. Протодяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. - Л.: Колос, 1970. - 76 с.
51. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента (Планирование регрессионных экспериментов). - М.: Наука, 1971. - 312 с.
52. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - М.: Колос, 1973. - 199 с.
53. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. - М.: Физматгиз, 1962. - 356 с.
54. Пустыльник К.И, Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968.
55. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. ГОСТ 11.004-74. - М.: Изд. стандартов, 1974.
56. Снедекор. Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. - М.: Изд. с.-х. литературы, журналов и плакатов, 1961. - 504 с.
57. Аяганов Е.М., Сёмушкин Н.И., Капитонов Л.В., Власов Р.Е. Анализ развития технологий и способов посева сельскохозяйственных культур. Студен-

ческая наука - Аграрному производству. Материалы 72-ой студенческой (региональной) научной конференции, том1, КГАУ, г.Казань, 2014г.

- 58.Сёмушкин Н.И., Капитонов Л.В., Сабиров Р.Ф., Аяганов Е.М. Конструктивная схема секции посевной машины для посева зерновых культур в условиях недостаточного увлажнения. Международная научно-практическая конференция посвященной 65-летию образования ИМиТС., КГАУ, г.Казань.
- 59.Сёмушкин Н.И., Капитонов Л.В., Сабиров Р.Ф., Аяганов Е.М. Способ регистрации равномерности распределения семян при высеве. Международная научно-практическая конференция посвященной 65-летию образования Института механизации и технического сервиса, г.Казань, КГАУ, 2015г.
- 60.Сёмушкин Н.И., Капитонов Л.В., Сабиров Р.Ф., Аяганов Е.М. Обоснование конструктивной схемы установки барабанной сеялки. Международная научно-практическая конференция посвященной 65-летию образования Института механизации и технического сервиса, г.Казань, КГАУ, 2015.
- 61.Сёмушкин Н.И., Капитонов Л.В., Сабиров Р.Ф., Аяганов Е.М. Обоснование конструктивных размеров и режимов работы роторного отражателя семян барабанной сеялки. Международная научно-практическая конференция посвященной 65-летию образования Института механизации и технического сервиса, г.Казань, КГАУ, 2015.