

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса**

на правах рукописи

Аяганов Ербол Маратович

**Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров
сеялки барабанного типа**

Научно-квалификационная работа (диссертация)

на соискание квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь»
по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и
энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Научный руководитель
Кандидат технических наук, доцент

Сёмушкин Николай Иванович

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к представлению научного
доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной
работы (диссертации) на государственной итоговой аттестации

(протокол №__ от _____ 20__ г.)

Зав. кафедрой д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2018 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Мониторинг и анализ существующих технологии посева зерновых и других культур

1.2. Технологические процессы и инновационные технологии при пунктирном высеве семян

1.3. Теоретические исследования по совершенствованию конструкции пунктирных сеялок

1.4. Рабочие органы машин для пунктирного высева семян

Выводы по главе 1

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК

2.1. Теоретические методы по взаимодействию семян с поверхностью высевающего барабана

2.2. Математическая модель движения единичного семени по внутренней поверхности барабана

2.3. Теоретическая модель процесса исследования западания единичного семени в ячейку барабана

2.4. Теоретическое описание процесса взаимодействия роторного отражателя с единичным семенем

2.5. Графоаналитическая модель процесса влияния параметров высевающего аппарата на точность высева

Выводы по главе 2

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Цель и программа полевых и лабораторных исследований

3.2. Получение математической модели объекта эксперимента

3.3. Методика проведения экспериментов по определению оптимальных

конструктивных параметров и режимов работы высевающего аппарата

3.4. Общая методика обработки результатов экспериментальных исследований

Выводы по главе 3

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1. Влияние кривизны ячеистой поверхности на западание семян

4.2. Исследование влияния формы и размеров ячеек высевающего барабана на западание семян

4.3. Определение угла установки роторного щеточного отражателя семян

4.4. Результаты совершенствования конструкции зерновой сеялки

4.5. Технологический процесс высева экспериментальной секцией барабанной сеялки

Выводы по главе 4

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕКОМЕНДАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВО

5.1. Расчёт эффективности использования сеялки барабанного типа

5.2. Расчёт технико-экономических показателей дополнительных капитальных вложений

5.3. Практические рекомендации в производство

Выводы по главе 5

Заключение

Список литературы

Приложения

ВВЕДЕНИЕ

Посев является одной из сложных операций в технологиях производства продукции в растениеводстве. Величина валового сбора сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от своевременного и качественно проведенного посева. В протяжении многих десятилетий в России и за рубежом разработка и производство новейших посевных и посадочных машин имеет

значительный прогресс. Создание новых конструкций сеялок и новых способов посева позволяет более целесообразно расходовать семенной материал, снизить сроки посева и создать условия для увеличения урожая в сельском хозяйстве. До настоящего времени основной техникой для посева зерновых культур является сеялка СЗ-3,6 (СЗ-3,6А) в различных модификациях.

Но, несмотря на это, ее конструкция остается практически неизменяемой на протяжении многих лет и недостаточно приспособленной к качественному выполнению работ. Развитие новых технологий показывает совершенно новые виды конструкции сеялки, утверждая экономические эффективности в использовании сельском хозяйстве.

В настоящее время барабанные сеялки показывают практичность совмещения высевающего аппарата с самой сеялкой. Улучшение сева семян разных фракций с минимальными затратами, включая более высокую точность сева, минимально травмируя семян и простота конструкций, прочность и легкость технических обслуживаний подтверждают практичность барабанных сеялок. Также за счет устройства, посев культур может обеспечить два человека.

Так как, барабанная сеялка имеет минимальное количество передач и подвижных элементов, такое устройство наиболее проста в эксплуатации и не требует постоянной проверки регулировок, позволяя точно выставить глубину посева. В последнее время высевающие аппараты барабанного типа используют широкую популярность на сеялках СТГ-18, "Monosem" (Франция), SPP-12, "Cyclo - Planter" фирмы "International Harvester" (США), СОТ – 1,5 (Тепличная сеялка конструкции УкрНИИОБА) и др. В настоящее время применяются разнообразные конструкции аналогичных аппаратов.

Простая конструкция устройства в изготовлении, обслуживании и работе, также позволяет малым фермам приобретать их без лишних сомнений и затрат. В последнее время на различных выставках по внедрению новых технологий для аграрных промышленности предлагаются новые виды сеялок. На конференциях

стран СНГ предложены факторы, как человек расходует не более 10% при севе семян, что проявляется в виде немалой экономии денег фермера. Барабанные сеялки - таким образом, за несколько сезонов полностью окупают свою стоимость. Сеялка также осуществляет выполнить работы в предложенные сроки, что позволяет выполнить задачу за период благополучных условий, не рискуя опаздывать и потерями урожая.

На сегодняшний день известно несколько видов барабанных сеялок с соответствующими аналогичными аппаратами наиболее близкие по конструкциям. Все изобретения относятся к сельскохозяйственному машиностроению. Высевающие аппараты схожие по конструкции в основных деталях таких как, корпус барабана, высевающий барабан, загрузочное отверстие, бункер для семян, сошниковые сектора, вал барабана.

Технические характеристики сеялок показывают разные статистики, а также имеют разные виды способов посева. Несмотря на это, все барабанные сеялки доказывают практичность при разных условиях работы, как и в эксплуатации и ремонте. Анализ исследований и классификация барабанных сеялок позволили определить наиболее перспективные направления их совершенствования, в соответствии, с чем разработана конструктивно - технологическая схема барабанной сеялки для различных сельскохозяйственных культур с применением барабанно - высевающего аппарата с самой сеялкой. В связи с этим важной и актуальной задачей является совершенствование технологических схем и создание эффективных барабанных сеялок для сева различных зерновых культур. В соответствии с выбранным направлением определены рациональные соотношения геометрических параметров барабана, также определены анализы разработки конструктивно-технологических сеялки барабанного типа.

Актуальность темы. Многие годы в истории сельского хозяйства активно разрабатываются и применяются для исследования в селекционном производстве при посеве на делянках сортоиспытания и предварительного размножения

различные виды специальных сеялок. Высевающие конструктивные параметры данных сеялок аналогична с применяемыми в сельскохозяйственных производствах сеялками семейства СЗ. В период интенсификации селекционного производства при появлении новых сортов сельскохозяйственных культур данные сеялки прекратили удовлетворять растущим требованиям по качеству проведения селекционных посевов. Также, особая важность посева обуславливалось с селекционной работой, так как размножение новых сортов связана с использованием дорогого, часто редкого посевного материала.

Отечественные и зарубежные посевные машины для одновременного дозирования семян и минеральных удобрений (туков) оснащаются отдельными высевающими устройствами. Это существенно усложняет конструкцию посевных комплексов, что в конечном счете намного увеличивает затраты на единицу вырабатываемой продукции.

Важным качеством любой сеялки является обеспечение точности равномерного распределения семян по рядкам. Широко используемые сеялки в сельскохозяйственном производстве не в полной мере отвечают современным требованиям высшего качества точности равномерного распределения семян по рядкам. Это обуславливается тем, что количество семян на каждый рядок дозируется отдельным высевающим аппаратом, а обеспечить строго равное количество высеваемых семян отдельным аппаратом достаточно проблемно и часто не контролируемо, так как селекционером определяется только общая норма высева всей сеялкой, а не отдельного аппарата.

Цель и задачи исследований:

Разработка конструктивно-технологических параметров сеялки барабанного типа для повышения урожайности и снижения материальных и энергетических затрат.

1. Разработать технологический процесс зерновых культур с барабанным высевающим аппаратом сеялки.

2. Разработать математические модели процесса высева семян с барабанным высевающим аппаратом, определяющие диапазоны изменения основных конструктивно-технологических параметров и факторов, влияющих на эффективность рабочего процесса.

3. Обосновать методику оценки количественных и качественных показателей работы барабанного высевающего аппарата.

4. Провести исследования и обосновать рациональные параметры и режимы работы барабанного высевающего аппарата.

Объектом исследований является процесс высева зерновых культур барабанным высевающим аппаратом.

Предметом исследований являются закономерности, определяющие рабочие процессы барабанного аппарата при высеве зерновых культур.

Научную новизну составляют:

– способ совместного дозирования частиц с разными физико-механическими свойствами при помощи высевающего барабана;

– математические модели, описывающие состояние колеблющегося слоя зерновых культур в барабанном высевающем устройстве;

– экспериментальные зависимости, устанавливающие влияние параметров и режимов работы барабанного высевающего аппарата на его оценочные показатели.

Практическую значимость составляют: конструктивные параметры и эффективные режимы работы барабанной сеялки; номограмма для настройки сеялки на заданную норму высева семян; использование результатов исследований в научном и учебном процессе при подготовке специалистов сельскохозяйственного производства.

На защиту выносятся:

- способ высева зерновых культур, обладающих различными физико-механическими свойствами;
- математические модели оптимизации процесса высева зерновых культур;
- результаты экспериментальных исследований по обоснованию эффективных режимов работы высевающей секции при высевае зерновых культур;
- рекомендации в производства.

1.1. Мониторинг и анализ существующих технологии посева зерновых и других культур

При производстве продукции сельскохозяйственных культур одним из основных процессов является посев семян, затраты на который составляют 20-25% от всего объема.

При несовершенном способе посева, непригодности используемых посевных агрегатов и их рабочих органов к той или иной культуре происходит повышенный расход нормы высева семян, снижение урожайности, повышение материальных и трудовых затрат. В полной мере это относится и к посеву зерновых и мелкозернистых культур.

Основные недостатки существующих сеялок:

- большая часть в основном предназначены для высева семян зерновых культур;
- прицепные сеялки за один проход выполняют несколько операций, что неэффективно в условиях ограниченного размера зернового земледелия;
- для поддержания продуктивности земель зерновой оросительной системы целесообразно иметь многопольный севооборот, что доказано многолетними исследованиями ученых;
- используемые прицепные и полуприцепные сеялки из-за размеров сошниковой группы и катушечных высевающих аппаратов не соответствуют для высева семян зерновых культур и допускают их перерасход;
- на существующих сеялках для регулирования нормы семян песчаная почва создает неравномерность уровня поверхности полей. Следовательно, актуальное значение имеет создание навесной сеялки с рабочими органами имеющие практические параметры.

При возделывании зерновых культур требуются разные операции, такие как вспашка, боронование, культивация, опрыскивание и т.д. Подготовка почвы и посев являются основными видами работ при производстве зерновых культур.

При посеве используется 1/8 часть труда в общих затратах. Посев необходимо выполнить наиболее качественно и в максимально короткие сроки. Опыт показывает большие преимущества поточно-групповой организации использования машин.

Технология посева идентична технологии обработки почвы. Перед севом, как и перед вспашкой, поле разбивают на загоны, ширина которых должна быть кратна ширине захвата посевного агрегата. Помимо этого определяют наиболее оптимальное место для загрузки зерна.

После настройки нормы высева и регулировки сошников на заданную глубину, начинается посев пшеницы с посевным агрегатом. До начала высева проводятся полевые проверки:

1- Должны быть соблюдены следующие агротехнические требования: высота гребней, глубина борозд не более 4 см, максимальный размер комков не более 3 см, влажность поля не более 20%.

2- Необходимо учитывать направление и способ высева семян при условии того, что при диагонально-перекрестном посеве составит не более 2-3 дня в зависимости от площади поля.

3- При рядовом посеве должны устанавливаться вешки первого прохода для посевного комплекса. Первый проход должен составлять в ширину 1,5 захвата посевной машины от края поля.

4- Устанавливают поворотную ширину полосы рядового посева. Поворотные полосы при челночном способе направления посева должны составлять три захвата от ширины посевного агрегата.

5- Отбивают контрольную борозду.

Направление линии провешивают по диагонали для проезда посевной машины, при диагонально перекрестном направлении.

Вытянутые прямоугольные поля разделяют на равные разделы с соотношением сторон 1:1 до 1:1,5. В этом случае линия первого прохода отбивают по диагонали всех участков.

При посеве диагонально-перекрестным способом на всех 4 границах отбивают поворотные полосы, которые составляют одной ширине захвата посевной машины. При посеве у всех четырех границ отбивают вешками поворотные полосы, равные одной ширине захвата агрегата.

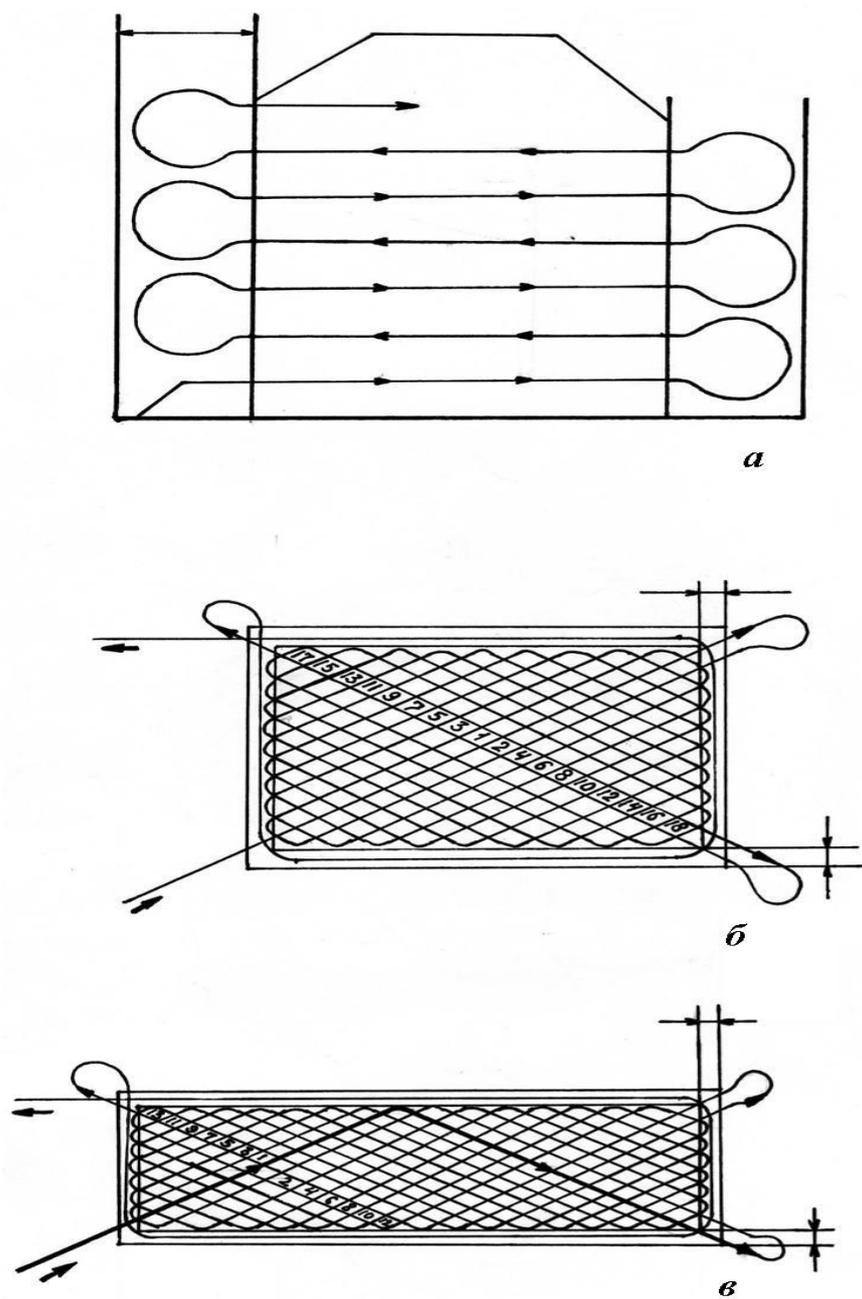


Рисунок 1 - Способы движения посевных агрегатов: *а* – челночный; *б* – диагонально-перекрестный при конфигурации поля близкой к квадратной; *в* – диагонально-перекрестный при прямоугольной форме поля

Выполнив все операции подготовки поля, начинается посев. После подготовки поля начинают посевную операцию. Сошники опускают в момент прохождения передней сеялки (если в агрегате несколько сеялок) через контрольную борозду.

Во время первого прохода, проехав несколько метров от начала посева на рабочей скорости, необходимо проверить глубину заделки семян. На следующих проходах проверяют вылет длины маркеров или следоуказателей.

1.2. Технологические процессы и инновационные технологии при пунктирном высеве семян

При производстве зерновых культур большую эффективность дает применение интенсивных технологий. В основном многие рабочие процессы в зерновой отрасли полностью механизированы, но не все хозяйства могут провести их в оптимальный срок. На это влияют разные факторы, в том числе организация самой работы. В зависимости от зональных способностей и возделываемой зерновой культуры применяется разная технология.

При создании необходимых условий для роста и развития сельскохозяйственные растения обладают большими резервами повышения урожайности. Для реализации этих возможностей необходимо совершенствовать существующую технологию их возделывания, а также создавать машины, соответствующие прогрессивной технологии и отвечающие высоким требованиям новой агротехники.

Одним из перспективных приемов возделывания зерновых культур считается использование комбинированных агрегатов, уменьшающих количество и глубину обработок почвы и совмещающих несколько технологических операций в один процесс.

Качество, а так же величина урожая возделываемых сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от правильного проведения посева семян.

В целях обеспечения наилучшего развития и роста растений, необходимо подготовить почву, согласно агротехническим требованиям для почвенно-климатических условий данного района возделывания. Среди агротехнических

требований к посеву, можно выделить четыре основных: равномерное распределение семян, соблюдение нормы высева, необходимая глубина заделки и время посева семян, при соблюдении которых достигается наилучшая урожайность.

Размещение семян в почве, площадь питания каждого растения, ее форма на практике определяются выбранным способом и нормами посева. В практике сельскохозяйственного производства нашли применение следующие способы посева: рядовой посев, узкорядный посев, перекрестный посев, ленточный посев, широкорядный посев, разбросной посев и пунктирный посев.

Рядовой посев – наиболее распространенный способ посева зерновых, овощных, технических и других культур. Ширина междурядий составляет 7,5, 15, 20, 45, 90см. В зависимости от культуры и нормы высева изменяется расстояние между растениями. При этом норма площади питания растений представляет собой прямоугольник, соотношение сторон которого изменяется от 1:6 до 1:10. Такая форма площади питания растений приводит к снижению продуктивности, появлению подгона и выпадам растений за счет сильного загущения в рядах.

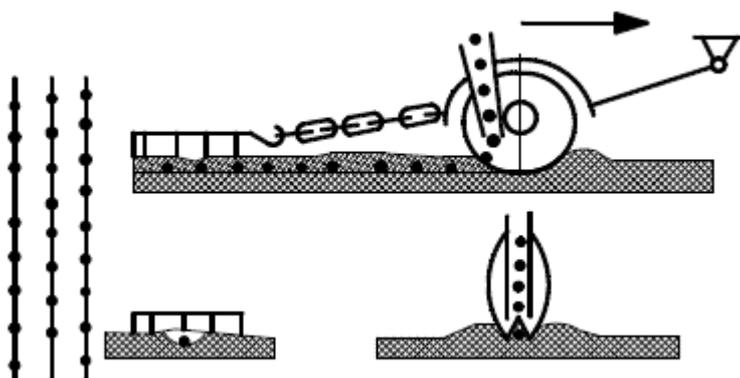


Рисунок 2 - Рядовой посев

Узкорядный посев – производят с междурядьем 7,5см при сохранении площади питания рядового посева. Форма площади питания изменяется: прямоугольник со сторонами 15x1,66см заменяется прямоугольником со сторонами 7,5x3,33см. По имеющимся данным в ряде зон возделывания зерновых культур узкорядный посев дает прибавку урожая.

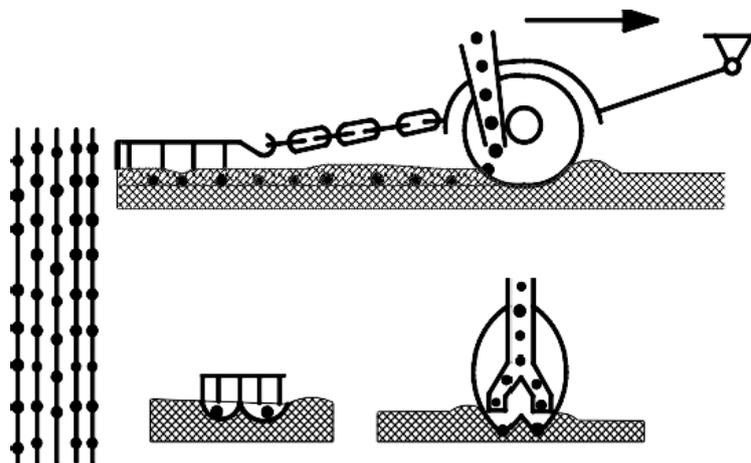


Рисунок 3 - Узкорядный посев

Перекрестный посев – выполняют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с шириной междурядий 12,5 – 15,0см. При проходе в каждом направлении высевают половину установленной нормы высева. Расстояние между семенами в ряду увеличивается в 2 раза по сравнению с расстоянием при рядовом посеве. При перекрестном посеве часто повышается урожай зерновых культур, однако ему характерны такие недостатки, как увеличение времени посева, непроизводительная затрата энергии и горючесмазочных материалов.

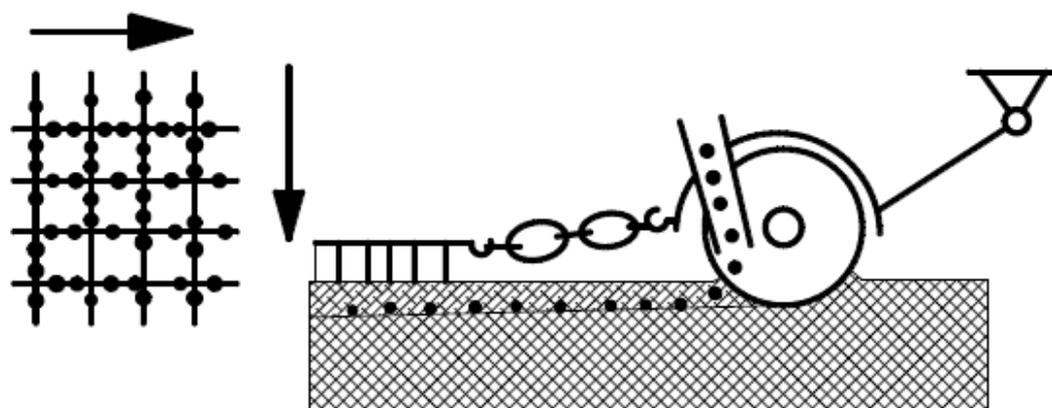


Рисунок 4 - Перекрестный посев

Ленточный посев – применяют преимущественно при возделывании овощных культур. Семена высевают в несколько строчек, расстояние между которыми обычно 20см, а между лентами – 45см. Число строчек в ленте может быть различным, это зависит от культуры растений.

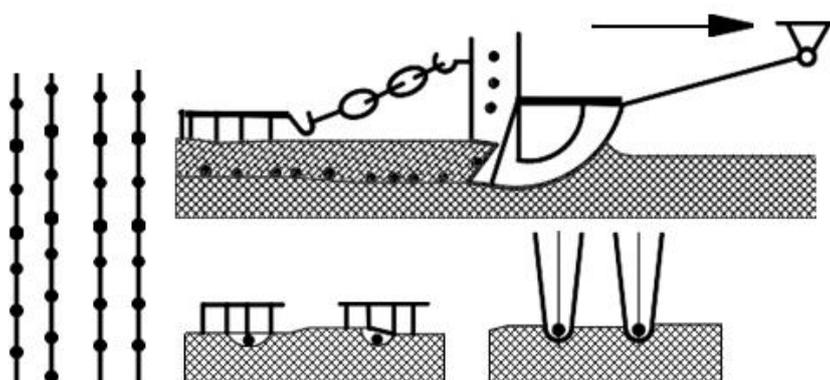


Рисунок 5 - Ленточный посев

Широкорядный посев – применяют для посева пропашных культур.

Междурядья выбираются с учетом особенностей каждой культуры и возможности механизированной междурядной обработки. Величина междурядий для различных культур применяется от 45 до 110см.

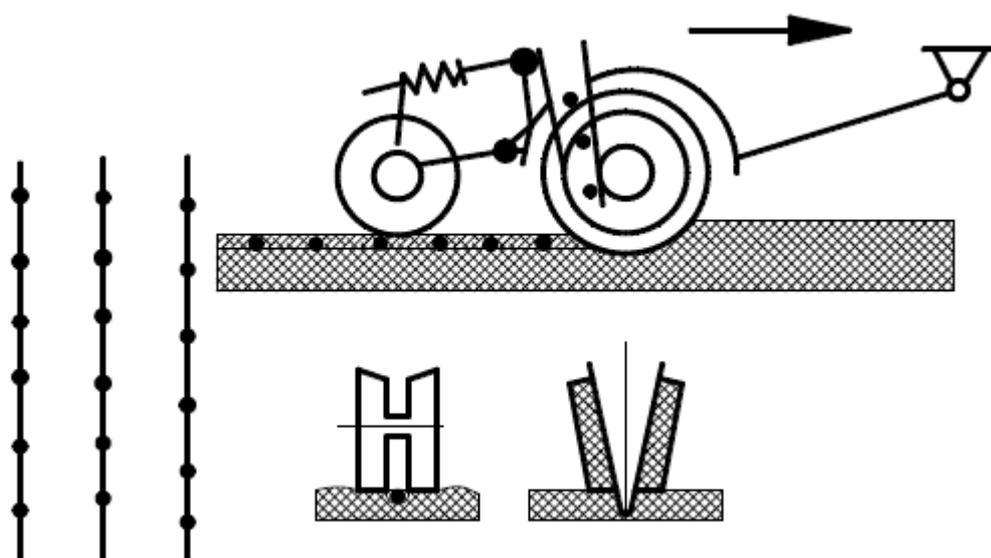


Рисунок 6 - Широкорядный посев

Разбросной посев – самый древний, однако самый эффективный способ. В настоящее время он в основном используется для поверхностного разбрасывания семян трав и риса. Однако ведутся изыскания рабочего органа и сеялок для подпочвенного разбросного посева зерновых культур.

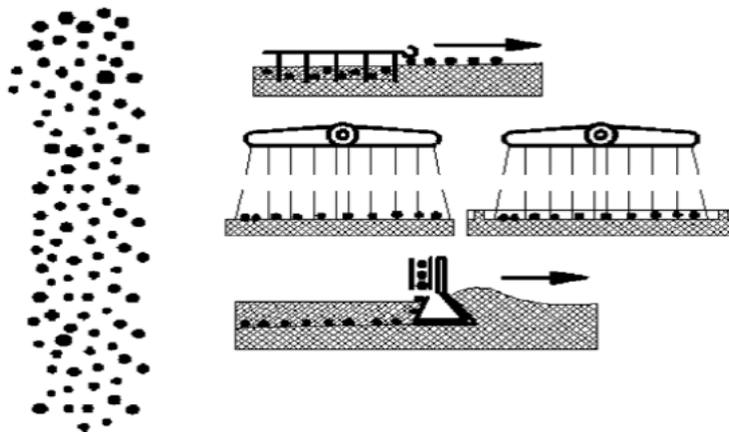


Рисунок 7 - Разбросной посев

Пунктирный посев – используют в основном при посеве пропашных культур. Ширина междурядий, например, для сахарной свеклы 45-60см, кукурузы 70-90см. Расстояние между семенами – шаг пунктира зависит от культуры и нормы высева.

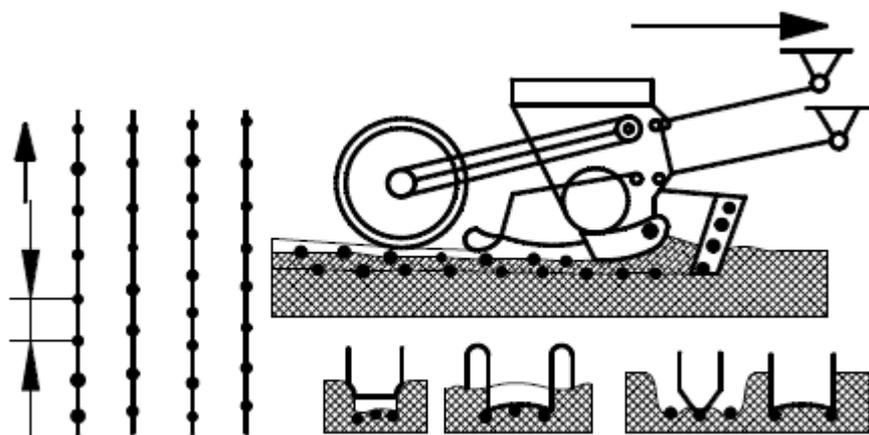


Рисунок 8 - Пунктирный посев

Можно выделить следующие неоспоримые преимущества пунктирного посева

- более равномерное распределение семян по полю и всей засеваемой ширине
- повышение урожайности в среднем на 10-30% по сравнению с узкорядным посевом

- высокая полевая всхожесть семян
- уменьшение конкуренции между растениями
- снижение засоренности поля
- увеличение степени использования засеваемой площади
- увеличение урожая

Эти преимущества связаны с тем, что каждому растению должна быть обеспечена определенная площадь, для получения им необходимого количества питательных веществ, солнечного света, почвенной влаги, тепла и т.д. Этой площадью называют – площадью питания растения. При ее недостатке, то есть если два растения находятся близко друг к другу, они начинают бороться между собой за питательные вещества. При пунктирном способе посева конкуренция растений сведена к минимуму, так как семена распределяются равномерно по всей засеваемой полосе.

В связи с вышеперечисленными преимуществами, можно утверждать, что пунктирный способ посева является самым оптимальным и наименее энерго- и ресурсно затратным способом посева зерновых культур.

Интенсивные технологии предполагают применение полного комплекса агротехнических, организационно-экономических мер, позволяющих получать высокий урожай независимо от погодных условий. Она предполагает высокую концентрацию материально-технических ресурсов на возделывание культур, посев высококачественными семенами, внесение научно-обоснованных норм удобрений, эффективных средств защиты растений, точное соблюдение сроков и последовательности проведения сельскохозяйственных работ.

Интенсивные технологии заключаются в посеве по лучшим предшественникам в севообороте, выращивание зерновых культур с высокими показателями в урожае, обеспечением необходимых минеральных удобрений с учетом их содержания в почве, применение различных минеральных удобрений, использование различных азотных удобрений в период вегетации, интегрированной системы защиты растений от сорняков, вредителей и болезней, современном и качественном выполнении всех технологических приемов, направленных на защиту почв от эрозии. Направленностью интенсивных технологий является значительный рост повышения урожайности и увеличение качества зерновых культур.

Для того чтобы получить высококачественную продукцию растениеводства, в сельском хозяйстве принято использовать специальные технологии, методы и инновационные подходы. Все без исключения производственные процессы получения продукции растениеводства невозможны без комплекса эффективных мер, которые реализуются в России в современных технологиях возделывания каждой плодовоовощных и зерновых культур в определенных условиях на всех этапах, начиная от хранения семян и заканчивая ее уборкой и реализацией.

Современными технологиями в растениеводстве сегодня называют комплекс технологических мероприятий, методов обработки, изменения качества и определенных свойств плодородного слоя, материалов или сельскохозяйственных культур, которые в строгой последовательности применяют в четко определенные временные периоды. При этом особое внимание уделяется соблюдению всех без исключения агротехнических мероприятий и норм, которые должны быть соблюдены при выращивании зерновых и плодовоовощных культур.

Технология производства продукции растениеводства – это комплексный и непрерывный процесс, который предполагает последовательное соблюдение всех этапов технологической цепочки, связанных с выращиванием, уборкой, транспортировкой, начальной обработкой сельскохозяйственных культур,

хранением и сортировкой урожая, что является обязательным условием получения ожидаемого количества сельхозпродукции высокого качества.

Описание технологии – очень важный процесс планирования и реализации при выращивании любой культуры. Поэтому такое описание требует тщательной проработки и внимания, а также последующего соблюдения всех ее этапов. Специалисты каждого хозяйства представляют технологии в двух основных видах: подробное описание или же составление четкой технологической карты. При этом в обязательном порядке подробно прописываются такие моменты, как природно-климатические и производственные условия, в которых возделывается культура, этапы уборки урожая, полный перечень всех производимых работ с учетом зависимости от изменения природных условий, применяемые методы и технические средства, технологические схемы функционирования необходимой сельхозтехники и рекомендуемые режимы ее работы, а также ряд важнейших технико-экономических показателей.

Технологии в растениеводстве постоянно развиваются за счет применения самых новых высокоэффективных экономически целесообразных процессов производства. Оптимизация механизации производства сельхозпродукции и повышение ее экономической составляющей происходит за счет совершенствования самого процесса растениеводства, обновления и модернизации сельскохозяйственной техники и оборудования, снижение в производственном процессе количество машин, которые морально устарели и др.

Одна из самых новых и целесообразных тенденций современного земледелия – внедрение принципа минимальной обработки почвы. В связи с этим сегодня в сельском хозяйстве активно внедряется и развивается следующие подходы:

1. Использование комбинированной техники и оборудования.
2. Сокращение глубины обработки и времени, которое требуется на возделывание почвы с обязательным применением самых современной техники и машин.

3. Использование эффективных гербицидов, которые обеспечивают химическое уничтожение сорняков и вредителей, что позволяет отказаться от традиционных устаревших механических способов обработки.

4. Снижение обрабатываемой площади почвы, внедрение нового метода «полосное земледелие» и других новшеств.

5. Посев сельскохозяйственных культур в необработанную почву, использование при этом щадящих гербицидов и удобрений, что особо актуально для рыхлых почв чернозема.

Одним из определяющих условий успешного развития растениеводства является его перевод на мощную индустриальную базу и внедрение прогрессивных технологий. Еще несколько лет назад в сельском хозяйстве происходило внедрение каких-то определенных прогрессивных разработок: обновленный парк специальной сельхозтехники, новые сорта или гибриды зерновых и плодовоовощных культур, инновационные технологии и методы и т. д. Сегодня стало очевидным: последние научные достижения и технические новинки позволяют применять комплексный подход, который принято называть индустриальной технологией.

Эффективность использования современных методов обработки сельского хозяйства – использование в комплексе расширенного автопарка специальной техники и оборудования, которые отличаются высокой производительностью;

– подбор и выведение принципиально новых, высокопродуктивных гибридов и сортов плодовоовощных и зерновых, которые не боятся неблагоприятных погодных условий, конкретно для каждой почвенно-климатической зоны;

– обеспечение оптимальной кислотности плодородного слоя для каждой культуры, сбалансированность микроэлементов и питательных веществ;

– использование специальных средств, регулирующих рост растений, и комплексных веществ интегрированной защиты сельскохозяйственных культур от болезней, вредителей и сорняков;

– точное дозирование минеральных и органических удобрений в каждый из периодов выращивания сельскохозяйственной культуры и работ по подготовке почвы;

– выполнение полного спектра мероприятий агротехнического характера своевременно и на высоком качественном уровне.

Применение индустриальных технологий при выращивании любой сельскохозяйственной культуры позволяет в несколько раз повысить урожайность, при этом снизив трудозатраты, что в комплексе и обеспечивает высочайшую эффективность.

Грамотная организация механизированных работ в растениеводстве позволяет решить важнейшую задачу замены трудоемкого ручного труда наиболее эффективным, основанным на использовании современной техники, оборудования и сопутствующей техники. Такие меры позволяют существенно повысить производительность труда, сократить сроки производства продукции растениеводства и снизить ее себестоимость.

Внедрение таких технологий невозможно без осуществления комплексного подхода, который призван повысить культуру растениеводческого производства. Благодаря самым прогрессивным достижениям в области механизации растениеводства удастся производить сложные работы по проведению мелиорации обрабатываемых площадей, решать вопросы оптимальной химизации сельхозпроизводства.

Именно современная надежная сельхозтехника представляет собой основу материально-технической базы сельскохозяйственной отрасли, так как без ее использования невозможно проведение ни одного рабочего процесса:

Современные изобретения и технологии позволяет снизить издержки фермеров и значительно повысить эффективность хозяйства – комплекса культурно-технических решений;

- качественной обработки земельных угодий;
- посевных и посадочных работ;
- внесения удобрений, эффективная борьба с сорняками и вредителями;
- уборочных работ;
- сортировки и очистки зерновых, заготовки кормовых;
- складирования и хранения продукции растениеводства.

Основные задачи механизации в растениеводстве

- ускорение комплексного процесса автоматизации и механизации всех этапов производственной цепочки;
- эффективное использование сельхозтехники и оборудования;
- внедрение самой современной и высокоэффективной техники при проведении посадочных и уборочных работ;
- минимизация потерь при производстве сельхозпродукции;
- сохранение высоких качественных показателей;
- увеличение длительности срока бесперебойной службы МТП;
- максимальное снижение расходов на ремонт и восстановление парка спецтехники;
- создание автоматизированных систем управления МТП во всех подразделениях сельскохозяйственных предприятий и АПК;

– обеспечение максимально безопасных и комфортных условий труда водителям сельскохозяйственной техники;

– привлечение или подготовка высококвалифицированных специалистов, которые обеспечат эффективное управление, обслуживание и ремонт техники и оборудования;

– внедрение прогрессивных технологий и рациональных предложений при организации комплексной механизации работ в растениеводстве.

Получить хороший урожай в растениеводстве – это еще не свидетельство того, что производственный процесс завершен успешно. Одним из важных моментов является правильная организация хранения продукции, ее последующая реализация или использование для нужд сельскохозяйственной организации.

Еще несколько лет тому назад в России, по статистическим данным, в результате неправильного или небрежного хранения погибало до 30% плодоовощной продукции или зерновых. Современные технологии позволяют минимизировать такие потери, обеспечив сохранность сельхозпродукции и ее исключительное качество.

Для повышения в производстве зерновых культур важным резервом является химизация зерна. При внесении обоснованных доз рост урожайности повышается на 30-40%. Установлено, что при правильном комбинированном использовании минерального и органического удобрения достигается большая эффективность, с учетом обоснованных доз, типа почв и вида зерновых культур.

Низкая техническая оснащенность хозяйств, требуют искать другие пути к решению проблем механизации АПК. Необходимо практиковать лизинг, создавать машинно-технические станции, укреплять ремонтную сеть предприятий различных форм собственности, устанавливать связи с заводами – изготовителями сельскохозяйственной техники.

Принимаются меры для расширения запасных частей и номенклатур машин, которые выпускаются в местных промышленных предприятиях. Важно осуществить разработку программ технического переоборудования сельского хозяйства. Необходимо заключать контракты на поставки зарубежной техники, что в первую очередь повлияет на эффективность производства зерновых культур.

1.3. Рабочие органы машин для пунктирного высева семян

В общем комплексе сельскохозяйственных машин сеялки занимают одно из ведущих мест и, несмотря, казалось бы, на их историческую давность и идентичность назначения (внести семена в почву), отличаются значительным многообразием конструкций и названий. Это объясняется, прежде всего, наличием большого количества сельскохозяйственных культур с резко различающимися свойствами семян, недостаточным использованием модульного принципа проектирования и, наконец, отсутствием четкой классификации, как способов посева, так и самих посевных машин.

Со времен академика В. П. Горячкина, положившего начало систематизации сеялок, разработано и опубликовано более десятка классификаций посевных машин, в основу которых положены самые различные признаки: способ посева, назначение, тип высевающего аппарата, способ агрегатирования, конструкция и род двигателя, вид высеваемых семян и другие. В большинстве из них классифицирующие признаки трактуются по-разному, в результате чего одни и те же сеялки имеют разные названия и наоборот, сеялкам, по многим признакам отличающимся друг от друга, дается одно и то же название. В исследованиях сеялки гнездовые, квадратно-гнездовые, пунктирные и т. п. объединены по способу посева, в то время как А. Н. Карпенко и А. Н. Семеновым в общей классификации они отнесены к группе специальных, а в трудах Г. М. Бузенкова и других литературных источниках они группируются по технологическому признаку и названы пропашными. В классификации И. С. Терещенко в группу

сеялок, объединенных по признаку размещения семян на поле, отнесены пресовые и бороздковые, т. е. сеялки, отличительными особенностями которых являются принцип работы бороздообразующих устройств и назначение.

Существенным недостатком классификации посевных машин по конструктивным особенностям (по типам) высеваящих аппаратов является то, что она не в полной мере объединяет современные сеялки по тем общим признакам, которыми они обладают. Кроме того, наличие значительного количества высеваящих аппаратов, отличающихся как по конструктивному оформлению, так и принципу работы, делает эту классификацию громоздкой и мало полезной при разработке новых посевных машин.

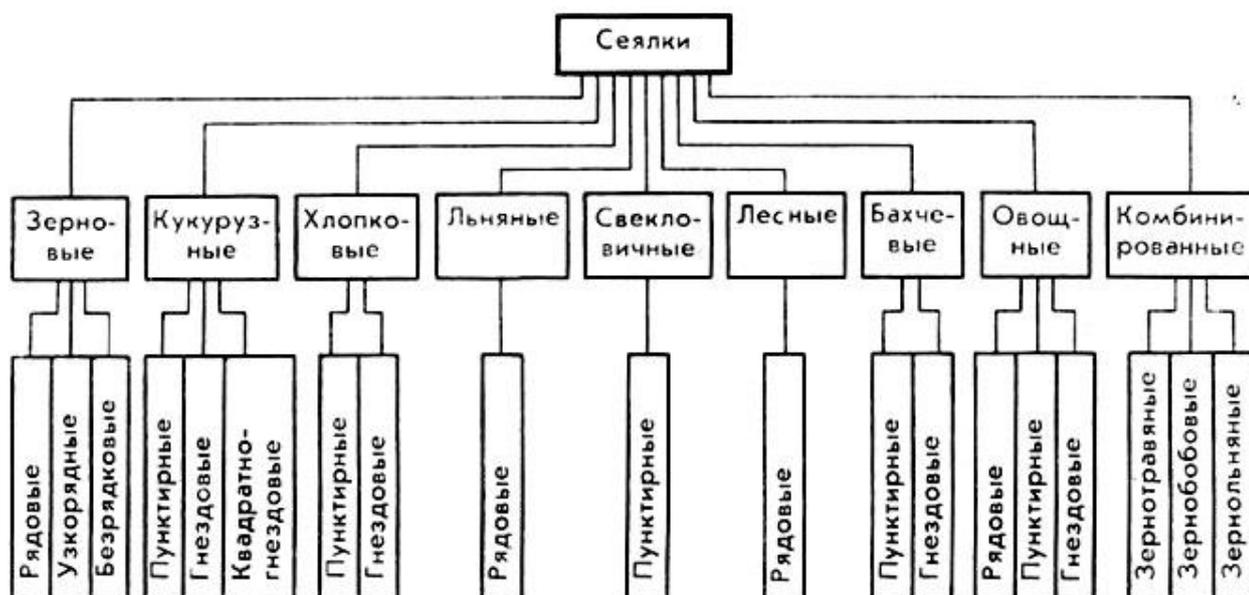


Рисунок 9 – Классификация посевных машин

Отсутствие единства в вопросах систематизации посевных машин обусловило необходимость в разработке такой классификации посевных машин и их основных рабочих органов, которая бы учитывала научно-технические достижения последних лет и оказала существенную помощь конструкторам при разработке новых, более совершенных сеялок, отвечающих современным требованиям сельскохозяйственного производства.

В основу предлагаемой общей единой классификации посевных машин (рисунок 9) положен технологический принцип, объединяющий три основных разделительных признака: высеваемая культура, вид размещения семян на засеваемом поле и способ агрегатирования.

По роду высеваемой культуры все посевные машины могут быть разделены на зерновые (для посева злаковых культур), кукурузные, свекловичные, хлопковые, овощные, бахчевые, льняные, лесные и комбинированные (зернотравяные, зернобобовые, рисозерновые, зернольняные и др.). Само название сеялок в данном случае учитывает уже и их назначение. Некоторые из перечисленных сеялок оборудуются приспособлениями для внесения минеральных удобрений, которые не являются их составной частью. Сеялки, у которых эти приспособления представляют вместе с ней единую конструкцию, относятся к комбинированным машинам.

По виду размещения семян на засеваемом поле сеялки могут быть разделены на обычные рядовые, узкорядные, односемянные (пунктирные), гнездовые, квадратно-гнездовые и сплошного сева (безрядковые, или, как принято их называть, разбросные). Некоторые из них в зависимости от конструкции высевяющего аппарата и сошниковой группы могут обеспечивать различные виды размещения семян.

По способу агрегатирования с энергетическими средствами посевные машины подразделяются на прицепные, навесные и навешиваемые (монтируемые). Последние в большинстве случаев агрегируются с самоходными шасси или являются неотъемлемой частью посевных комбинированных агрегатов.

Зерновые, комбинированные, а также кукурузные и некоторые другие сеялки первых моделей являются прицепными и агрегируются с тракторами 14-20 кН. Сеялки для посева пропашных культур, в том числе и кукурузы, последних лет разработки, как правило, навесные с использованием трехточечной навески или

специальных устройств (сцепок), обеспечивающих одновременное агрегатирование двух и более сеялок.

Высевающий аппарат — один из наиболее важных рабочих органов сеялки. Он служит для отбора из общей массы определенного количества семян и формирования исходного потока их с заданными параметрами. Поэтому достоинства и недостатки сеялок, относительно качества распределения семян в ряду и в целом на засеянном поле, главным образом определяются работой высевающих аппаратов.

К настоящему времени в научных публикациях опубликовано несколько классификаций высевающих аппаратов сеялок. Однако многие из них за давностью не в полной мере отражают особенности конструкций, созданных в последние годы, другие не согласуются между собой по классифицирующим признакам, что, естественно, вносит определенные трудности при анализе существующих и разработке новых конструкций.

Высевающие аппараты различаются по принципу действия: механические и пневматические. В России на данный момент больше механических высевающих аппаратов, нежели пневматических. Механические высевающие аппараты в свою очередь делятся на катушечные и дисковые. В катушечных аппаратах дозирование семян происходит непрерывным потоком, а в дисковых — единичным отбором семян.

Для высева семян применяются катушечные, дисковые, мотыльковые, ложечные, щёточные, канатиковые, внутренне - реберчатые, ячеистые. Для высева туков применяются аппараты барабанные, цепные, центробежные, звёздчатые, шнековые.

Качество работы пневматических, пневмомеханических и других аппаратов точного высева во многом зависит от совершенства устройств для удаления лишних семян, прочистки присасывающих отверстий (ячеек) и сбрасывателей. По принципу действия эти устройства могут быть разделены на механические и

пневматические; механические, в свою очередь, подразделяются на устройства активного и пассивного действия.

Механические устройства для удаления лишних семян активного действия выполнены в виде вращающихся щеток, металлических или обрезиненных роликов. Устройства пассивного действия представляют собой различного рода гребенки, вилочки, плоские щетки и др. На некоторых пневматических аппаратах барабанного типа лишние семена снимаются путем вибрации рабочей поверхности высевающего аппарата. Для этих целей используются разнообразные кулачковые механизмы, которые с определенной частотой наносят удары по поверхности барабана, приводя ее в колебательное состояние. Под воздействием ударных импульсов лишние, обычно слабоудерживаемые у присасывающих отверстий семена отделяются и под собственным весом падают обратно в бункер.

Пневматические устройства для удаления лишних семян работают по принципу сдувания (выдувания) воздушной струей и применяются в большинстве случаев на пневматических аппаратах с присасывающими отверстиями на гладкой поверхности высевающих устройств.

В некоторых работах приводятся данные о возможности удаления лишних семян путем всасывания их в специальные патрубки, вокруг которых образуется аэродинамическое поле, отличающееся по величине и направлению от поля, создаваемого присасывающими отверстиями. Слабоудерживаемые семена, проходя через это поле, уносятся им и через патрубки подаются либо обратно в бункер, либо в специально имеющуюся для этих целей емкость.

Практическая применимость такого способа, безусловно, требует детального изучения и соответствующей конструктивной разработки.

Механические устройства для удаления лишних семян активного действия в виде обрезиненных роликов обычно применяются в ячеистых механических, барабанных и ленточных пневматических аппаратах с присасывающими отверстиями в ячейках, пассивные — в дисковых и барабанных пневматических с

отверстия-ми на гладкой поверхности. Достоинством устройств активного действия является надежность работы, недостатком — сложность привода и возможность дробления семян. Механические устройства проще по конструкции, практически исключают дробление, но не обеспечивают надежность снятия лишних семян.

К числу недостатков пневматических устройств для снятия лишних семян следует отнести, прежде всего, отсутствие стабильности процесса сдувания, обусловленной, с одной стороны, различием весовых характеристик и аэродинамических свойств самих семян, с другой — трудностью обеспечения постоянства напора (разрежения) в воздушной системе. Бывает, что вместе с лишними семенами удаляются и семена, подлежащие высеву, или же с высеваемыми семенами в борозду попадают и лишние. Поэтому данный способ не нашел практического применения в современных пневматических и других высевающих аппаратах.

Сбрасывание семян в семяпроводы или непосредственно в борозду у большинства конструкций высевающих аппаратов точного высева осуществляется механическими устройствами и путем экранирования (отключения) вакуума. В качестве механических сбрасывателей используются различные зубчатые выталкиватели, профильные пластины (упоры), штоковые устройства и другие. Они преимущественно применяются в механических ячеистых аппаратах. Их основной недостаток — большой разброс семян, вызванный ударами и защемлением их в момент сбрасывания.

Для экранирования вакуума в барабанных аппаратах обычно используются обрезиненные ролики или различной формы пластины (секторы), плотно прилегающие к поверхности высевающих устройств со стороны вакуумной камеры. В большинстве конструкций дисковых пневматических аппаратов, благодаря кольцевому расположению камеры разрежения, экранирование вакуума осуществляется без каких-либо дополнительных устройств. Семена от

присасывающих отверстий отпадают сразу же после выхода из зоны разрежения и под действием собственного веса падают в борозду.

Сбрасывание семян воздушной струей (пневматический способ) обычно совмещается с транспортированием их до дна борозды и с прочисткой присасывающих отверстий. Существенным недостатком этого способа является значительный разброс семян, обусловленный изменчивостью траекторий движения их от аппарата до места расположения в борозде.

Очистка присасывающих отверстий, кроме сжатого воздуха, производится также игольчатыми вращающимися дисками и звездчатыми выталкивателями, в отдельных конструкциях — обрешиненными роликами одновременно с экранированием вакуума. В этом случае толщина материала высевающего барабана не превышает 0,5 мм, а ролик покрывается эластичной, стойкой к износу резиной. Незначительная толщина барабана обеспечивает меньшую вероятность забивания отверстий, а высокая эластичность резинового покрытия ролика — надежную их очистку.

В итоге краткого анализа рабочих органов высевающих аппаратов можно сделать вывод о том, что наиболее перспективными устройствами являются: для удаления лишних семян с гладких поверхностей высевающих устройств — механические типа «вилочек», с ячеистых — вращающийся обрешиненный ролик; для сбрасывания лишних семян — с одновременной прочисткой отверстий роликом, покрытым эластичной износостойкой щеточным отражателем.

Выводы по главе 1

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Перспективными направлениями интенсификации технологического процесса точного высева семян зерновых культур, учитывая их физиологические особенности, мелкоразмерность и сложную форму, являются:

- оптимизация размеров и форм ячеек высевающего диска (с целью повышения вероятности западания семян);

- применение активного роторного отражателя с эластичной рабочей поверхностью (для безтравмируемого отведения «лишних» семян);

- применение сквозных ячеек способствующих безтравмируемому выталкиванию семян;

- применение щеточного отражателя, для транспортировки семян к точке их сброса в борозду не нарушая при этом распределения заданного высевающим барабаном.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК

2.1 Теоретические основы взаимодействия семян с поверхностью высевающего барабана

Теоретические и научные основы процесса посева, применительно к сельскохозяйственным культурам были заложены В.П. Горячкиным, В.А. Желиговским, А.Н. Карпенко, П.Н. Василенко, М.В. Сабликовым, М.Н. Летошневым, М.Х. Пигулевским и другими учеными. В дальнейшем эти вопросы были развиты Г.М. Рудаковым, А.А. Будаговым, Ф.Г. Гусинцевым В.Е.

Комаристовым, Е.А. Беляевым, В.С. Басиным, В.Ш. Журавлевым, А.Г. Цымбалом, С.А. Ма, А.К. Нанаенко и другими учеными.

В теоретических исследованиях Г.М. Рудакова [1] были рассмотрены виды движения семян по барабанам высевающих аппаратом, определены математические выражения в которых определяется вероятность заполнения ячеек с учетом их геометрических размеров. Его исследования показали, что вероятность заполнения ячеек возрастает в случае увеличения их размеров, времени взаимодействия и длины пути проходимых барабаном под слоем семян.

Изыскания А.А. Будагова [2] свидетельствуют об улучшении качества высева при работе на высоких скоростях, в случае увеличения диаметра ячеек.

В.Е. Комаристов и М.М. Косинов проводили исследования на зерновых сеялках с использованием приспособлений на посевах мелкосеменных культур [3]. В ходе экспериментов проводились исследования приспособлений к высевающим аппаратам - уравнивателя высева, дополнительной узкой катушки с насечками, которые устанавливались в высевающий аппарат. В результате были проведены работы по проектированию специальных катушечных высевающих аппаратов, имеющих с треугольные желобки и дугообразные желобки, но имеющих уменьшенный радиус и диаметр.

Существенная интенсификация процесса обеспечивающего западание семян в ячейки, наряду с этим возможно осуществить уменьшив относительную скорость массы семян находящихся в бункере и высевающей ленты или высевающего барабана. Данные исследования показали, что относительная скорость семян уменьшается в случае увеличения коэффициента трения семян о поверхность барабана. Этот подход использовался в конструкциях сеялок «Monocenter» [5].

Исследования высева семян крупяных культур вертикально-барабанными высевающими аппаратами освещены в работах [6,7]. Стало известно - высев семян культур этими аппаратами проводить невозможно, так как осуществляется

повышенное дробление, и утечка через зазоры между роликом и высевающим барабаном, барабаном и крышкой. Установлено, что дробление семян исключить невозможно, если сохранить отражение семян используя металлический счесывающий ролик.

Причинам повышенного дробления семян уделялось в этих трудах большое внимание. В частности было определено, что дробление семян происходит в зоне, где расположен отражатель. Это происходит по причине заклинивания семян и нарушения условий выскользывания. При этом угол защемления семян становится меньше критического угла защемления ($\alpha_3 > \alpha_{кр}$). На рисунке 2.1 можно заметить, что при отражении мелкогазмерных семян, угол их защемления меньше, чем в случае отражения крупногазмерных семян ($\alpha_{31} > \alpha_{32}$) и в этом случае условие выскользывания семян не выполняется.

В исследовании [7] автор получил некоторые аналитические выражения, где определяется угол защемления и его критическая величина:

$$\alpha_{\text{зп}} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (2.1)$$

$$\alpha_{\text{к}} = \text{arctg} \sqrt{\frac{r_c}{r}}, \quad (2.2)$$

где φ_1 – величина угла трения семян о барабан;

φ_2 – величина угла трения семян о ролик;

r_c - радиус семян;

r - радиус ролика.

Анализируя полученные зависимости, автор резюмирует, что для снижения дробления семян необходимо увеличивать фрикционные свойства ролика отражающего семена, а так же уменьшить диаметр ролика, однако определяющие

рекомендации, как выбирать оптимальные параметры отражающего ролика, не приводятся.

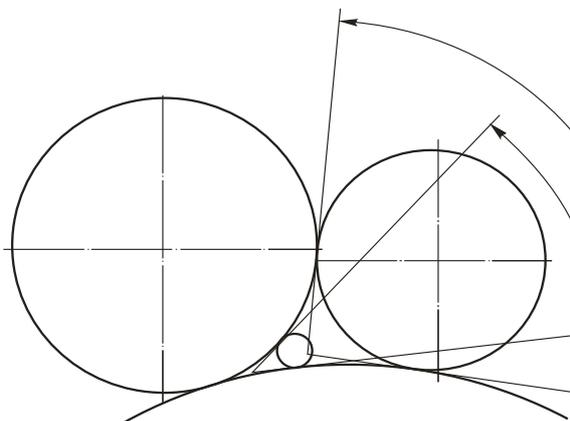


Рисунок 2.1 – Изменения величины угла защемления в зависимости от размеров семян

Автор А.Ф. Волик [8,9] приводит мнение, что наиболее определяющим влиянием на снижение дробления отражаемых семян будет оказывать место его расположения относительно вертикальной оси высевающего барабана.

На нижеприведенном рисунке 2.2 изображена схема, на которой происходит взаимодействие ролика с отражаемым семенем, удаляемым из ячейки высевающего барабана. Покидая ячейку, отражаемое семя вращается вокруг центра C . Проведя решение уравнения 2.3, содержащего предельное равновесие отражаемого семени, с учетом действия плоской системы сил, учитывая силы трения, автором получены выражения для определения величины силы нормального давления N_2 , отводящего семя.

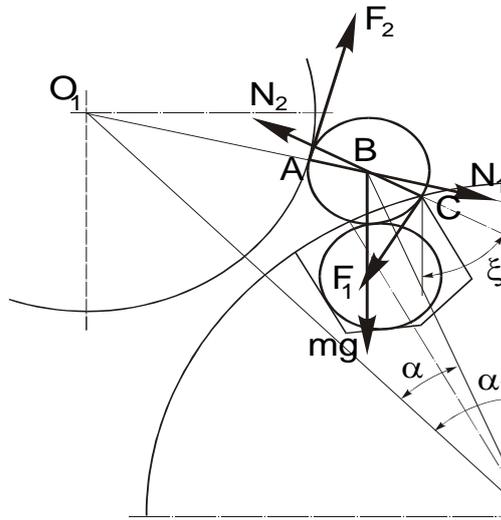


Рисунок 2.2 - Взаимодействие отражающего ролика с семенем

$$N_2 = \frac{mg \sqrt{4r^2 - a^2} (\sin(\xi + \alpha_y - \alpha))}{2fr = \sqrt{4r^2 - a^2} (f \cos \theta + \sin \theta)}, \quad (2.3)$$

где **m** - масса семени;

g - ускорение свободного падения;

r - радиус семени;

a - ширина канавки клинового выталкивателя;

f - коэффициент сцепления семени с поверхностью отражающего ролика;

ξ и α - углы, определяемые из геометрических соотношений радиусов высевающего барабана, отражающего ролика и семени;

α_y - угол установки отражающего ролика относительно вертикальной оси высевающего барабана;

θ - угол между нормальными N_1 и N_2 .

Учитывая то, что травмирование семян будет самым минимальным при выполнении условия $N_2=0$, получена, описываемая формулой 2.4 величина угла α_y :

$$\alpha_y = \arcsin \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad (2.4)$$

где R_1 - радиус отражающего ролика;

R_2 - радиус высевающего барабана.

Следует заметить, что данным автором не изучалось влияние на травмирование семян в процессе их взаимодействия с отражающим роликом, таких показателей, как радиус отражающего ролика, радиус диска и размер семени, что значительно влияет на травмирование семени.

Такие авторы, как Г. М. Бузенков, С.А. Макаров [10] приводят мнение, что место, где расположен центр ролика, не будет оказывать какого либо значительного влияния на повреждение семян в процессе их отражения. Но геометрическое место расположения центра ролика будет существенно влиять на размеры зоны, где происходит заполнение ячей барабана, а так же на величину относительной скорости семян. Высказывается мнение, что увеличение угла определяющего, где расположен центр ролика, относительно оси высевающего барабана, пропорционально уменьшает относительную скорость семени, вследствие того, что уменьшается сопротивление, которое оказывает отражающий ролик на движение самых нижних слоев семян. Авторами изучены основные случаи удаления отражаемого семени из ячеек твердым отражающим роликом.

На рисунке 2.3 показано, что верхнее семя касается ячеи в точке **A**, и касается ролика в точке **B**. Две касательные, проходящие через эти точки, будут образовывать угол α , а результирующая сила от давлений, проведенных из точек **A** и **B**, будет направлена в ту сторону, куда осуществляется вращение высевающего барабана. Сила трения семени о ролик, которая прикладывается в точке **B**, в данном случае не сможет осуществить вывод его из ячеи в следствии того, что расстояние, будет описываться неравенством $AB < 2r$ (r - радиус семени). Семя будет поворачиваться вокруг точки **A**, при действии на него силы трения. Что бы осуществился его выход из ячеи, расстояние от точки его контакта с ячеей до отражающего ролика должно быть равно диаметру семени; но для описываемого случая оно имеет меньшую величину:

$$AB = r(1 + \cos \alpha). \quad (2.5)$$

Условием удаления верхнего семени без травмирования является $\cos \alpha = 0$, в этом случае $AB = 2r$. На рисунке 2.3б показано расстояние между точками контакта **A₁** и **B₁** которое тоже меньше $2r$, но точка контакта **B₁** лежит левее диаметра, проведенного из точки **A₁**. Данное условие позволит силе трения, которая прилагается в точке **A₁**, вывести верхнее семя из ячеи. Если выполняется условие, что угол α будет направлен в сторону вращения отражающего ролика, а результирующая сила нормальных давлений будет направлена в сторону, куда вращается высевающий барабан, то процесс удаления верхнего семени из ячейки будет происходить без его деформации.

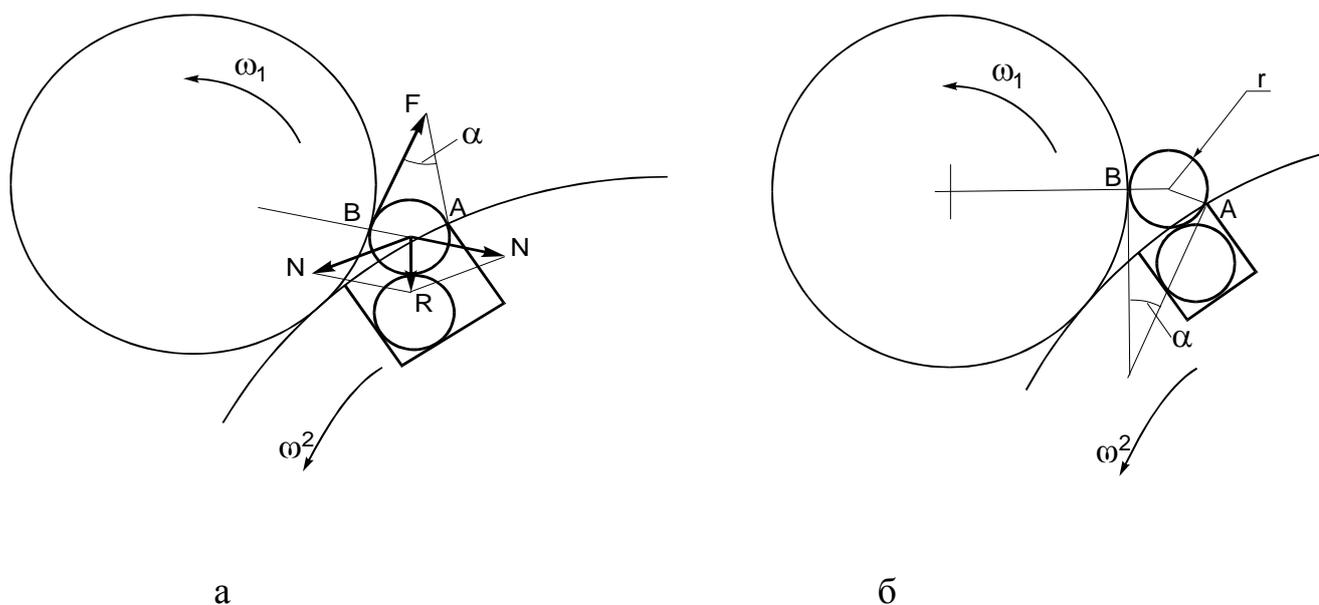


Рисунок 2.3 - Работа отражающего ролика в процессе оотражения семян, приводящая к деформации семени (а) и без деформации (б)

В результате этого было установлено, что несоблюдение условия показанного в формуле 2.5, является основной причиной травмирования семян в результате их отражения, что приводит к их деформации. Но в данной работе не приведены рекомендации по снижению процента дробления семян при их отражении.

Влияние некоторых факторов на процесс отражения семян счесывающим роликом и пути снижения повреждения семян были исследованы в работах [11,12], но более обширно данные вопросы разобраны в работах [13,14]. Автор данных работ установил функциональную зависимость между критическим углом защемления, диаметром отражающего ролика, радиусом высевающего барабана и размерами высеваемых семян. Решая полученное уравнение на ЭВМ автор уточнил степень влияния изучаемых факторов и выбрал их оптимальные значения, которые обеспечивают качественное отражение лишних семян из ячей. Как считает автор, при высеве семян средних размеров для нормальной работы

отражающего устройства, радиус отражающего ролика должен быть равен 2 миллиметра, что конструктивно невыполнимо.

Из этого следует тот факт, что невозможно использовать в барабанном высевающем аппарате, конструкции отражающего устройства в виде металлического отражающего ролика, из-за повышенного дробления семян.

Взаимодействие частиц с плоской или выпуклой ячеистой поверхностью широко исследовалось в работах [15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27]. Но движение семян по вогнутой ячеистой поверхности или внутри полого высевающего барабана имеет отличия. Этот процесс включает в себя такие стадии как: заполнение семенами внутренней полости барабана, западание семян в ячеи, отражение лишних семян и выталкивание (выпадение) семян из ячей в борозду или транспортирующий орган. Все эти стадии взаимосвязаны и процесс их протекания зависит от рабочих режимов и конструктивных параметров высевающего барабана, а также характеристик семенного материала.

2.2 Математическая модель движения единичного семени по внутренней поверхности высевающего барабана

Сделаем такое допущение, что на внутренней поверхности полого высевающего барабана, имеющего горизонтальную ось вращения, будет расположена единичная частица (семя). В этом случае, при процессе вращения высевающего барабана, на семя, которое принято за частицу, будут одновременно действовать силы, показанные на рисунке 2.4 [19]:

это сила тяжести:

$$G = mg, \quad (2.6)$$

где m - масса семени, килограмм;

g - ускорение свободного падения, метр/сек²;

это центробежная сила:

$$P_c = mR\omega^2, \quad (2.7)$$

где R - радиус барабана, м;

ω - угловая скорость вращения барабана, радиан/сек;

и сила трения:

$$F_r = fN, \quad (2.8)$$

где f - коэффициент трения;

N - нормальная реакция, Н.

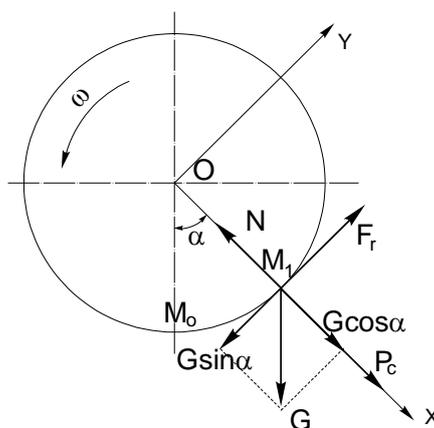


Рисунок 2.4 - Силы, действующие на семя, находящееся на внутренней поверхности полого высевающего барабана

Сделаем выбор оси координат с началом отсчета в точке O. В этом случае ось OX будет проходить через точку M_1 – которая определяет положение семени в момент времени t , при осуществлении поворота высевающего барабана на угол $\alpha = \omega t$. Затем ось OY направляется перпендикулярно оси OX. Подвижная

система координат будет вращаться вокруг точки O вместе с высевающим барабаном, имеющим постоянную скорость ω .

Осуществив проекции этих сил на касательную и нормаль в точке M_1 к окружности высевающего барабана, сможем составить дифференциальные уравнения движения семени по поверхности высевающего барабана:

$$N = mR\omega^2 + mg \cos \alpha ,$$

$$mr\alpha'' = F_r - mg \sin \alpha . \quad (2.9)$$

Определим предельный угол поворота барабана $\alpha = \omega t$, при котором семя будет расположено в покое по отношению к внутренней поверхности высевающего барабана. В этом случае будем иметь:

$$mR\omega^2 - N + mg \cos \alpha = 0, \quad (2.10)$$

$$F_r - mg \sin \alpha = 0$$

Из ранее приведенного уравнения 2.4 определим N :

$$N = m(\omega^2 R + g \cos \alpha) = mg \left(\frac{\omega^2 R}{g} + \cos \alpha \right) . \quad (2.11)$$

В уравнение, описываемое формулой 2.10 входит сила F_r , которая может принимать абсолютно любое значение, не превышающее $F_{ex} = fN$, где f – коэффициент трения, который в последующем будет выражаться через $\operatorname{tg} \varphi$.

В этом случае условие, описывающее относительный покой частицы, перепишем в следующем виде:

$$fN \geq mg \sin \alpha ,$$

или

$$tg\varphi N \geq mg \sin \alpha . \quad (2.12)$$

Осуществив постановку значения \mathbf{N} из формулы 2.11, получим:

$$\sin \alpha \leq tg\varphi \left(\frac{\omega^2 R}{g} + \cos \alpha \right) ,$$

$$\sin(\varphi - \alpha) \geq \frac{-\omega^2 R \sin \varphi}{g} , \quad (2.13)$$

или

$$\alpha \geq \varphi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 R \sin \varphi}{g}\right) . \quad (2.14)$$

Изменим вид выражения 2.14:

$$\alpha \geq \varphi + \arcsin(\lambda \sin \varphi) , \quad (2.15)$$

где $\lambda = \frac{\omega^2 R}{g}$, описывает отношение центростремительного ускорения к ускорению

силы тяжести и будет характеризовать режим вращения высевающего барабана.

Формула 2.15 будет определять условия, при котором находящееся на внутренней поверхности высевающего барабана семя не скользит по ней, а осуществляет движение совместно с внутренней вогнутой поверхностью высевающего барабана.

Следовательно, крайнее положение семени будет определяться формулой 2.15 при равенстве:

$$\alpha = \varphi + \arcsin(\lambda \sin \varphi)$$

или

$$\sin(\alpha - \varphi) = \lambda \sin \varphi . \quad (2.16)$$

В виду того, что $\sin(\alpha - \varphi)$ не может принимать значения превышающее единицу, то в этом случае правая часть уравнения примет вид:

$$\lambda \sin \varphi \leq 1 ,$$

из этого выражения, критическое значение λ_{ex} будет определяться при знаке равенства:

$$\lambda_{ex} = \frac{1}{\sin \varphi} . \quad (2.17)$$

Осуществив подстановку выражения 2.17 в формулу 2.16 получим значение предельного угла затаскивания семени по внутренней вогнутой поверхности высевающего барабана:

$$\alpha_{ex} = \varphi + \frac{\pi}{2} . \quad (2.18)$$

Выражение 2.14 расчетное, и по этому выражению, путем соответствующих подстановок, возможно получение кинематических элементов движения (скорость, предельный угол и пр.), связанных с конструктивными параметрами высевающей секции. По полученной формуле можно будет подобрать соотношение между различными величинами, которые обуславливают движение частицы по внутренней поверхности высевающего барабана.

Учитывая эту зависимость, в программе «Mathlab 8.0 for Windows®» на персональном компьютере произведен расчет значений радиуса барабана, угловой скорости вращения при различных величинах коэффициентов трения и исходя из результатов полученных значений будет построена номограмма для определения сектора западания семян, который ограничен предельным углом α_{ex} (рисунок 2.6).

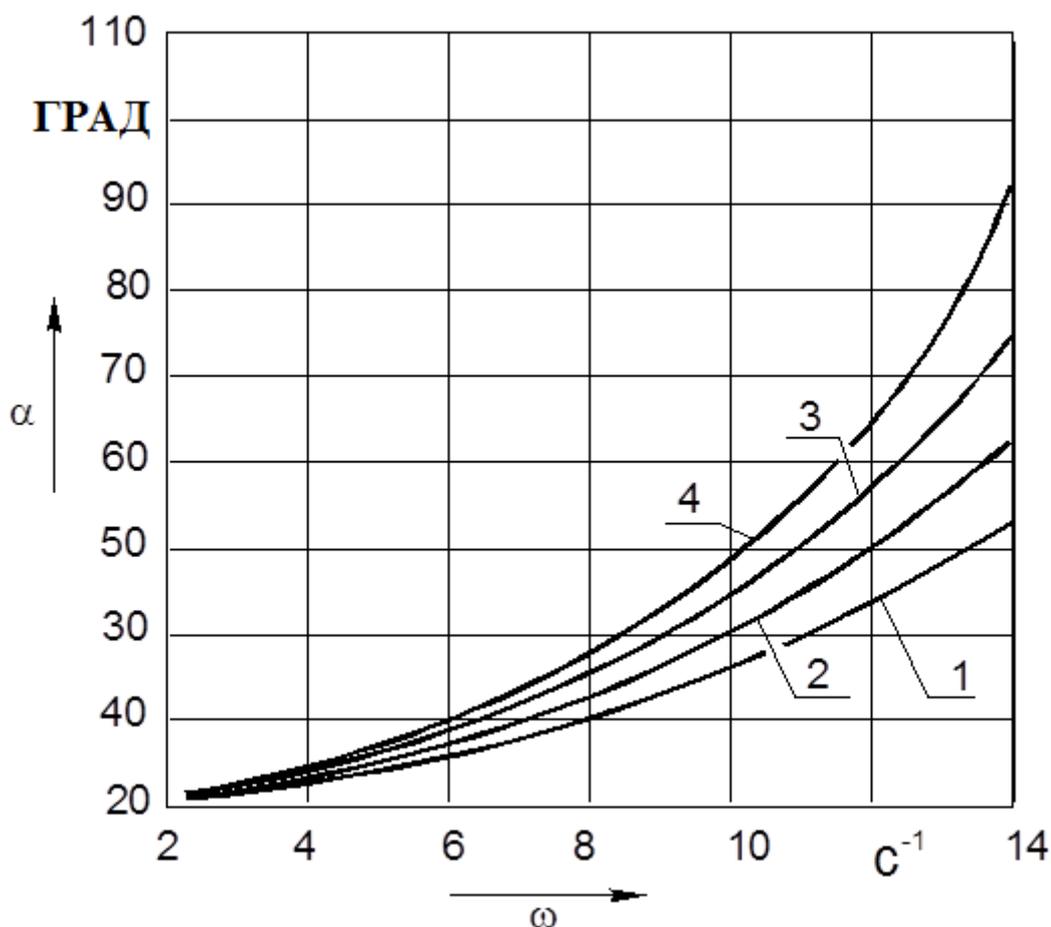


Рисунок 2.6 - Номограмма для определения угла затаскивания семени α в зависимости от угловой скорости высевающего барабана ω :

1 - $R=0,09$ м, 2- $R=0,11$ м, 3- $R=0,13$ м, 4- $R=0,15$ м

2.3 Теоретическая модель процесса. Исследование западания единичного семени в ячейку высевающего барабана

Сам процесс западания семян в ячейки обусловлен перемещением их по внутренней поверхности высевающего барабана. Во время исследования процесса западания семени в ячейку определенно следует владеть значением относительной скорости перемещения семян, ее критического значения, при котором западание семян в ячейку невыполнимо.

Значение предельной относительной скорости самым первым сформулировал академик В. П. Горячкин во время рассмотрения просеивания зерна через решето [28]. После проведения аналогии, стоит рассмотреть процесс западания семени шаровидной формы в ячейку горизонтального высевающего барабана, который движется с относительной скоростью V_d .

В то время как семя проходит над входным отверстием ячейки длиной l (рисунок 2.7.) центр его массы проходит путь:

$$l - r = V_d t ;$$

в вертикальном направлении

$$h = r = \frac{1}{2} g t^2 .$$

Если исключить время t получим:

$$V_d = (l - r) \sqrt{\frac{g}{2r}} . \quad (2.19)$$

Данное выражение было выведено В. П. Горячкиным из предположения, что движущееся зерно это шар с радиусом r . При большей скорости зерно не может попасть в ячейку (отверстие) длиной l .

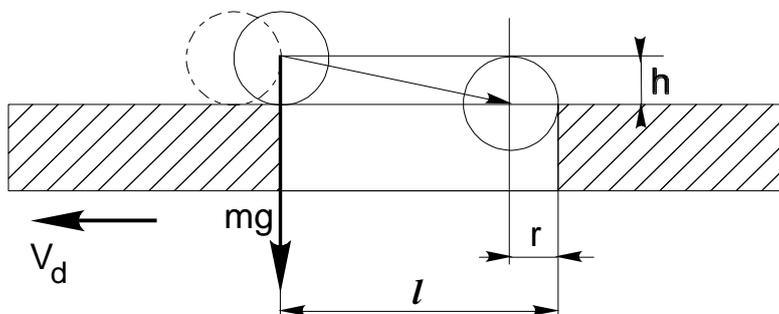


Рисунок 2.7 - Западание семян в ячею высевающего барабана

Будем считать эту скорость критической, отсюда следует, что главным условием западания семян в ячею будет наличие относительной скорости их ниже критического значения:

$$V_k \leq (l - r) \sqrt{\frac{g}{2r}} .$$

В данном случае диаметру ячеи или ее длине следует быть больше соответствующего размера семени.

В том случае, если движение семени происходит по вогнутой ячеистой поверхности, условия западания семени в ячею изменяются.

Рассмотрим процесс западания изолированного семени шаровидной формы, которое происходит при движении по внутренней ячеистой поверхности высевающего барабана. Во время западания семени в ячею скорость движения его по наклонной цилиндрической поверхности разлагается на две составляющие:

$$V_x = V \sin \alpha \quad \text{и} \quad V_y = V \cos \alpha . \quad (2.20)$$

Семя упадет в ячейку тогда, когда центр частицы будет находиться по крайней мере на линии **CD** поверхности ячейки (рисунок 2.7) или ниже ее. В другом случае семя будет вылетать из отверстия ячейки.

В процессе прохождения зерна через отверстие ячеи длиной L центр его массы преодолевает путь:

- в горизонтальном направлении

$$l_1 = V_y t = (L - r) \cos \left(\alpha - \frac{\beta}{2} \right) - r \sin \alpha ; \quad (2.23)$$

- в вертикальном направлении

$$h_1 = V_x t + \frac{gt^2}{2} = (L-r) \sin\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right) + r \cos \alpha, \quad (2.24)$$

где β - угол сегмента, хорда которого равна входному линейному размеру ячейки на внутренней поверхности высевающего барабана

$$\beta = 2 \arcsin \frac{L}{2R}. \quad (2.24)$$

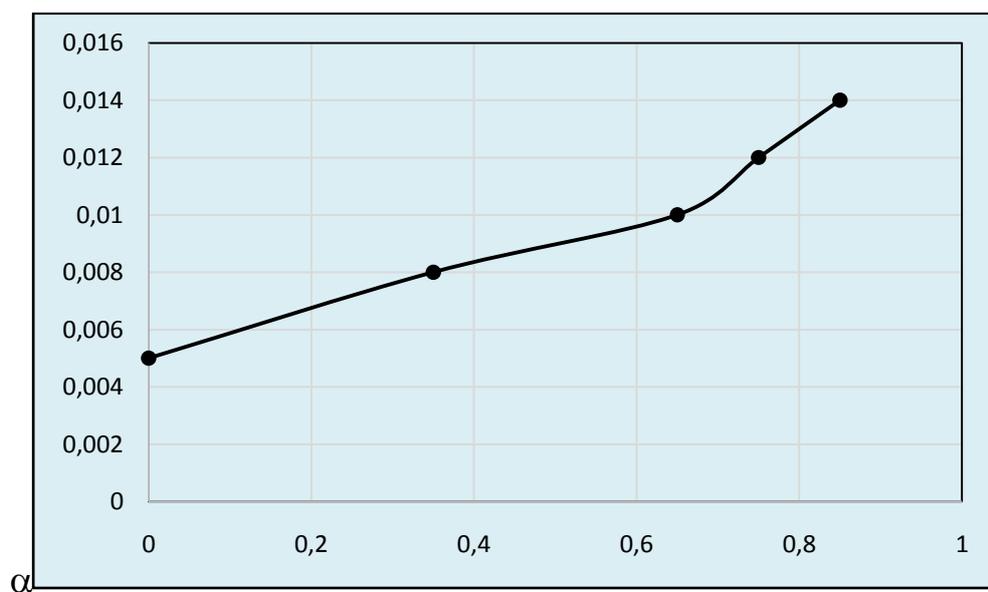
После исключения времени получаем значение критической скорости;

$$V = \cos \alpha \left[(L-r) \cos\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right) - r \sin \alpha \right] \times \sqrt{\frac{g}{2 \operatorname{tg} \alpha \left[(L-r) \cos\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right) - r \sin \alpha \right] + \left[(L-r) \sin\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right) + r \cos \alpha \right]}} \quad (2.25)$$

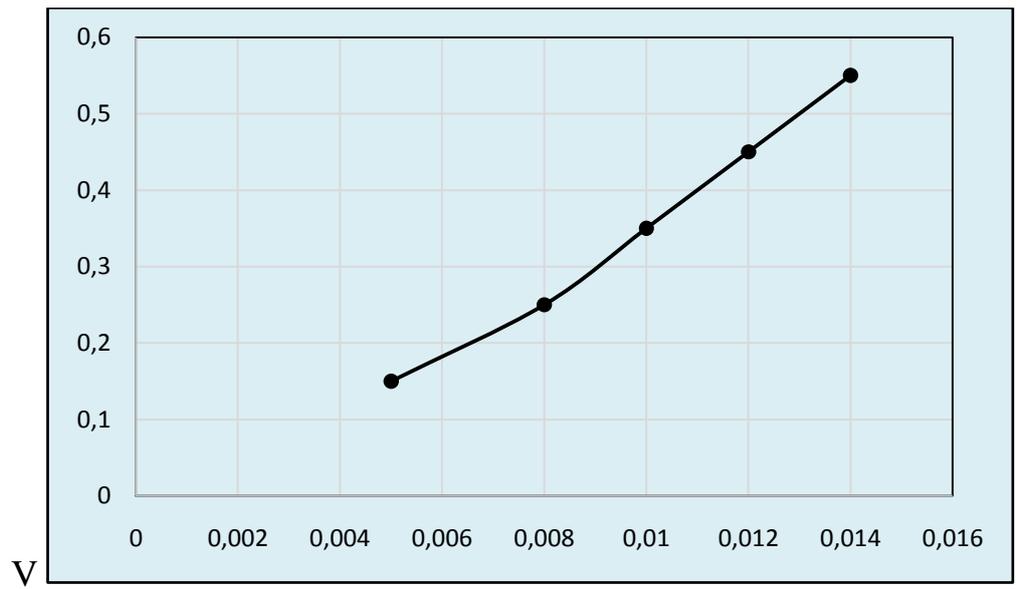
Если учитывать тот факт, что подкоренное выражение не должно принимать отрицательное значение, придется вводить ограничение на величину угла α , который не должен быть больше 45^0 . Графические зависимости критической скорости от длины ячейки и угла поворота высевающего барабана при различных значениях радиуса диска представлены на рисунке 2.8.

Проанализировав данные из графиков можно заметить, что самые лучшие условия для западания семян наблюдаются при меньших углах поворота барабана и больших значениях линейных размеров ячеек. Внутренний радиус ячеистой поверхности сильно влияет на величину критической скорости относительного перемещения семян по поверхности барабана. Так, при радиусе барабана, равном 0,06 метра максимальная критическая скорость семян относительно ячеистой поверхности, для семян диаметром 0,004 метра, в рассматриваемом диапазоне варьирования конструктивных параметров, она составляет 0,5 метров /сек. При радиусе высевающего барабана равном 0,20 метра значение критической скорости

не превышает 0,4 метра /сек. Но при уменьшении радиуса ячеистой поверхности следует снижение вероятности западания семян, из-за уменьшения длины зоны заполнения и числа встреч семян с ячейками.

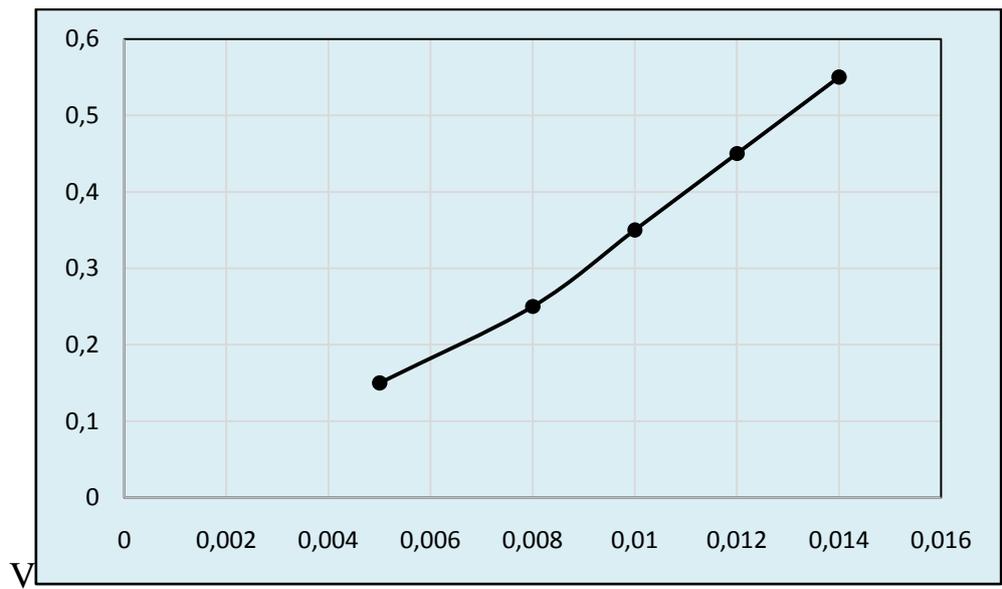


L

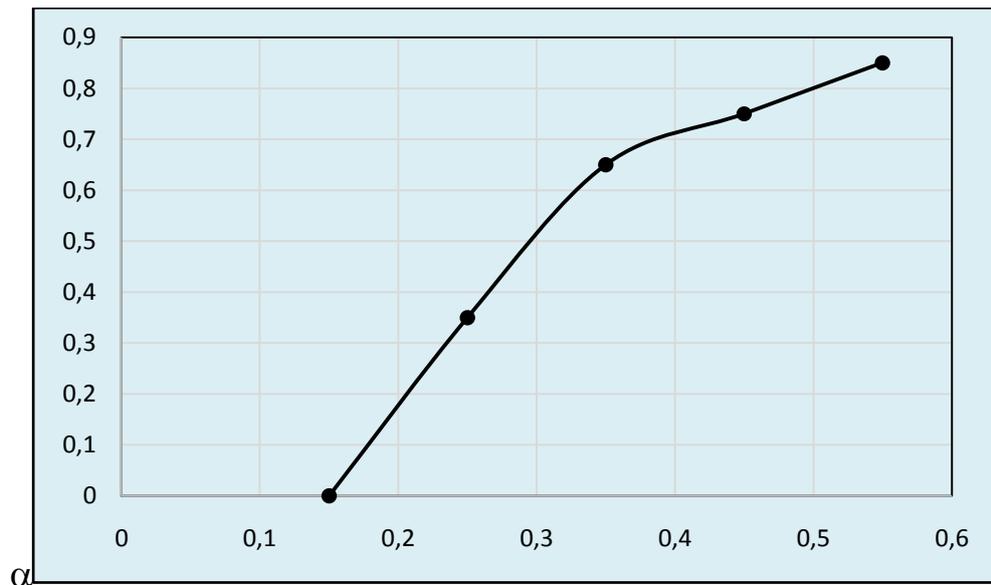


L

a)



L



V

б)

Рисунок 2.8 - Влияние угла поворота диска (α) длины ячейки (L) на критическую скорость западания семян при различной величине радиуса высевающего барабана: а) - $R=0,06$ м; б) - $R=0,20$ м.

На рисунке 2.9 - представлена практическая номограмма для выбора конструктивных параметров высевающего барабана в зависимости от среднегеометрического размера семени и скорости вращения высевающего барабана. Пунктирная линия на номограмме разделяет действительную (справа) и недействительную области рациональных значений конструктивных параметров. Из-за того, что выражение (2.25) выведено без учета соотношения линейных размеров ячейки и семян, действительная область номограммы ограничена прямой. $r = 0,6L$

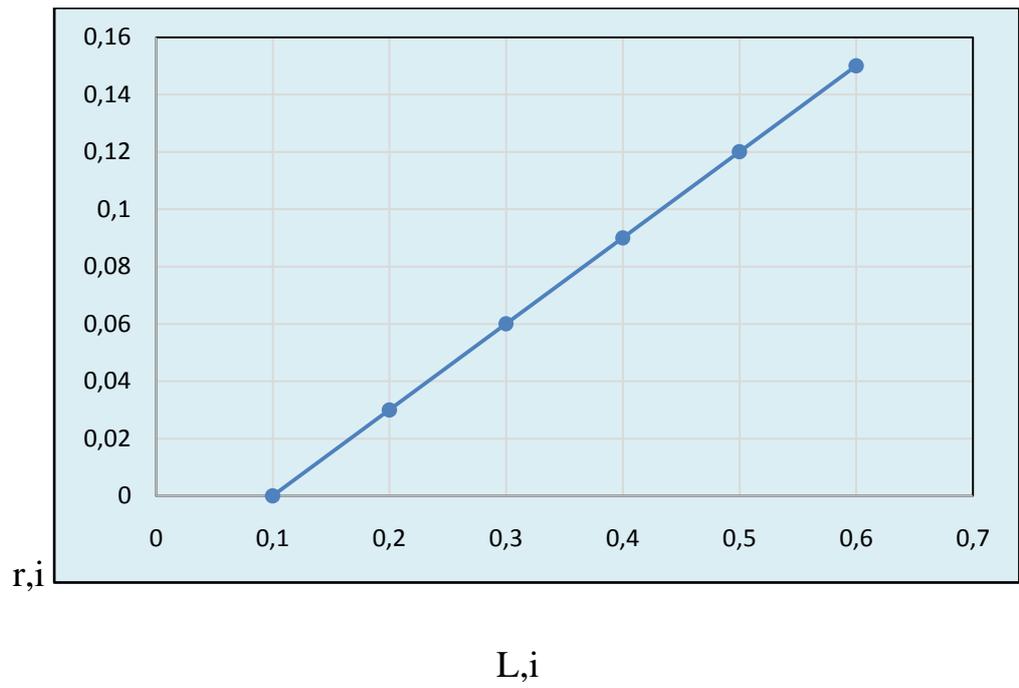


Рисунок 2.9 - Практическая номограмма для определения входного линейного размера ячеек (L) в зависимости от радиуса семени (r) и скорости вращения высевающего барабана (ω)

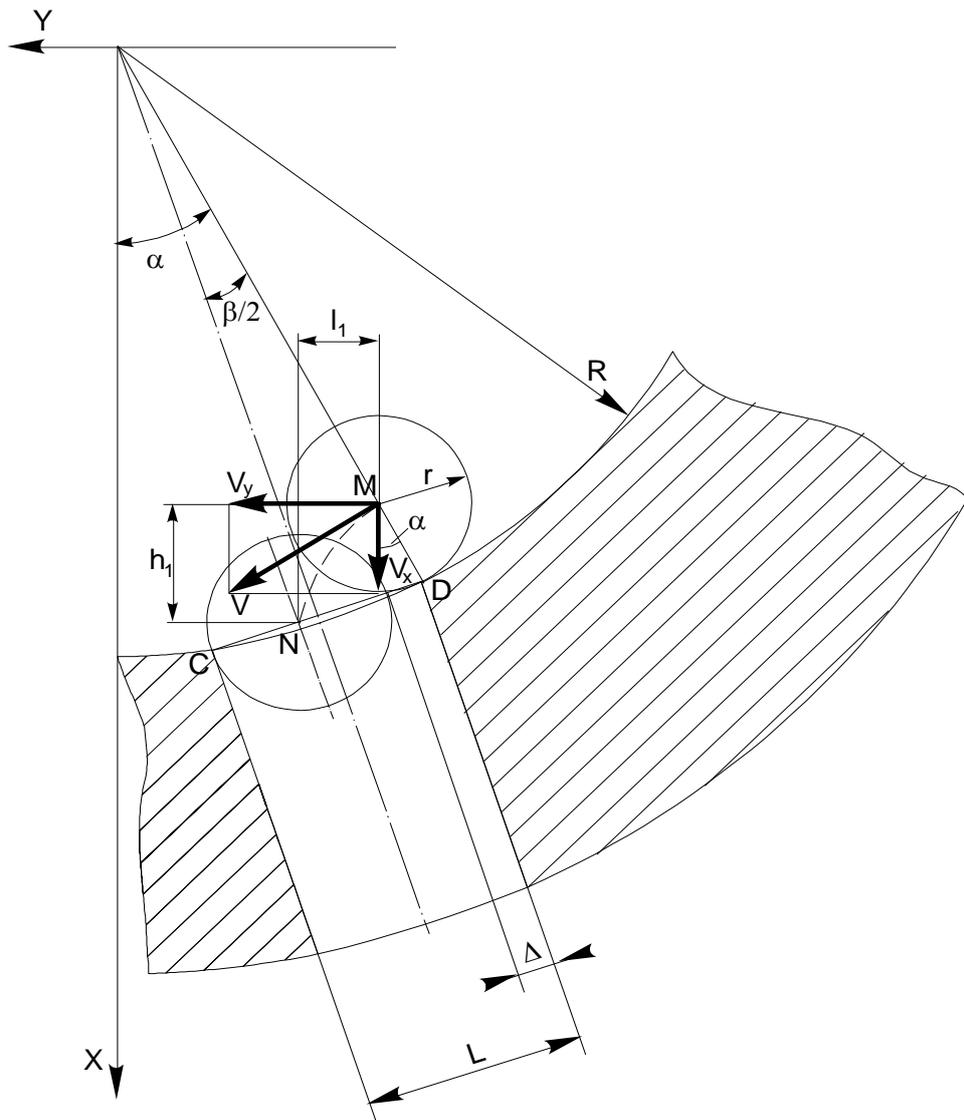


Рисунок 2.10 - Схема западания семени в ячейку барабана

Частным решением уравнения (2.25) при $\alpha=0$ и $\beta \rightarrow 0$ является уравнение (2.23). В то время как увеличивается угол затаскивания семени по внутренней поверхности, условия западания начинают, ухудшаться. Более того, центр тяжести зерна перекачивается вокруг точки **D** (рисунок 2.10), при этом траектория перекачивания зерна не может совпадать с траекторией свободного падения и при малых размерах ячейки западание зерна в нее при $\alpha=\alpha_{кр}$ становится невозможным.

Для обеспечения гарантированного западания при $\alpha_{кр}$ необходимо либо обеспечить достаточную ширину отверстия ячейки, либо оснастить отверстия ячейки входными фасками. В первом случае нет гарантии, что в ячейку попадет только одно семя. Входная фаска дает возможность уменьшить допуск на зазор между семенами и стенками ячеек, что повышает вероятность поодиочного отбора и уменьшает дробление семян.

Профиль входной фаски должен соответствовать траектории свободного падения семени из точки, соответствующей критическому углу затаскивания. Поэтому в сечении профилем фаски является парабола описываемая уравнением (рисунок 2.10):

$$y = \frac{gx^2}{2V_{hp}^2} \quad (2.26)$$

Глубина фаски соответствует линейному размеру углубления C у входа в ячейку, равный длине отрезка DD_1 (рисунок 2.10), который был получен при сечении ячейки плоскостью, которая в свою очередь перпендикулярна оси вращения барабана и проходит через ось симметрии ячейки. Фаска образовалась при помощи касательной M_1N_1 к поверхности семян, которые находятся в момент начала движения и момент западания, соответствующего совпадению центра массы семени точки N с прямой CD . Таким образом, из теоремы синусов треугольника DD_1D_2 получим:

$$\frac{DD_2}{\sin\left(\mu_1 - \frac{\beta}{2}\right)} = \frac{DD_1}{\sin \mu_1} \quad (2.27)$$

где μ_1 - угол наклона профиля фаски к радиусу диска в точке D_2 .

Угол μ_1 соответствует критическому положению семени при западании в ячейку, так как

$$\mu_1 = \alpha_{hp} + \operatorname{arctg} \frac{(L-r) \cos\left(\alpha_{hp} - \frac{\beta}{2}\right) - r \sin \alpha_{hp}}{(L-r) \sin\left(\alpha_{hp} - \frac{\beta}{2}\right) + r \cos \alpha_{hp}} \quad (2.28)$$

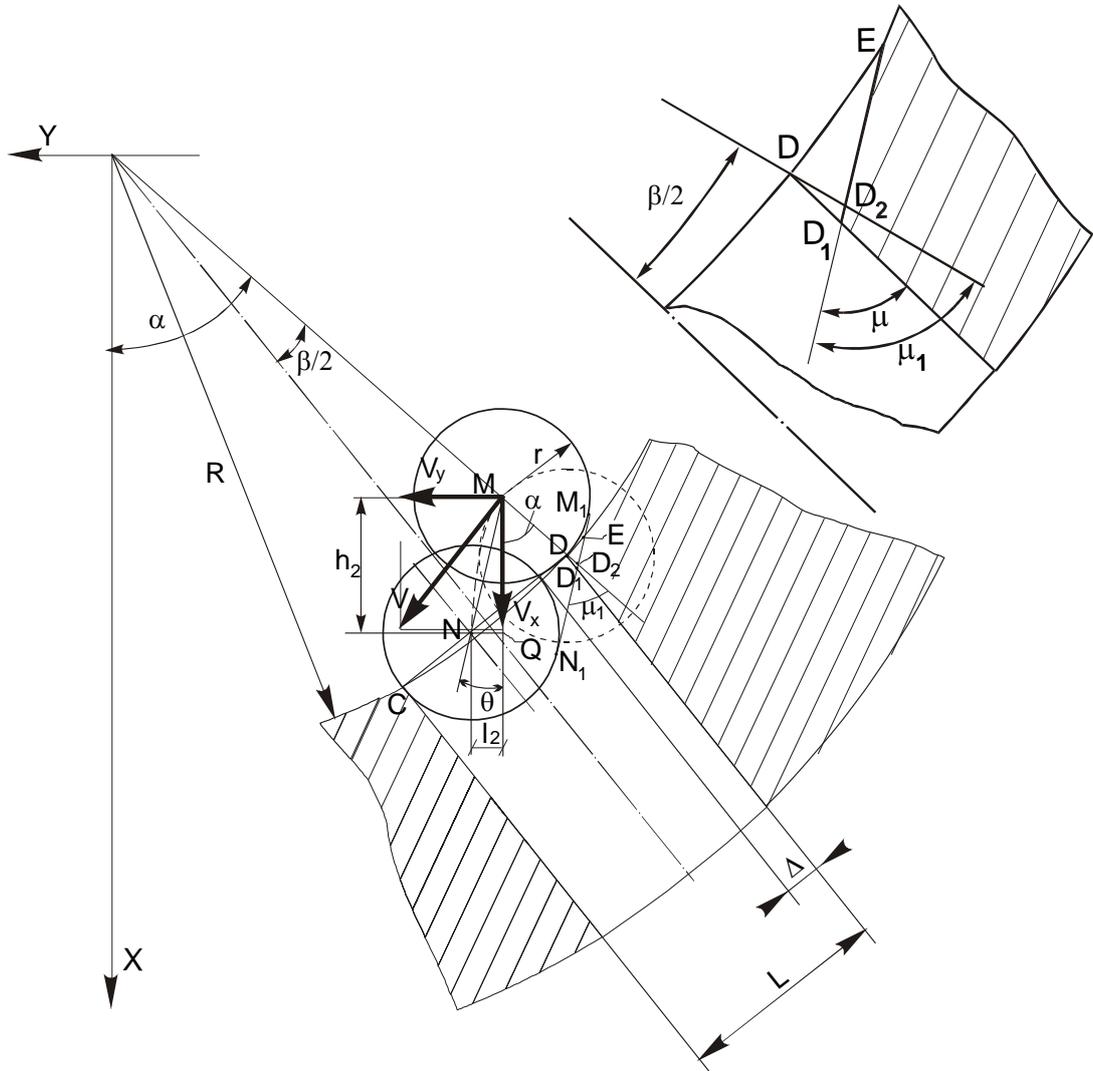
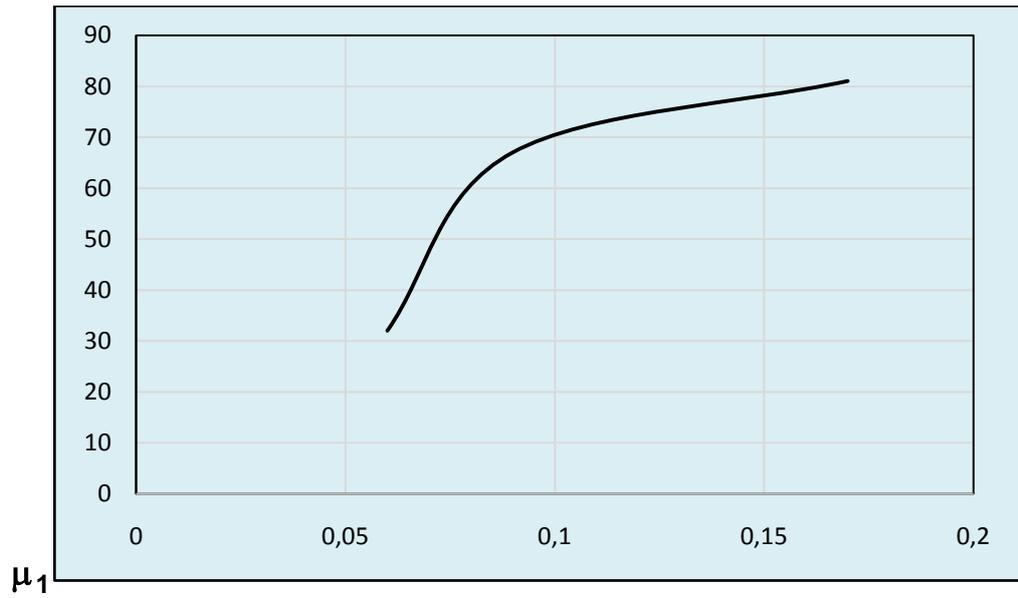
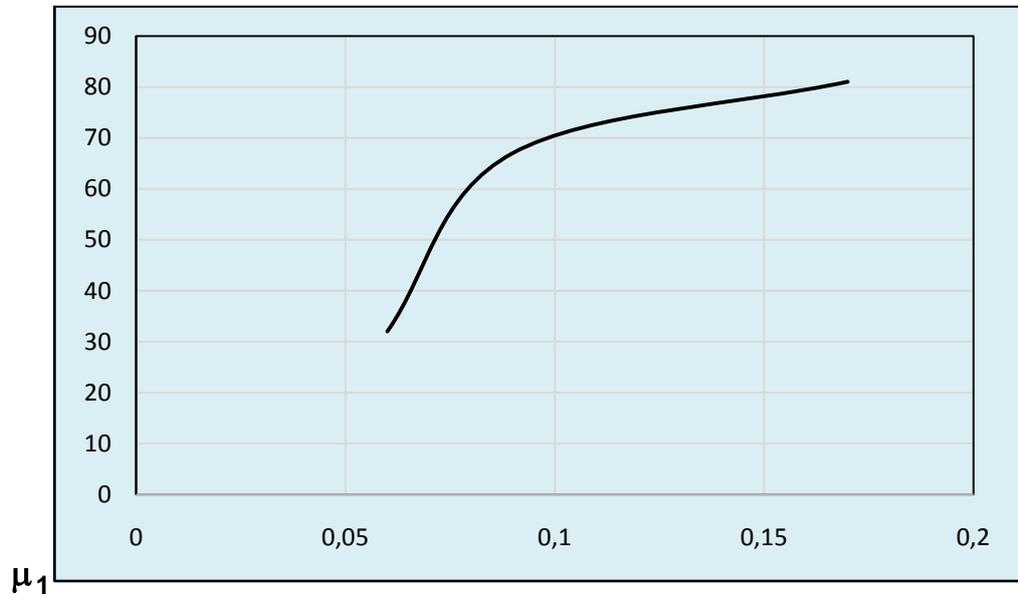


Рисунок 2.11 - К определению параметров входной фаски ячеи

Графическая зависимость, которая построена исходя из выражения (2.26) при $\alpha_{кр}=0,75$ рад. для барабана с радиусом внутренней ячеистой поверхности $R=0,1$ метра, представлена на рисунке 2.12.



r



L

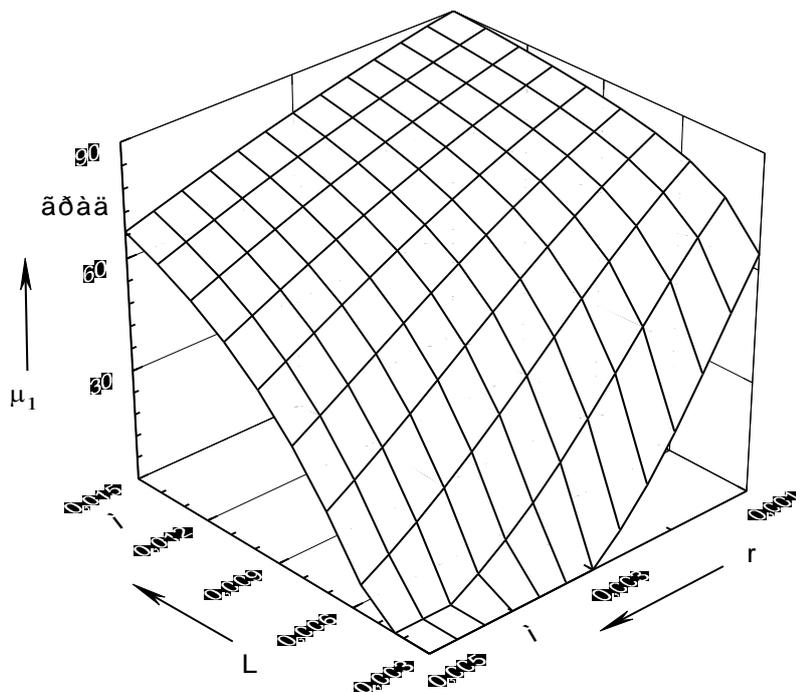


Рисунок 2.12 - Зависимость угла (μ_1) от длины ячей (L) и радиуса семени (r)

Проведя тщательный анализ приведенной графической зависимости, напрашивается тот факт, что при малом отношении длины ячей к радиусу барабана (в мелкосеменных культурах) происходит уменьшение угла μ_1 , а также определенно уменьшается нужда в фаске. Если увеличить выше названных величин, угол μ_1 увеличится до величины равной $90 - \beta/2$, тогда профиль фаски сливается с вертикальной стенкой ячейки.

Величину отрезка DD_2 определим из ΔMM_1D_2 (рисунок 2.11)

$$DD_2 = r \left(\frac{1}{\sin \mu_1} - 1 \right)$$

или

$$c = \frac{r(1 - \sin \mu_1)}{\sin \left(\mu_1 - \frac{\beta}{2} \right)} \quad (2.29)$$

Тогда, с учетом (2.27), (2,28) и $\mu_1 = \mu + \frac{\beta}{2}$, глубина входной фаски ячеи высевающего барабана составит

$$c = \frac{V_{hp}}{\operatorname{tg}(\mu + \beta/2)} \sqrt{\frac{2r(1 - \sin(\mu + \beta/2))}{g \sin \mu}}. \quad (2.30)$$

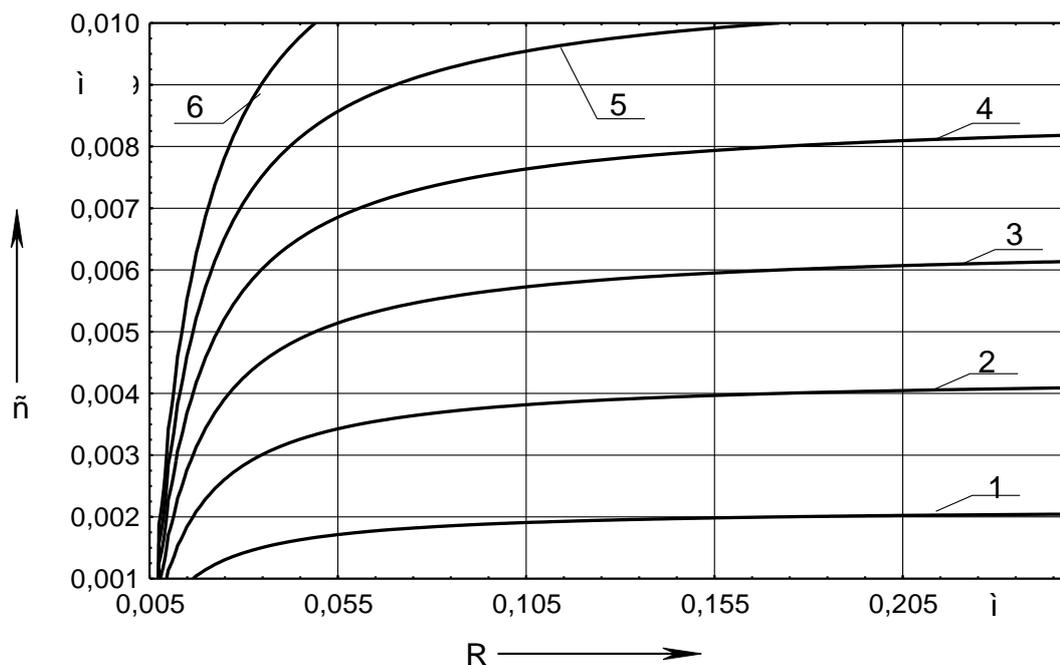


Рисунок 2.13 - Зависимость глубины входной фаски ячеи (с) от радиуса высевающего барабана (R) для различных значений окружных скоростей:

1 - $V=0,05$ метров /сек; 2 - $V=0,10$ метра /сек; 3 - $V=0,15$ метров /сек; 4 - $V=0,20$ метра /сек; 5 - $V=0,25$ метра /сек; 6 - $V=0,30$ метра /сек.

Проведя анализ процесса западания семени в ячеи барабана, следует отметить что: величина входной фаски для ячеек, которые находятся на вогнутой поверхности меньше, чем на плоской и выпуклой поверхности, что уменьшает вероятность попадания в ячейки нескольких семян.

2.4 Теоретическое описание процесса взаимодействия роторного отражателя с единичным семенем

Процесс одиночного отбора семян механическими высевальными аппаратами включает в себя стадию освобождения уже заполненных ячеек от «лишних» семян. Многочисленные работы [7,8,9,11,12,13,18], посвященные этому вопросу, исследуют в основном роликовые отражатели, работающие на выпуклых или плоских поверхностях высевальных барабанов. Процесс очистки от посторонних включений, с использованием волосяной цилиндрической щетки, применительно к триерным барабанам, рассмотрен в работах [29,30,31,32,33]. Однако, процесс отсечения «лишних» семян с внутренней поверхности высевального барабана, отражателем имеющим эластичный ворс, остается аналитически не исследованным.

Рассмотрим работу роторного отражателя, расположенного внутри высевального барабана под некоторым углом β (рисунок 2.14). Линейная скорость отражателя в точке касания Q с поверхностью барабана больше линейной скорости точки на внутренней поверхности барабана и направлена в противоположную сторону. Отражение семени шаровидной формы происходит под действием силы тяжести и сил трения семени о поверхность диска $F_{тр}$ и роторного отражателя F_1 . Силы давления на семя со стороны ролика и барабана будут соответственно равны:

$$N_r = \frac{mg(f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sin \varphi_3}, \quad (2.31)$$

$$N_R = mg \cdot \cos \alpha,$$

$$\text{где } \varphi_3 = 180^\circ - \varphi_1 - \varphi_2.$$

Углы φ_1 и φ_2 зависят от отношения R , R_1 и r . Из ΔOO_1O_2 определим φ_1 и φ_2 :

$$\sin \varphi_1 = \frac{(R-r) \cdot \sin \varphi_2}{R_1+r} \quad (2.32)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{(R-R_1)^2 + (R-r)^2 - (R_1+r)^2}{2(R-R_1)(R-r)} \quad (2.33)$$

Действие сил $F_{тр}$ и F_1 приводит к возникновению вращающего момента, вследствие которого семя скатывается с поверхности в нижнюю точку внутренней полости барабана или происходит западание в ячейке.

Хотя из-за неравномерности линейных размеров семян высеваемой фракции и наличия входных фасок возможны западания в ячейку двух и более семян размерами меньше среднего. Таким образом, возникает необходимость удаления из ячеек верхних («лишних») семян.

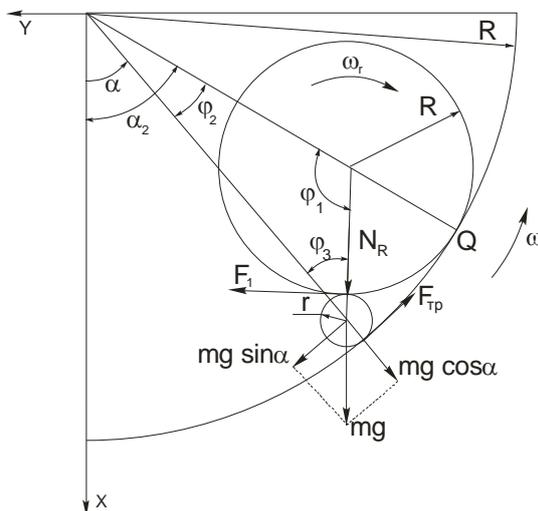


Рисунок 2.14 - Схема отражения семени роторным отражателем с внутренней поверхности барабана

Семя которое находится сверху может иметь два положения: соприкасаться с верхней кромкой ячейки в точке **D** и с верхней кромкой **Q** в точке **C**. Принимает второе положение во время вращения барабана.

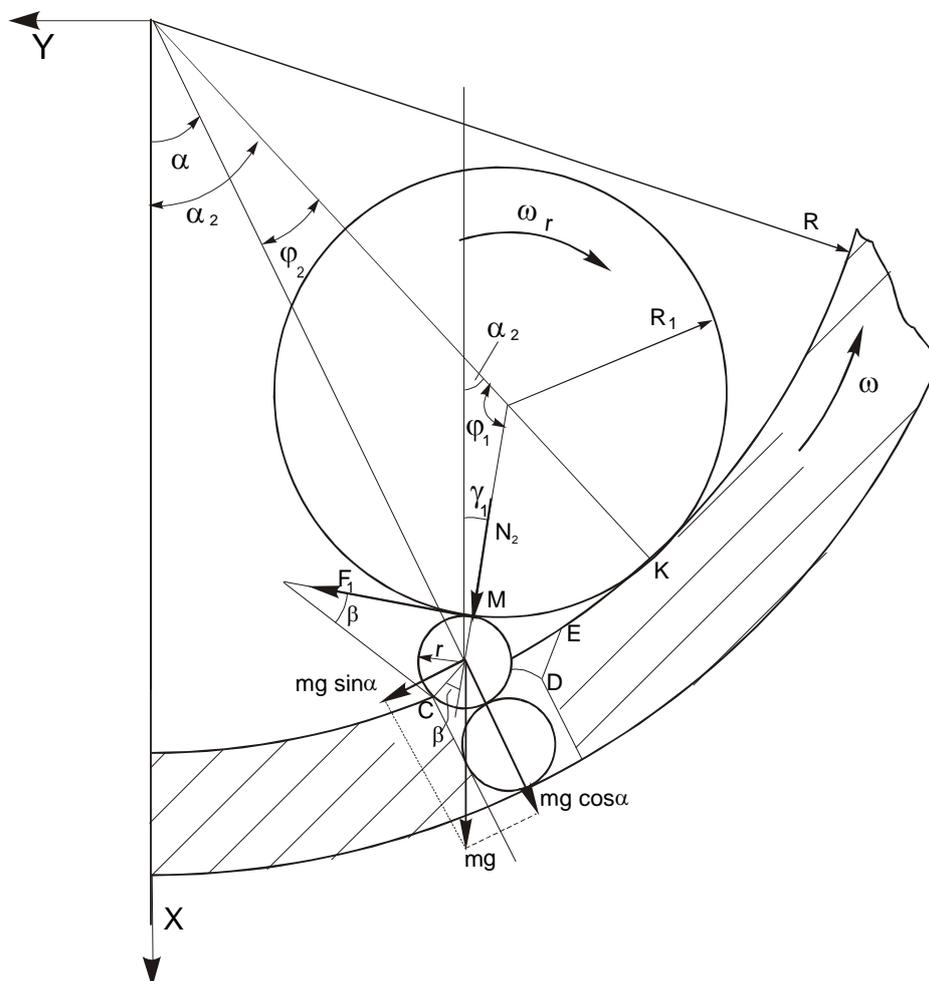


Рисунок 2.15 – Принцип работы роторного отражателя при удалении «лишнего» семени

При рассмотрении плоскую систему сил в момент касания семенем кромки ячейки в точке **C** и роторного отражателя в точке **M**. Через этот угол проводятся касательные, которые образуют угол, а результирующая нормальных сил, проведенных из точек **K** и **M**, направлена в глубь ячеек. Сила трения **F₁** выводит семя из ячейки с вращением относительно точки **C**. При рассмотрении расстояния **MC < 2r**, видно, что роторный отражатель с жёсткой поверхностью не имеет возможности вывести «лишнее» семя из ячейки. При использовании щеточного роторного отражателя нормальная реакция в момент контакта с семенем

увеличивается по мере поворота диска, что влечет за собой возрастание силы трения F_1 и соответственно вращающего момента от этой силы, приложенного к точке С. Запишем условие извлечения семени из ячейки:

$$F_1(1 + \cos \beta) > N_2 \cdot \sin \beta + mg \sin(\beta + \gamma_1), \quad (2.34)$$

где F_1 - сила трения поверхности щеточного роторного отражателя и семени, $F_1 = f_1 \cdot N_2$;

γ_1 - угол между направлением действия на «лишнее» семя сил тяжести и нормалью к поверхности отражателя.

Отсюда сила давления щеточного отражателя на «лишнее» семя:

$$N_2 \geq \frac{mg \sin(\beta + \gamma_1)}{f_1(1 + \cos \beta) - \sin \beta}. \quad (2.35)$$

Выражение (2.35) справедливо для щеточного роторного отражателя с плотным ворсом и не учитывает изгиб отдельных ворсинок. Так, по мере поворота высевающего диска деформация упругого ворса в точке взаимодействия с «лишним» семенем будет близка по характеру к изгибу консольно закрепленного стержня (рисунок 2.15).

Прогиб ворса в точке М, касания с семенем от действия силы, противодействующей Р, будет [44]:

$$b = \frac{P \cdot l_k^3}{3EJ}, \quad (2.36)$$

где l_k - проекция расстояния от консольно закрепленного конца ворса до точки касания с семенем на отрезок, соединяющий центры роторного отражателя и семени, метр;

E - модуль упругости материала ворса, Н /м²;

J - полярный момент инерции m^4 .

Для круглого консольно закрепленного стержня:

$$J = \frac{\pi d_b^4}{64}, \quad (2.37)$$

где d_b - диаметр вorsa.

Угол отгиба Θ_{II} вorsa определяется, как первая производная от прогиба [44]:

$$\Theta_n = b' = \frac{Pl_k^2}{2EJ}. \quad (2.38)$$

Диаметр и жесткость вorsa определим из условия выталкивания «лишнего» семени из ячей под действием упругих сил, изгибающих вorsa на величину b .

Условие выталкивания семени определяется из уравнения моментов действующих сил при вращении семени вокруг точки C (рисунок 2.15):

$$mgsin \left[\arccos \frac{2r(\Delta_{III} - 2r) + \Delta_{III}^2}{\sqrt{2r(\Delta_{III} + r) + \Delta_{III}^2}} - \text{arctg} \left(\frac{\Delta_{III} + r}{r} \right) - \alpha \right] + \quad (2.39)$$

$$+ N_2 \cos(\varphi_3 - \arcsin b/r - \xi) - N_2 f_1 [\cos(\varphi_3 - \Theta_n - \xi) + 1] < 0$$

Во время поворота барабана на определённый угол α произойдет уменьшение первой составляющей суммы моментов по формуле (2.39). Поэтому, учитывая это обстоятельство, и то, что сила тяжести семени незначительна по сравнению с силой предельного отгиба вorsa роторного отражателя, сделаем допущение, что момент от действия силы трения должен быть больше момента силы отгиба вorsa.

Тогда,

$$N_2 f_1 [\cos(\varphi_3 - \Theta_n - \xi) + 1] > N_2 \cos(\varphi_3 - \arcsin b/r - \xi)$$

или

$$\cos(\varphi_3 - \arcsin b/r - \xi) > \frac{f_1}{1 - f_1}, \quad (2.40)$$

где $\varphi_3 = \arccos \left[\frac{R_1(R_1 + R + r) + r(r - R)}{(r + R)(R - r)} \right];$

$$\xi = \frac{\pi}{2} + \left[\arccos \frac{2r(\Delta_{III} - 2r) + \Delta_{III}^2}{\sqrt{2r(\Delta_{III} + r) + \Delta_{III}^2}} - \operatorname{arctg} \left(\frac{r + \Delta_{III}}{r} \right) \right].$$

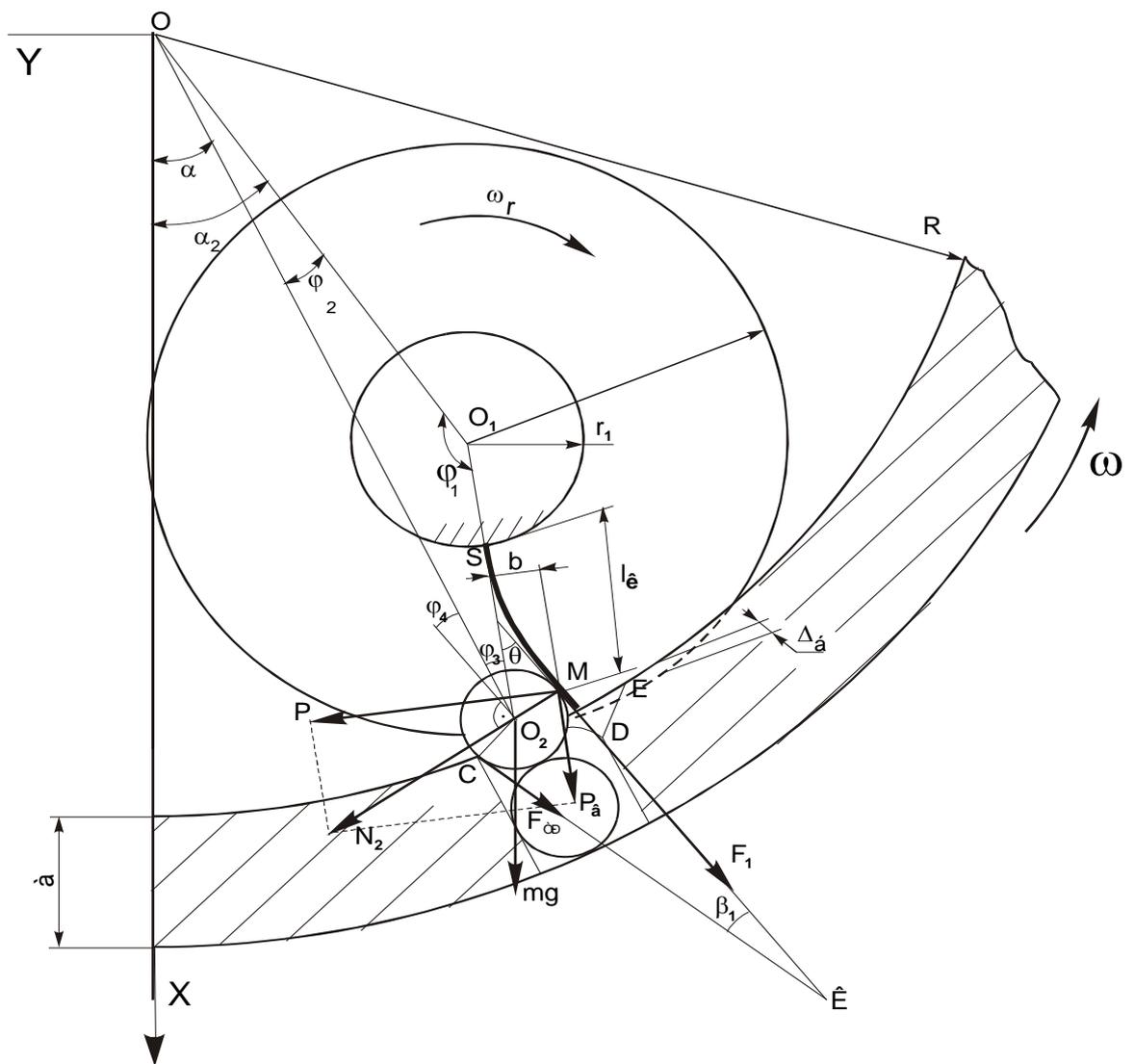


Рисунок 2.16 - К определению условия выталкивания лишнего семени

После соответствующих подстановок:

$$b < r \sin \left(\varphi_3 - \xi - \arccos \frac{f_1}{1-f_1} \right). \quad (2.41)$$

Частным решением уравнения (2.41) при $\Delta \ddot{y} = \mathbf{0}$, то есть тогда, когда глубина ячейки равна диаметру семени, будет:

$$b < r \left\{ \frac{f_1}{1-f_1} \left[\frac{R_1(R_1 + R + r) + r(r - R)}{(r + R)(R - r)} \right] + \sqrt{1 - \left[\frac{R_1(R_1 + R + r) + r(r - R)}{(r + R)(R - r)} \right]^2} \right\} \times \sqrt{1 - \left(\frac{f_1}{1-f_1} \right)^2}. \quad (2.42)$$

Жесткость ворса высчитывается из формулы

$$EJ = \frac{\left(R = \Delta_{III} - r - r_1 - \sqrt{r^2 - b^2} \right)^3 mg \left(\frac{\cos \alpha - \sin \alpha}{\sin \varphi_3} \right)}{3b}, \quad (2.43)$$

где r_1 - внутренний диаметр роторного отражателя, метр.

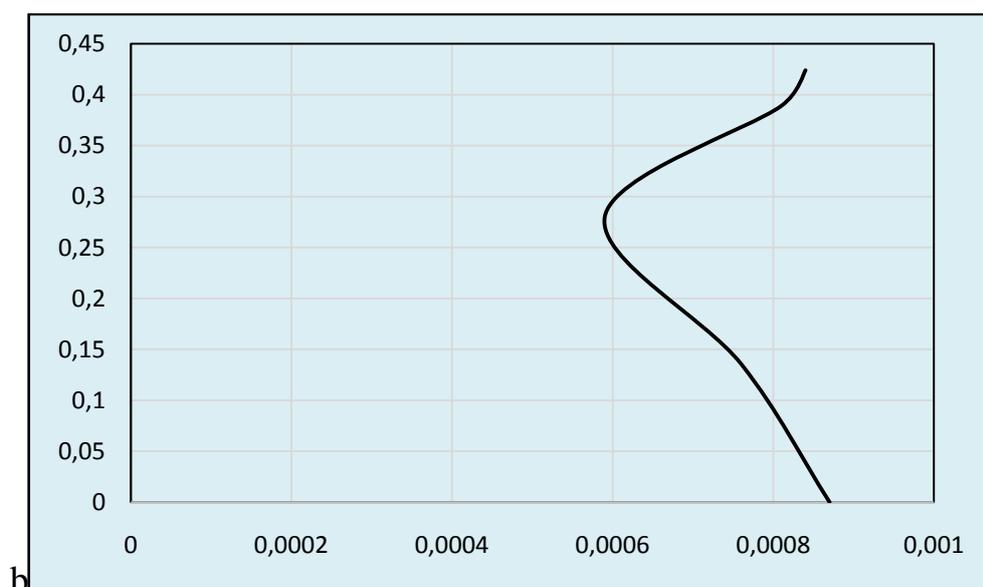
Исходя из выражений (2.41) и (2.42) строятся зависимости, которые характеризуют изменение прогиба ворса и жесткости ворса в зависимости от его длины и диаметра роторного отражателя. Длина ворса высчитывается из формулы:

$$l_b = R_1 - r_1. \quad (2.44)$$

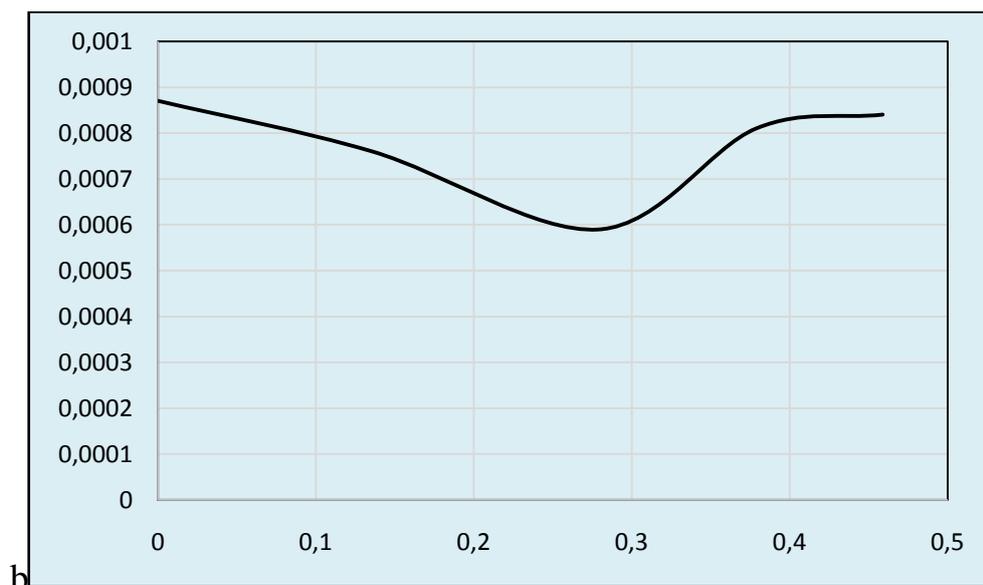
Диаметр ворса роторного щеточного отражателя:

$$d = \sqrt[4]{\frac{72r \cdot \cos \Theta_n}{\pi \Theta_n E}}. \quad (2.45)$$

Уравнения, приведённые выше, позволяют определять параметры элементов конструкции ротационного щеточного отражателя в случае контакта одной ворсинки с одним семенем, в случае высева мелкосеменных культур (рапс, люцерна). Для определения диаметра и материала ворса для щеточного отражателя, который предназначен для высева более крупных семян (гречиха, подсолнечник), важным фактором будет являться густота ворса и его равномерность.



R_1



f_1

Рисунок 2.17 - Зависимость прогиба ворса (b) в зависимости от диаметра роторного отражателя (R_1) и коэффициента трения материала ворса о поверхность семени (f_1)

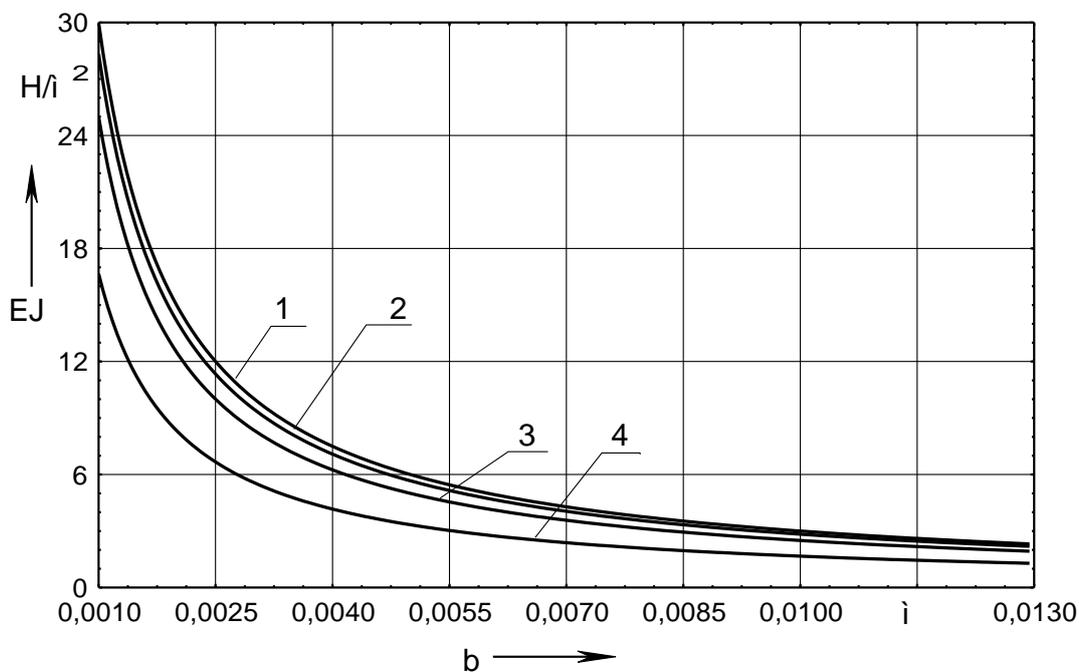


Рисунок 2.18 - Изменение жесткости ворса (EJ) в зависимости от величины прогиба (b) при различной длине ворсинок:

1 - $l_b=0,030$ м ; 2 - $l_b=0,024$ м ; 3 - $l_b=0,018$ м ; 4 - $l_b=0,012$ м ;

Равномерность ворса характеризуется коэффициентом равномерности $\kappa_{рв} = 0,5 \dots 0,8$ [17]. От густоты ворса зависит количество ворсинок, проходящих над одной ячейкой барабана за время $t_{я}$:

$$t_{ш} = \frac{\arcsin \frac{L}{2R}}{2\pi\omega_b}, \quad (2.46)$$

где L - размер ячейки, $L=(1,05 \dots 1,15)d_c$.

Из условия технологической эффективности работы ротационного щеточного отражателя густота ворса должна выбираться с учетом коэффициента перекрытия $k_{пер} = 1,0...1,2$ [20]:

$$N_d = K_{\text{зр}} L \cdot \pi (R_1 - l_b) \cdot (1 \pm K_p) \cdot \arcsin \frac{L}{2R}, \quad (2.47)$$

где R_1 - диаметр роторного отражателя, метр;

l_b - длина ворса, метр;

K_p - отношение угловых скоростей диска и отражателя; $K_p = \frac{\omega \delta}{\omega_r}$.

Знак «+» в выражении (2.47) принимается при противоположном направлении вращения барабана, знак минус «-» при одинаковом направлении окружной скорости отражателя и барабана в точке касания.

2.5 Графоаналитическая модель процесса влияния параметров высевающего аппарата на точность высева

Интенсификация работы высевающих барабанов пунктирных сеялок требует более углубленного изучения закономерностей, которые относятся к протеканию процессов высева с учетом вероятности одиночного заполнения ячей в зависимости от конструктивных параметров рабочих органов.

Модель разрабатывалась, основываясь на теоретических предпосылках, которые описывают процесс одиночного заполнения ячеек, изложенных выше, а также прибегая к методам, изложенным в данных литературных источниках [18,34,35,36,37,38,39,40,41,42].

Во время перехода от качественных оценок к количественным, следует формализовать процессы, которые происходят в исследуемом объекте, а также проводить математическое описание начальных параметров. Стремившись к сближению модели и оригинала, можно почти всегда получить усложнение модели и повышение трудности ее исследования [18,38].

Взяв во внимание вышесказанные факты, во время исследования вероятности одиночного западания семян в ячеи, были приняты такие допущения: семена имеют форму шара, но движутся по ячеистой поверхности без качения; изменчивость размерной характеристики семян подчиняется закону нормального распределения; семя будет считаться запавшим в ячею, когда его центр тяжести пересечет плоскость, которая ограничивает объем ячейки сверху; семя движется по внутренней ячеистой поверхности равномерно, и его относительная скорость направлена в сторону противоположную направлению вращения барабана и равна его окружной скорости.

В данном случае, положение слоя семян в первом приближении можно определить центральным углом $\alpha_{\text{нб}}$, соответствующим середине хорды зоны заполнения (рисунок 2.19). Наихудшие условия западания семени в ячейку - верхняя точка слоя.

Рассматривая процесс западания семени, которое находится в верхней точке слоя, в ячейку, считая что она пройдя под слоем семян осталась незаполненной (рисунок 2.19).

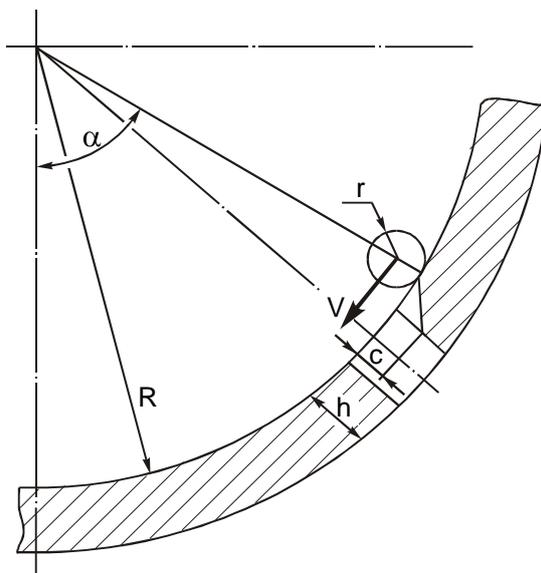


Рисунок 2.19 - К определению вероятности заполнения ячейки

Размер семени находится в интервале

$$r_{\min} < r < r_{\max}. \quad (2.48)$$

Если принять, что

$$|r - r_o| < \varepsilon, \quad (2.49)$$

где r_o - средний радиус семени, метр;

r - текущее значение радиуса семени, метр;

ε - величина, которая характеризует изменчивость размерной характеристики, метр.

То, текущее значение размера семени расположено в пределах

$$r_{\min} < r_o - \varepsilon < r < r_o + \varepsilon < r_{\max}, \quad (2.50)$$

где $\varepsilon > 0$.

Длина (диаметр) ячейки

$$L = 2r + \Delta, \text{ при } \Delta > 0, \quad (2.51)$$

где Δ - 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.

В случае потери точки опоры на поверхности высевающего барабана, частица будет совершать свободное падение с некоторой начальной скоростью $V = \omega R$. Рассмотрев дифференциальное уравнение движения семени, после того, как оно оторвется от поверхности высевающего барабана, будем иметь возможность определить значение критической скорости, при которой возможно западание семени в ячейку высевающего барабана:

$$\omega R = \frac{ctg\mu + L - r}{\sqrt{\frac{2[(ctg\mu + L - r)\sin\alpha + r]}{g}}}. \quad (2.52)$$

Из вышеприведенного уравнения 2.52 сможем определить радиус семени:

$$r = \frac{[\omega^2 R^2 (1 + \sin\alpha) - g(ctg\mu + \Delta)]_+}{g} + \frac{\sqrt{\omega^4 R^4 (1 + \sin\alpha)^2 - 2\omega^2 R^2 g(ctg\mu + \Delta)}}{g}. \quad (2.53)$$

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

- значение критического угла α_{hp} подъема высеваемого семени по внутренней ячеистой поверхности высевающего барабана должно будет описываться выражением:

$$\alpha_{hp} \geq \arcsin \left[\frac{\sqrt{2g(ctg\mu + \Delta)}}{\omega R} - 1 \right]; \quad (2.54)$$

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

$$0 < \omega \leq \frac{\sqrt{2g(ctg\mu + \Delta)}}{R}. \quad (2.55)$$

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

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma}} dr. \quad (2.56)$$

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

$$P(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\alpha_{hp}} e^{-\frac{\left[\frac{p(1+\sin \alpha) - q + \sqrt{p^2(1+\sin \alpha)^2 - 2pq}}{g} - r_0 \right]^2}{2\sigma}} d\alpha, \quad (2.57)$$

где $p = \omega^2 R^2$; $q = g(ctg\mu + \Delta)$.

Проводя анализ приведенной модели, описывающей вероятность заполнения ячей, находящихся под слоем семян, в процессе изменения положения ячей от $\alpha = 0$ до $\alpha = \alpha_{hp}$, следует отметить так же, что вероятность заполнения

ячей зависит и от выравненности фракции высеваемых семян, то есть от размера среднеквадратического отклонения. Так же можно заметить, что параметр, который определяет диаметр ячейки, требователен к такому показателю, как качество калибровки семенного материала перед высевом. В этом случае, если диаметр ячеек не превышает размер самого большого семени фракции, то слой семян, спустя некоторое время с начала работы аппарата пунктирного высева, который находится внутри высевающего барабана, будет целиком состоять из крупных семян, по своему размеру не запавших в ячей барабана. Следовательно, при подборе высевающего барабана для различных фракций, необходимо соблюдение следующего условия по критерию размера ячеек:

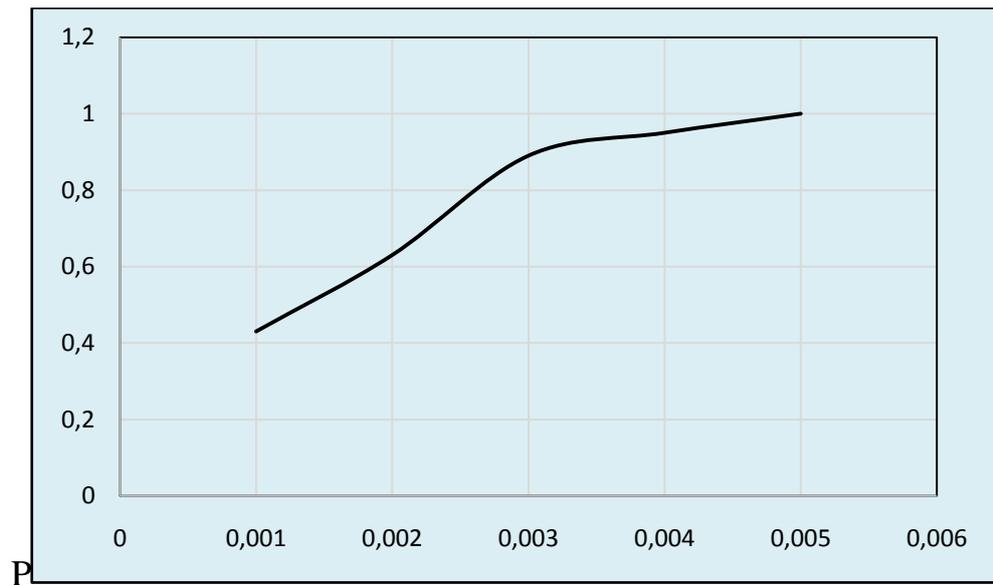
$$L > 2(r_o + \varepsilon) \quad (2.58)$$

если известно среднеквадратическое отклонение

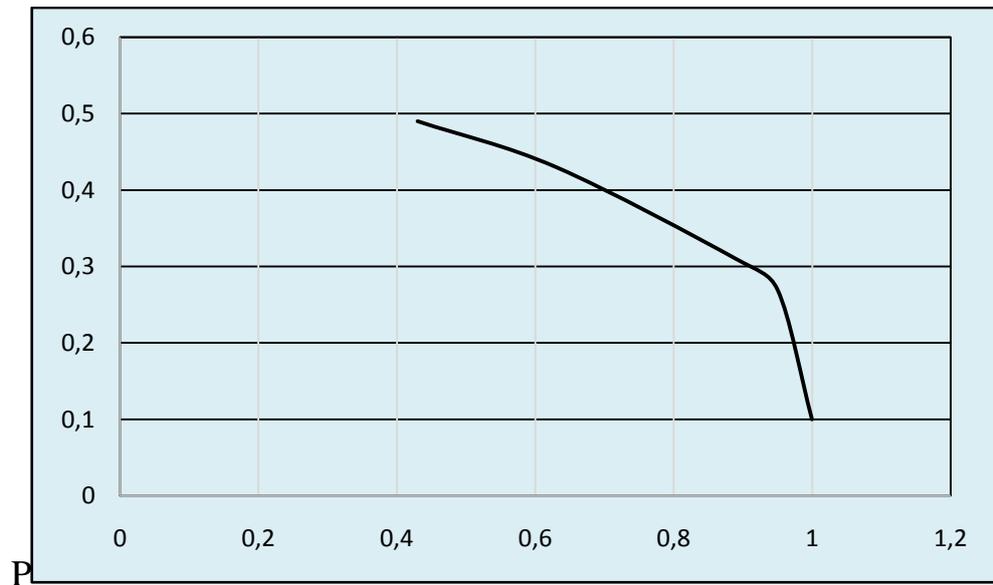
$$L > 2(r_o + 3\sigma) . \quad (2.59)$$

С увеличением скорости вращения высевающего барабана, а так же радиуса внутренней поверхности высевающего барабана в интервале исследования, приведет к снижению вероятности заполнения ячеек. Вероятность будет повышаться в зависимости от увеличения размеров входной фаски и увеличения величины допуска на диаметр ячейки высевающего барабана.

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

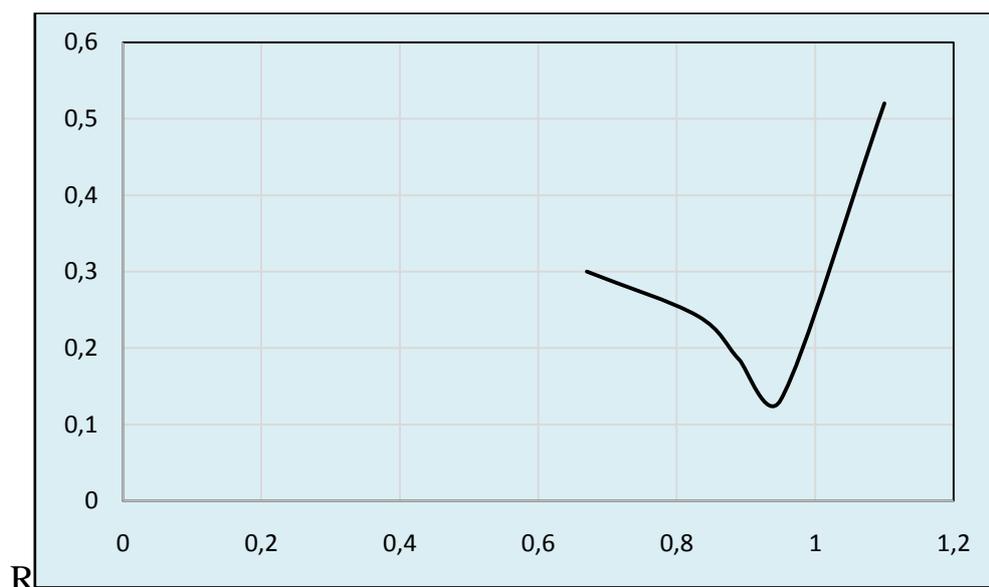


Δ

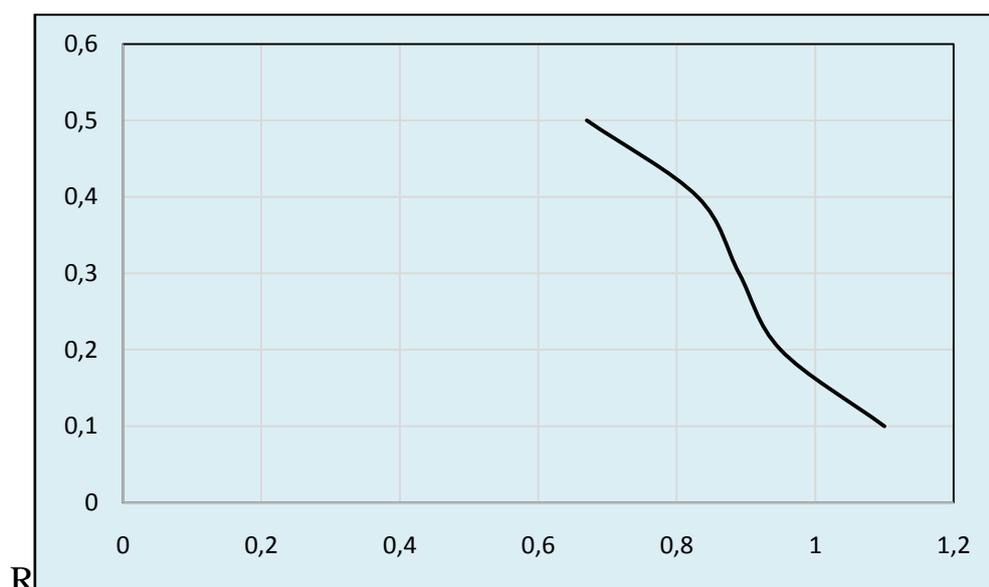


V

Рисунок 2.20 – График изменения вероятности одиночного заполнения ячеек в зависимости от величины допуска на диаметр ячеек (Δ) относительной скорости перемещения семян по высеваящему барабану (V)



P



V

Рисунок 2.21 – График изменения вероятности одиночного заполнения ячеек семенами в зависимости от радиуса барабана (R) относительной скорости перемещения семян по высеваящему барабану (V)

С увеличением размеров ячей, закон, по которому изменяется вероятность заполнения ячей, будет являться линейным, независимо от того, как изменяется

скорость вращения высевающего барабана, что можно наблюдать на рисунке 2.20. Вероятность западания семян будет снижаться по параболической зависимости, в случае увеличения скорости вращения высевающего барабана.

Графическая зависимость, показанная на рисунке 2.21 отражает изменения вероятности одиночного заполнения ячеек семенами, в зависимости от изменения внутреннего радиуса барабана.

Таким образом, выявлены общие зависимости, которые оказывают существенное влияние на изменение качества процесса пунктирного высева семян, 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

Задачей лабораторных научных изысканий стал процесс проверки того, насколько достоверны аналитические зависимости и теоретические выводы, результаты которых были получены во второй главе, а также подробное изучение процесса, который показывает взаимодействие разработанного высевающего барабана с высеваемым материалом.

Основываясь на обзоре некоторых литературных источников [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51] для применения в поставленных задачах была проведена разработка программы, а также общая методика научных изысканий.

В программе лабораторных научных изысканий были предусмотрены следующие моменты, такие как:

1. Проведение мероприятий по выявлению влияния формы и размеров ячеек высевающего барабана на качество их заполнения различными семенами исследуемых в ходе эксперимента культур.

2. Определение влияния типа отражателя, конструктивных параметров, режимов работы и места его установки, на качество заполнения ячеек высевающего барабана и степень травмируемости высеваемых исследуемым агрегатом семян.

3. Определение влияния уровня наполненности высевающего барабана на качество высева крупяных и масличных культур.

Научно-лабораторные изыскания по определению обоснованности технологических и конструктивных параметров высевающего аппарата были проведены в строгом соответствии с составленной схемой опытов по рандомизированному блочному плану.

3.2 Получение математической модели объекта эксперимента

Как уже было отмечено выше, основу факторного планирования экспериментальных исследований составляет поиск математической модели исследуемого процесса.

Вывод уравнения регрессии был произведён и составлен в программе «Statistica 8.0 for Windows». Эти алгоритмы, которые были реализованы в данной программе, способствовали всестороннему исследованию полученных математических моделей процесса точного высева и оценке её адекватности исследуемого процесса.

3.3 Методика проведения экспериментов по определению оптимальных конструктивных параметров и режимов работы высевающего аппарата

1) Параметры высевающего барабана.

В рамках экспериментального уточнения параметров высевающего барабана было проведено определение внутреннего диаметра высевающего барабана, ширины полости и места расположения загрузочного окна.

Ширина внутренней полости определена количеством рядов ячеек и составляла 1,5 сантиметра; 2,5 сантиметра; 3,0 сантиметра; 3,5 сантиметра.

2) Геометрические параметры ячеек и входных фасок

высевающего барабана.

Ячейки были расположены на внутренней поверхности высевающего барабана, в количестве, составляющем для гречихи от 240, для подсолнечника 45 и для рапса и проса 360 штук в 1, 2 или 3 ряда в зависимости от формы и размеров ячеек. Опыты были проведены на скоростях вращения барабана, которые составляли 0,56; 1,16; 1,95; 4,07 с⁻¹.

Было произведено исследование трёх диапазонов изменения диаметра (ширины) и трёх диапазонов изменения глубины ячеек.

Опыты проходили с пятикратным повтором. Во время каждого повторения опыта производился подсчёт коэффициента заполнения 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, на котором был установлен роторный щеточный отражатель, от вертикальной оси высевающего барабана при проведении научных лабораторных экспериментов принимал значения 0; 8; 16; 24; 32; 40; 48 градусов.

Для эксперимента были изготовлены три типоразмера роторного щеточного отражателя с диаметрами: 12 сантиметров; 10 сантиметров; 8 сантиметров. Все опыты были проведены с четырехкратным повторением.

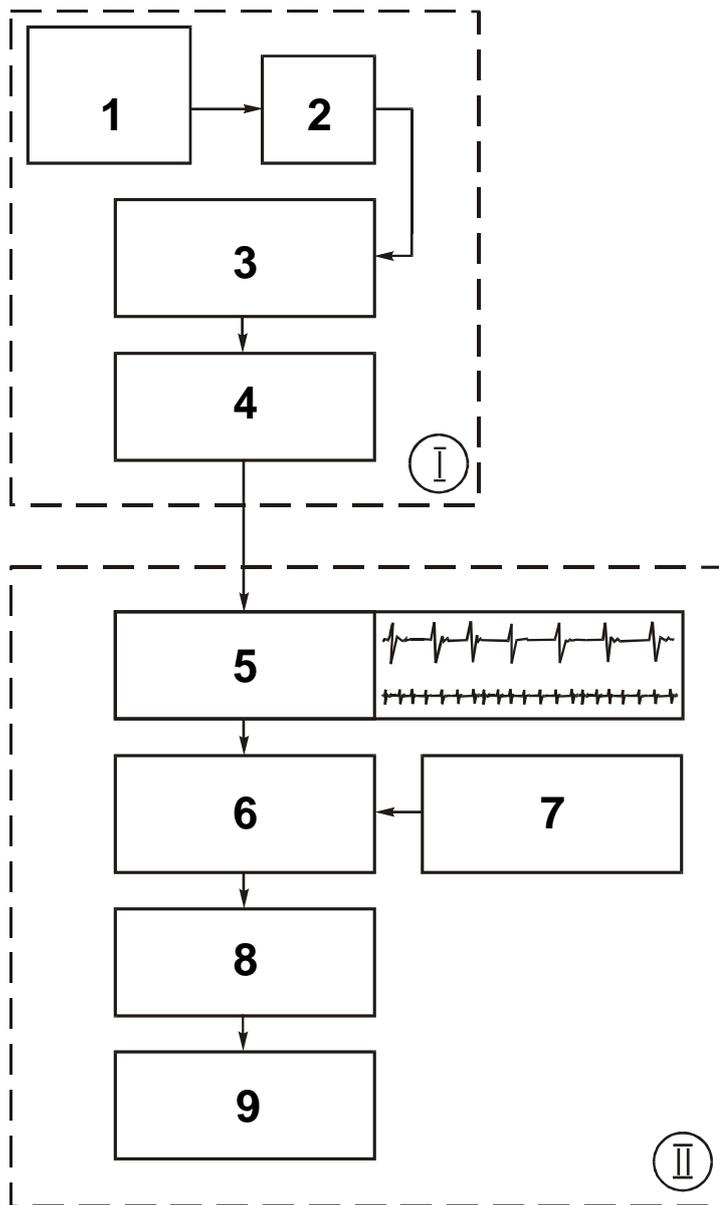


Рисунок 3.1 - Структурная схема регистрации показателей распределения семян в рядке

I – Блок записи сигналов: 1 – высеваящий аппарат; 2 – электромагнитный датчик; 3 – АЦП (звуковая плата); 4 – цифровая запись преобразованных сигналов в ПЗУ ПЭВМ;

II – Блок вывода и расшифровки диаграмм: 5 – вывод изображения на экран монитора; 6 – расшифровка изображения; 7 – масштаб времени в зависимости от

скорости «движения сеялки»; 8 – определение расстояния между семенами в рядке; 9 – расчёт среднего значения расстояния между семенами;

Расстояния между семенами делились на два блока: первый – блок записи сигналов, второй – блок вывода и расшифровки диаграмм. Первый блок вбирает в себя такие предварительные действия как:

- 1) регистрация семян, которые поступают из аппарата точного посева, электромагнитным датчиком;
- 2) процедура преобразования сигналов аналого-цифровым преобразователем;
- 3) процедура записи сигналов преобразованных АЦП на ПЗУ персональной ЭВМ типа IBM.

Второй блок выполняет следующие операции, такие как:

- 1) процесс вывода сигналов в графическом представлении на экран монитора с помощью программы «Creative Wave Studio» или прочей похожей программы;
- 2) процедура расшифровки изображений с учётом того масштаба времени, который назначается в зависимости от скорости движения транспортера и соответствующей ей частоте вращения посевающего барабана;
- 3) процесс экспорта всех полученных значений расстояния между семенами, с помощью буфера обмена данными, в программу «Statistica 5.0», проведение обработки полученных данных с последующим вычислением среднего расстояния между семенами, коэффициента вариации и прочих общепринятых показателей.

После проведения всех последовательных операций, представленных данными блоками, были построены графики распределения семян вдоль рядка с учётом назначенных классовых промежутков.

3.4 Общая методика обработки результатов экспериментальных исследований

Весь спектр полученных данных, в результате полевых и лабораторных экспериментов, обрабатывался способом, включающим в себя математическую статистику по программе Statistica V8.0 for Windows® на IBM PC с целью дальнейшего определения среднего арифметического значения проведённых измерений, дисперсии, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации, основного отклонения среднего арифметического значения, а также показателя точности опыта с использованием методик и рекомендаций, которые приведены в известных источниках [52,53,54,55,56].

Частные и общие методики, которые были описаны выше, позволили нам полностью исследовать и провести испытания высевающего аппарата, а также разрешить вопрос по поводу целесообразности внедрения его в сельскохозяйственное производство.

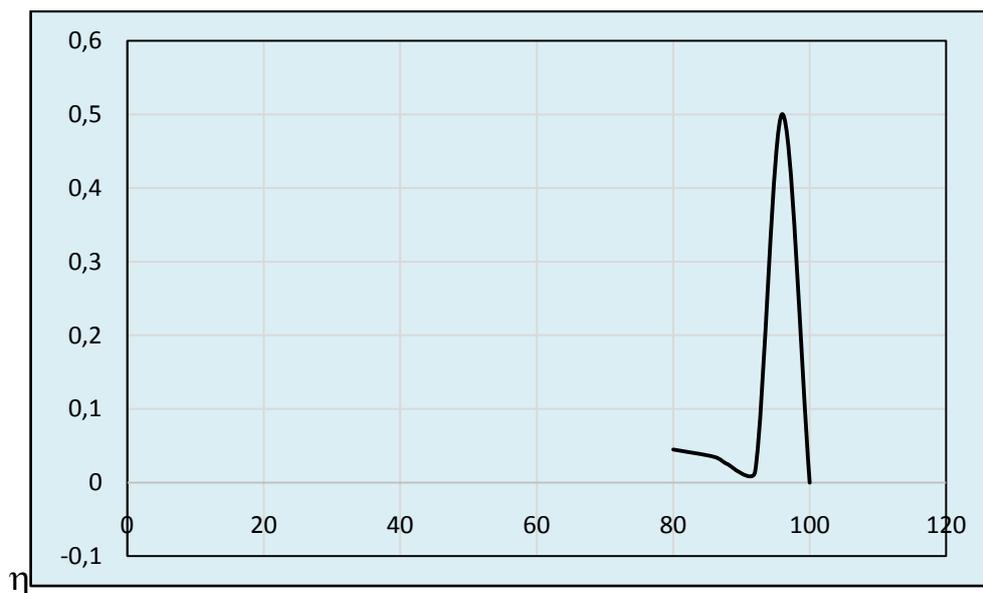
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Влияние кривизны ячеистой поверхности на западание семян

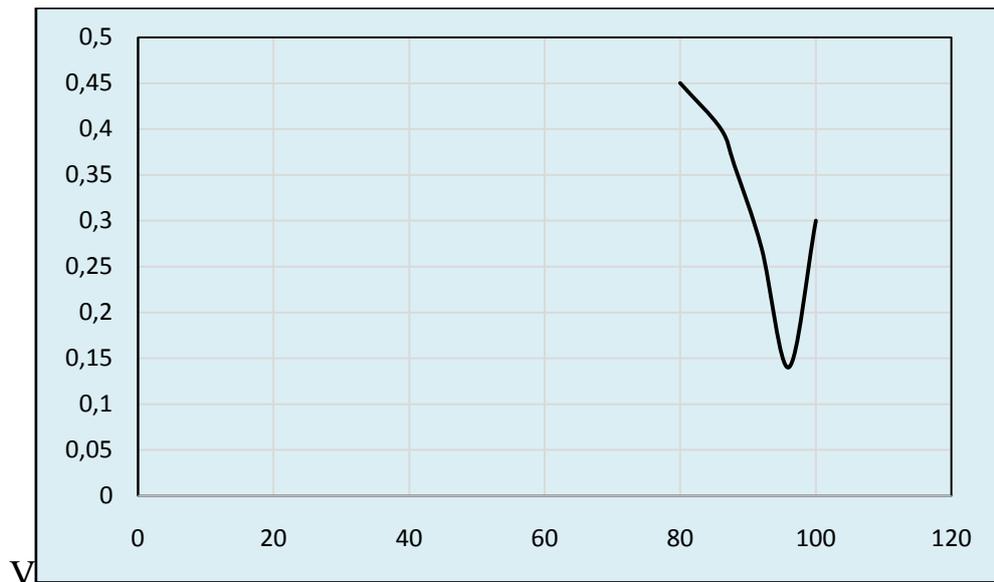
Теоретическими научными изысканиями процесса одиночного отбора семян аппаратами точного высева был установлен тот факт, который указывает, что кривизна ячеистой поверхности довольно сильно влияет на вероятность западания в ячейку одиночных семян. В ходе экспериментальной проверки данного факта применительно к слою семян толщиной в одно семя была проведена количественная и качественная оценка ячеистых поверхностей, обладающих различной кривизной, по вероятности западания семян при различных относительных скоростях движения.

Изменение процента западания семян в зависимости от коэффициента кривизны поверхности, а также её скорости перемещения показаны графически (рисунок 4.1). Коэффициент кривизны ячеистой поверхности является отношением диаметра ячейки d к радиусу высевающего барабана R_b :

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



P



P

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 вогнутой поверхности, а положительное – выпуклой.

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

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

№ опыта	Коэф. кривизны ячеистой поверхности	Скорость движения ячеистой поверхности, метр /сек	Заполнение ячеек высевающего барабана, процент
1	0,030	0,040	88,500
2	0,030	0,130	85,200
3	0,030	0,220	83,300
4	0,030	0,310	80,200
5	0,030	0,400	77,900
6	0,021	0,040	90,800
7	0,021	0,130	89,300
8	0,021	0,220	87,000
9	0,021	0,310	84,400
10	0,021	0,400	80,700
11	0,000	0,040	94,600
12	0,000	0,130	91,700
13	0,000	0,220	88,300
14	0,000	0,310	85,100
15	0,000	0,400	81,400
16	-0,021	0,040	96,500
17	-0,021	0,130	93,500
18	-0,021	0,220	89,600
19	-0,021	0,310	87,000
20	-0,021	0,400	84,200

21	-0,030	0,040	99,800
22	-0,030	0,130	98,100
23	-0,030	0,220	95,800
24	-0,030	0,310	94,000
25	-0,030	0,400	91,600

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:

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

Для того чтобы определить оптимальный радиус высевающего барабана, который будет удовлетворять критериям максимального процента западания семян во время процесса высева семян, 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 $R = 0,08...0,13''$.

Исходя из унификации конструктивных элементов высевающего аппарата, радиус высевающего барабана был взят за значение 0,1 метра, что в свою очередь,

обеспечивает гарантированное западание 93,2 процентов исследуемых семян при относительной скорости $V = 0,31''/с$.

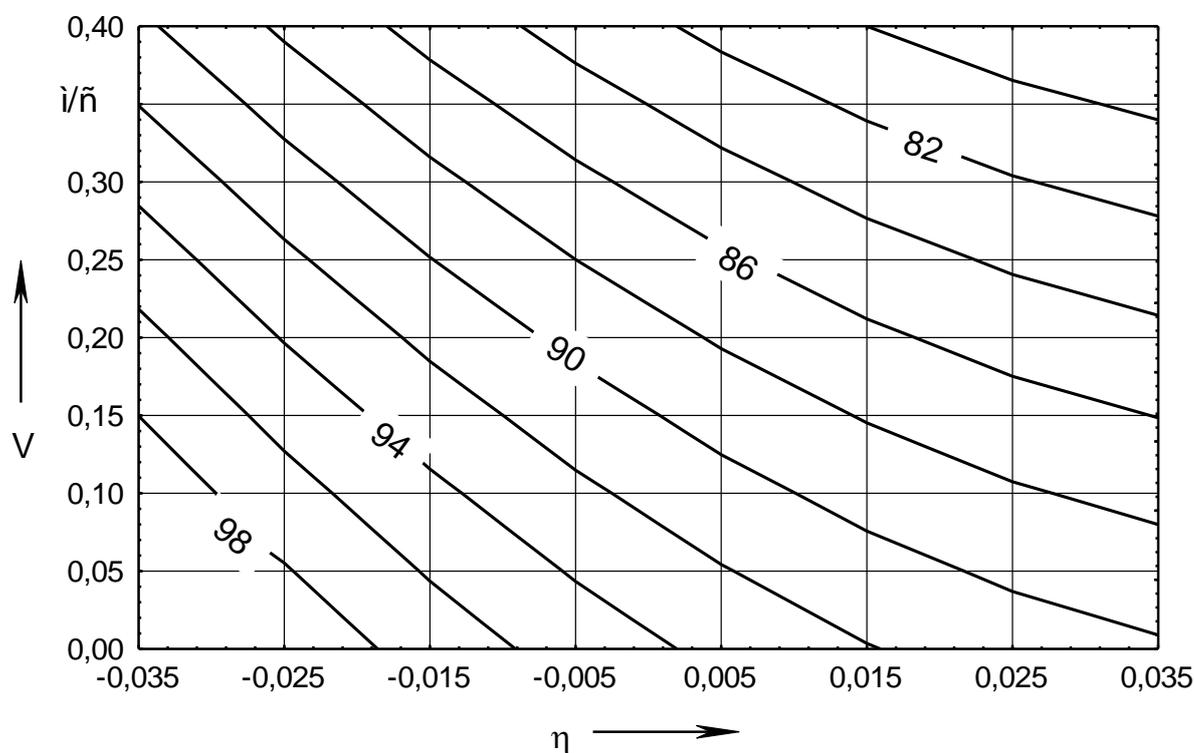


Рисунок 4.2 - Линии равных значений поверхностей отклика Y_1 во время высева семян в зависимости от коэффициента кривизны ячеистой поверхности (η) и скорости её относительного движения (V)

Стоит отметить тот факт, что приведенные значения найдены из результатов опытов для ячеек цилиндрической формы без входных фасок. В этом случае оптимизация параметров ячеек может дать более высокий процент западания семян в рассматриваемом в ходе исследования диапазоне относительных скоростей движения.

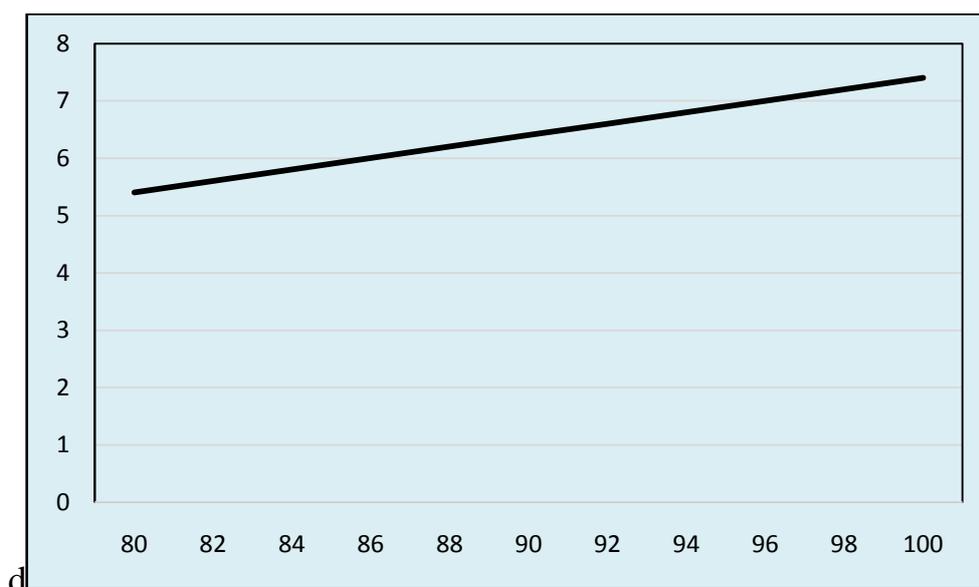
4.2. Исследование влияния формы и размеров ячеек высевающего барабана на западание семян

Исходя из анализа научно-теоретических изысканий, можно заметить, что на процесс западания семян в ячейки значительно влияют геометрические

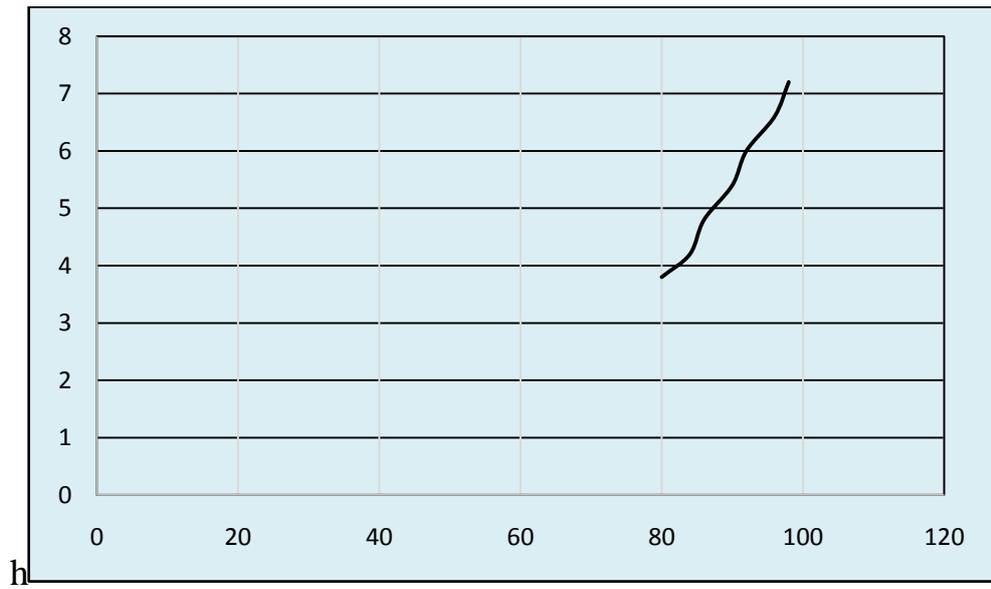
характеристики ячейки, а также высевающего барабана. Решающими факторами, влияющими на заполнение ячейки, являются: глубина ячейки, ее диаметр, длина фаски, угол наклона фаски, скорость вращения барабана, скорость внутренней поверхности барабана, шероховатость крышки высевающего аппарата, а также боковой стенки барабана и рабочей поверхности фаски.

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 ячеей (X_3), длина фаски (X_4), угол наклона фаски (X_7).

На рисунке 4.3 изображено влияние факторов на функцию единичного заполнения ячей барабана.

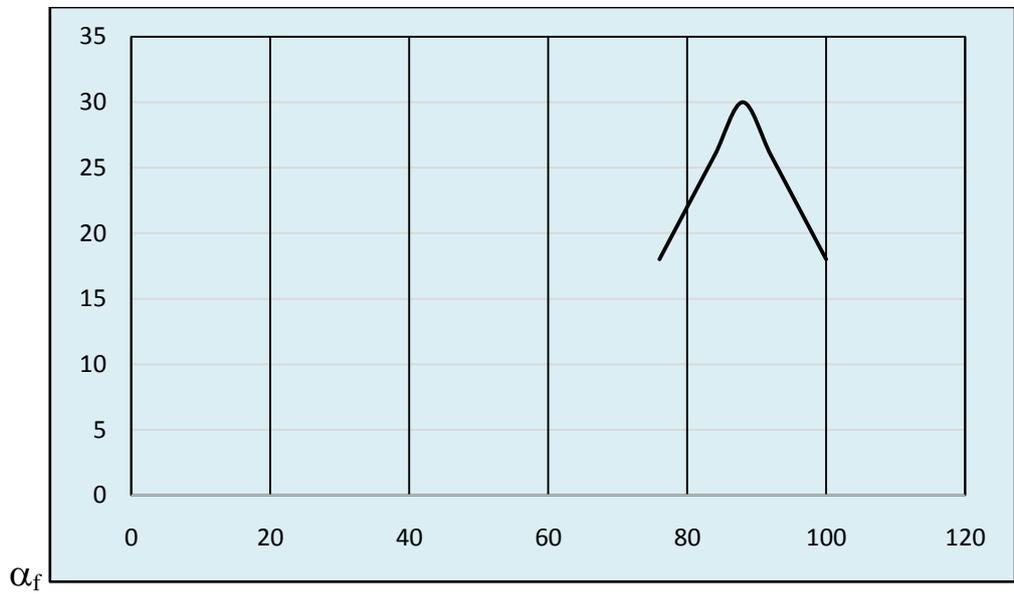


Р

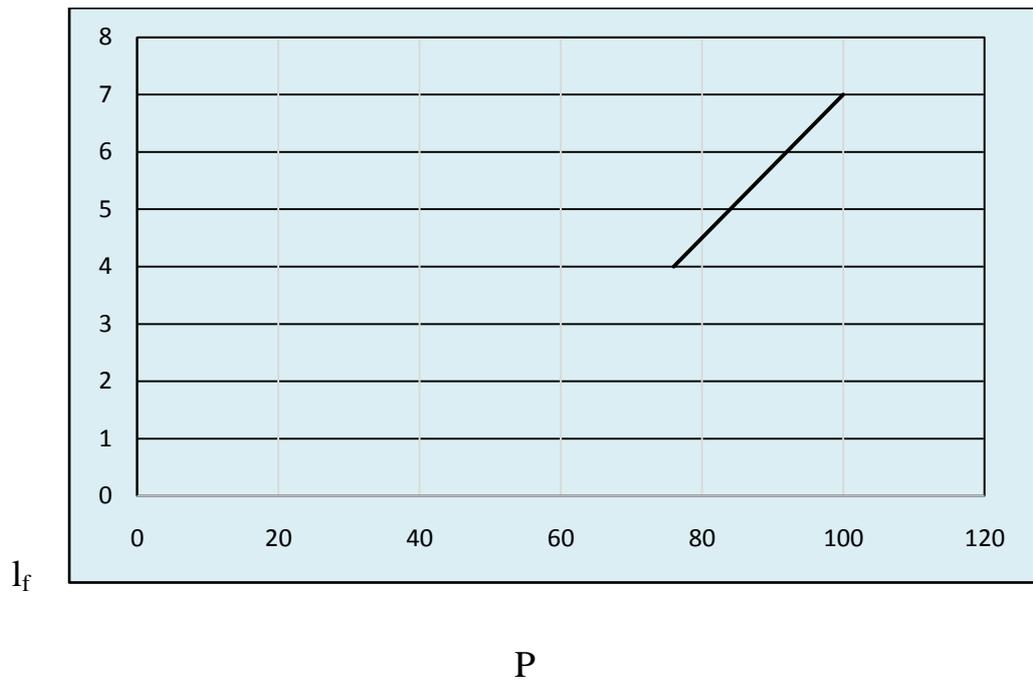


P

a)



P



б)

Рисунок 4.3 - Влияние диаметра ячейки (d) и ее глубины (h) на единичное заполнение ячейки (P) семенами (а). Влияние угла наклона фаски ячейки (α_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 $V_b = 2,2'' / -$. Исходя из всего этого, уравнения регрессии, которые представлены в именованных величинах, при показателях соответствия модели опытным данным не ниже 94,9 процента можно записать как:

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

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

Уравнение регрессии, которое представлено в именованных величинах, при показателе соответствия модели опытным данным 97,23 процента можно записать как:

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

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:

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

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 $\omega_b = 2,2c^{-1}$: глубина ячейки $h = 5,32''$, диаметр ячейки $d = 7,188''$, длина фаски $l_f = 7,073''$, угол наклона фаски $\alpha_f = 27,66^\circ$.

Отсюда следует то, что полученные значения варьируемых факторов позволяют обеспечить допустимый и хороший уровень качества ($D_o = 0,8532$).

Исходя из всего этого, значительного улучшения одиночного отбора семян высевающим аппаратом можно достичь лишь в том случае, если только применить дополнительный элемент конструкции – роторный щеточный отражатель семян, обоснование конструктивных параметров и режимы работы которого освещены в последующем разделе.

4.2 Определение параметров роторного щеточного отражателя семян

Во время проведения предварительных исследований был установлен тот факт, что роторный щеточный отражатель очищает заполненные ячейки от лишних семян, ворошит слои семян, которые примыкают к отражателю, а также выталкивает семена к транспортеру. Отсюда следует, что сочетание указанных выше элементов в одном рабочем органе привело к необходимости обоснования главных конструктивных параметров щеточного отражателя, например, таких как его диаметр, частота вращения, площадь контакта ворса с внутренней рабочей поверхностью барабана или место расположения отражателя, а также параметров, которые характеризуют ворс отражателя семян: длину, густоту, материал ворса.

Из предварительных экспериментальных изысканий было определено: параметры ворса определены размерами семян высеваемых культур. Получается, что густота ворса должна быть такой, чтобы исключалось застревание семени в ворсе и обеспечивалось перекрытие всех участков очищаемой поверхности ячеистого барабана по всей ширине смета в любой промежуток времени.

В данном случае наихудшие условия работы и наиболее жесткие требования к роторному щеточному отражателю предъявлены во время работы с мелкогабаритными семенами. Отсюда следует, что самым целесообразным

действием является предоставление оптимизирования параметров отражателя при высеве семян рапса.

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, λ_r, Δ_r и γ_r изображены на рисунке 4.4.

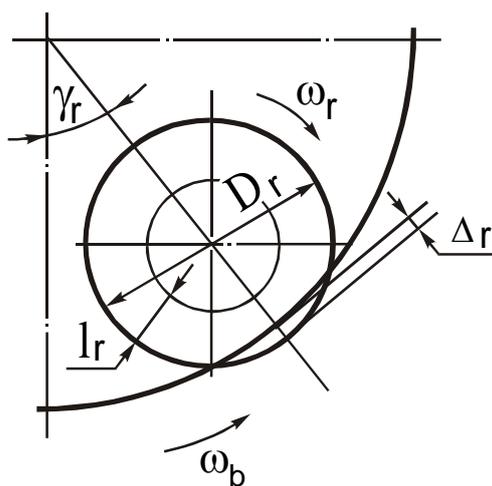


Рисунок 4.4 - К определению конструктивных параметров роторного щеточного отражателя

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:

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

Анализ уравнения регрессии был произведен с помощью графоаналитического метода. Дифференцированием уравнения (4.7) по переменной Δ_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 максимальной. 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 мелкогабаритных семян и семян сложной формы.

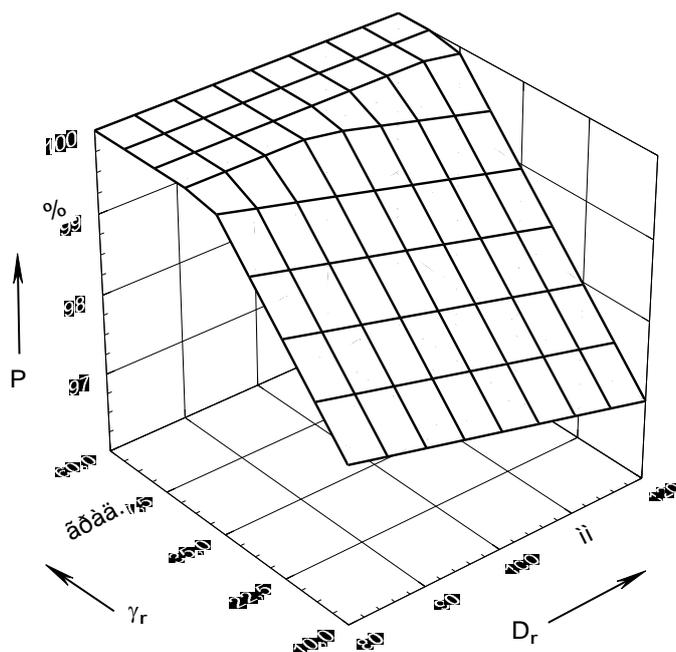


Рисунок 4.5 - Зависимость качества заполнения ячеек (P) одиночными семенами от угла установки (γ_r) и диаметра ротора отражателя (D_r)

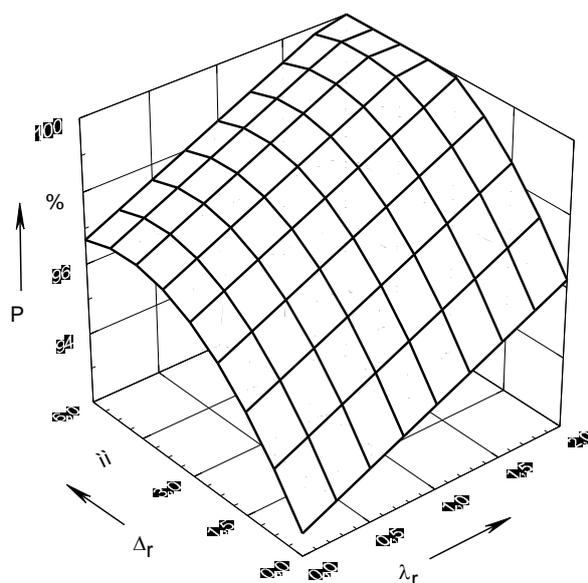


Рисунок 4.6 - Зависимость качества заполнения ячеек (P) одиночными семенами от величины прижатия ворса (Δ_r) и кинематического коэффициента (λ_r)

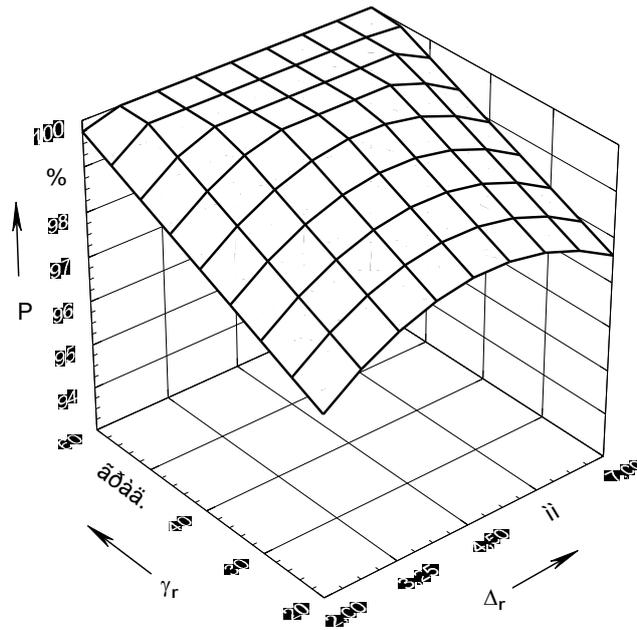


Рисунок 4.7 - Зависимость качества заполнения ячеек (P) одиночными семенами от величины прижатия ворса (Δ_r) и угла установки отражателя (γ_r)

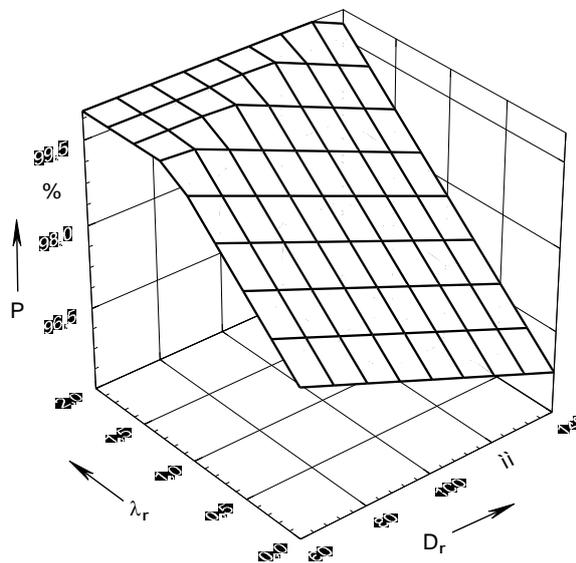


Рисунок 4.8 - Зависимость качества заполнения ячеек (P) одиночными семенами от кинематического коэффициента (λ_r) и диаметра ротора отражателя (D_r)

Значение угла установки оси отражателя относительно оси вращения высевающего барабана составило 54° .

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.

4.3. Определение угла установки роторного щеточного отражателя

Во время проведения научных экспериментов проводилась проверка качества работы отражателя (влияние его положения на параметры слоя и длину зоны заполнения при высеве семян различных культур). Из результатов экспериментов, которые были изложены в разделе 4.3, были определены предельные значения углов установки отражателя для каждой культуры. В данном случае для семян, обладающих сложной формой (подсолнечник, гречиха) данные углы соответственно равны 51° и 58° градусов, для мелкосеменных культур (просо и рапс) – 45° и 39° градусов.

Для сокращения технологических регулировок была исследована возможность приведения угла установки отражателя к одному фиксированному значению, равному 40° градусам, для всех видов высеваемых культур. В результате исследований установился тот факт, что условия работы роторного отражателя при высеве семян сложных форм усложняются (отражатель работает в слое семян, а не по кромке слоя). Но снижение качества заполнения ячей и отражения «двойников» не происходит, так как принятый угол установки отражателя, лишь незначительно уменьшает зону западания семян, которая определена по величине в разделе 4.3.

СПИСОК 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. Селиверстров 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., Селиверстров 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 высева 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. Кормщиков 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. Студенческая 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.