

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»**

На правах рукописи



СОЛДАТОВ Юрий Игоревич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЛЕНТОЧНОГО ПОСЕВА
СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ
ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук

Гиевский А.М.

Воронеж – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СВЕКЛОВОДСТВА	12
1.1 Краткий обзор производства сахарной свеклы в РФ	12
1.2 Особенности возделывания сахарной свеклы в семеноводстве	16
1.3 Теоретические основы дозирования семян пневмовакуумными высевающими аппаратами	23
1.4 Обоснование схем размещения междурядий при возделывании сахарной свеклы на семенные цели имитационным моделированием	26
1.5 Возможность использования существующих машин и разработок при производстве штеклингов	32
1.6 Выводы.....	39
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ДВУСТРОЧНОГО ПОСЕВА	41
2.1 Уточнение расчета процесса захвата семени отверстием диска пневматического высевающего аппарата	43
2.2 Теоретические исследования полета семени от высевающего диска до непосредственного разделения семян в делителе потока	50
2.3 Моделирование процесса разделения семян в делителе	59
2.4 Обоснование применения схемы размещения междурядий 45+15 см при посеве дражированных семян сахарной свеклы	65
2.5 Выводы	68
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	70
3.1 Программа экспериментальных исследований	70
3.2 Описание лабораторных установок	71

3.3 Методика экспериментальных исследований	77
3.4 Методика обработки экспериментальных данных	82
3.4.1 Методика определения физико-механических свойств дражированных семян сахарной свеклы	82
3.4.2 Методика определения коэффициента присасывания	84
3.4.3 Методика определения качественных показателей работы высевающего аппарата	86
3.4.4 Методика обработки экспериментальных данных по разделению семян сахарной свеклы воздушным потоком	87
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	90
4.1 Физико-механические характеристики семян сахарной свеклы	90
4.2 Определение коэффициента присасывания семян к высевающему диску.	94
4.3 Исследование качественных показателей работы высевающего аппарата в зависимости от скорости вращения диска и глубины разрежения.....	96
4.4 Экспериментальные исследования по разделению семян сахарной свеклы делителем потока к высевающему аппарату	105
4.5 Выводы.....	110
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЯ ПОТОКА СЕМЯН НА ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ	112
5.1 Затраты на изготовление делителя потока семян на высевающий аппарат сеялки точного высева ТС-М-4150А	112
5.2 Расчет экономической эффективности использования предлагаемого делителя потока семян.....	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	123
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130

Приложение А	152
Приложение Б	154
Приложение В	155
Приложение Г	159
Приложение Д	166
Приложение Е	174
Приложение Ж	176
Приложение И	178
Приложение К	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Семеноводство сахарной свеклы является важным направлением в агропромышленном комплексе, поскольку использование качественных семян существенно влияет на урожайность корнеплодов. Для укрепления технологического суверенитета в области свекловодства необходимо увеличить на рынке количество и качество посевного материала отечественного производителя. Однако, существующие способы посева сахарной свеклы на семенные цели имеют определенные недостатки, связанные с формированием рациональной густоты насаждения растений. Учеными ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова была запатентована технология загущенного выращивания семенников сахарной свеклы с междурядьями 45+15 см [88, 102]. Представленная технология позволяет получать корнеплоды массой около 150 г, т.е. так называемые штеклинги, которые обладают большим выходом семян по сравнению с классическими маточниками, имеющими массу более 300 г. Неоспоримым преимуществом является большая норма высева семян на гектаре, в результате чего мы можем получить большее количество маточников на поле, чем при посеве с междурядьем 45 см, а также более низкие затраты на хранение, связанные с их меньшими размерами. Одной из основных проблем при выращивании штеклингов является отсутствие посевных машин для реализации предлагаемой схемы размещения междурядий 45+15 см.

Исходя из вышесказанного одним из актуальных направлений внедрения схемы междурядий 45+15 см является разработка посевных машин, способных производить высев дражированных семян сахарной свеклы в две строчки с расстоянием между ними 15 см и размещением в них частиц в шахматном порядке друг относительно друга. Изготовление отдельной сеялки, выполняющей посев с такими требованиями, в настоящее время нерентабельно, поскольку рынок сбыта в таком случае будет невелик. Поэтому мы считаем, что стоит пойти путем увеличения универсальности уже имеющихся в хозяйстве сеялок и

разработать приспособление, позволяющее производить высев семян сахарной свеклы ленточным способом с одной высевающей секции.

Диссертационная работа посвящена разработке и обоснованию конструкции делителя потока для высевающего аппарата сеялки точного посева, позволяющего производить посев дражированных семян сахарной свеклы ленточным способом одним высевающим аппаратом секции пневматической сеялки точного посева ТС-М-4150А, производимой в Воронежской области предприятием ООО «Техника Сервис Агро».

Диссертационная работа выполнена в рамках НИР агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»: «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», п. 2.1 «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации производства продукции растениеводства», утвержденной ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Вопросами исследования процесса посева сахарной свеклы и других культур, высеваемых пунктирным способом, занимались и занимаются в настоящее время множество научных организаций и ученых.

Значительный вклад в развитие теории пунктирного посева, а также в совершенствование конструкций высевающих аппаратов внесли В.В. Василенко [15, 16, 17, 18, 20, 21, 25], В.В. Труфанов [15, 138], Е.М. Зубрилина [46, 47, 75], посев дражированных семян исследовал в частности А.И. Новиков [50, 108, 166]. Технологические процессы посева, а также совершенствование конструкций и рабочих процессов посевных машин изучали в следующих научных и научно-образовательных организациях: Донской государственный технический университет (Зубрилина Е.М. [46, 47, 75], Маркво И.А., Новиков В.И. и др.), Донской государственный аграрный университет (Несмиян А.Ю. [84, 86, 145], Хижняк В.И. [145, 147] и др.), Всероссийский научно-исследовательский

институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (Балашов А.В. [7, 8, 9], Гаврилин А.В., Пустоваров Н.Ю. и др.).

Вопросами выращивания корнеплодов сахарной свеклы загущенным способом, в т.ч. с использованием схемы междурядий 45+15 см занималась научная школа К.Р. Казарова [49, 52, 53, 55, 56, 60, 79], действующая в Воронежском государственном аграрном университете имени императора Петра I. Представители этой школы (Лукина И.К. [49, 53, 56], Черников В.А. и др.) и в настоящее время продолжают исследования в данной области, а также ведут плодотворную работу совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова (Бартенев И.И. [11, 59, 102, 113], Борзенков С.П., Гаврин Д.С., Путилина Л.Н. и др.), а также с Мичуринским государственным аграрным университетом (Абросимов А.Г. [88, 100, 101, 133], Горшенин В.И., Соловьев С.В. и др.). Однако до настоящего времени реализация схемы междурядий 45+15 см существующими сеялками точного высева не представляется возможной. Поэтому исследования, направленные на разработку и обоснование параметров устройства для разделения семян с одного высевающего аппарата, являются актуальной задачей.

Объектом исследования является делитель для ленточного посева семян сахарной свеклы пневматическим высевающим аппаратом сеялки точного высева ТС-М 4150А.

Предметом исследования являются закономерности разделения подаваемых семян сахарной свеклы на две строчки дискретным воздушным потоком.

Цель работы: повышение качества высева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки с междурядьем 15 см пневматическим высевающим аппаратом путем их разделения дискретным воздушным потоком.

Поставленная цель может быть достигнута в случае реализации **научной гипотезы**, заключающейся в том, что делитель потока семян сахарной свеклы для пневматического высевающего аппарата, производящий разделение семян воздушным потоком на две строчки, позволит использовать имеющиеся в

хозяйствах сеялки точного высева для посева семян сахарной свеклы ленточным способом.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

- установить возможность реализации посева семян сахарной свеклы со схемой междурядий 45+15 см путем разделения семян на две строчки дискретным воздушным потоком;
- обосновать параметры делителя потока семян, обеспечивающие качественное разделение и распределение семян в две строчки пневматическим высевающим аппаратом сеялки точного высева;
- определить рациональный режим работы пневматического высевающего аппарата для посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки;
- доказать целесообразность использования разработанного делителя потока семян для пневматического высевающего аппарата сеялки точного высева.

Научная новизна. Результаты диссертационной работы, обладающие научной новизной, заключаются в следующем:

- установлена аналитическая зависимость для определения коэффициента запаса присасывающей силы семян сахарной свеклы к высевающему диску, отличающаяся учетом лобового сопротивления семени;
- выявлена закономерность подачи семян сахарной свеклы в борозду, отличающаяся тем, что движущиеся семена разделяются на две строчки дискретным воздушным потоком в делителе;
- установлены зависимости для обоснования параметров делителя потока семян сахарной свеклы, обеспечивающие качественное разделение и распределение семян в две строчки пневматическим высевающим аппаратом сеялки точного высева;
- получены зависимости для определения рационального режима работы пневматического высевающего аппарата для посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки, отличающиеся учетом параметров делителя.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученная аналитическая зависимость для определения коэффициента запаса присасывающей силы семян сахарной свеклы к высевающему диску позволяет обосновать рациональные режимы работы высевающего аппарата сеялки точного высева для семян сахарной свеклы; выявленная закономерность подачи семян сахарной свеклы в борозду позволяет рассчитать рациональные параметры делителя и его режим работы.

Практическую значимость имеют: разработанный делитель потока семян к высевающему аппарату сеялки точного высева и обоснованные его рациональные параметры (патент РФ № 212300); рекомендации по применению делителя для ленточного посева семян сахарной свеклы пневматическим высевающим аппаратом сеялки точного высева ТС-М 4150А.

Методология и методы исследования. Теоретическое исследование произведено на основе методов математического моделирования и классической механики. Лабораторный эксперимент поставлен с использованием апробированных методик, для его проведения модернизирована лабораторная установка для исследования процесса высева семян пневматическим высевающим аппаратом. Измерения проводили сертифицированными и поверенными приборами. При проведении расчетов и обработке результатов эксперимента использовали современные компьютеры и применяли программное обеспечение: Microsoft Excel, IPython, Mathcad, Maple, Statistica.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитическая зависимость для определения коэффициента запаса присасывающей силы семян сахарной свеклы к высевающему диску, позволяющая оценить способность семян сахарной свеклы к удержанию в отверстиях высевающего диска;
- закономерность подачи семян сахарной свеклы в борозду, позволяющая обосновать требуемые параметры делителя;

- зависимости для обоснования параметров делителя потока семян сахарной свеклы, позволяющие рассчитать рациональные параметры делителя, при которых обеспечивается качественный высев;

- зависимости для определения рационального режима работы пневматического высевающего аппарата для посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки, позволяющие определить давление в пневмосистеме и угловую скорость высевающего диска, обеспечивающие требуемые параметры распределения семян в строчках.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты получены с применением современных теоретических подходов, методов математического анализа, теории посевных машин, математического моделирования, апробированных методик экспериментальных исследований. Достоверность результатов подтверждается методологической базой исследований, проведением системного анализа решаемых задач и применением методов математического моделирования, использованием современных средств вычислительной техники, поверенных измерительных приборов, результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационной работы используются ООО «Техника Сервис Агро» при разработке делителей к высевающему аппарату сеялки точного высева для семеноводческих хозяйств, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия».

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2019 по 2023 год на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, а также на международных [58, 89, 134], всероссийских [29] и национальных [26, 27, 59, 79] научных конференциях.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели, задач и выборе методов исследований, разработке компьютерных программ, разработке программы и методики экспериментальных исследований, проведении опытов, выполненных лично автором; модернизации лабораторной установки, получении

аналитических зависимостей и проведении расчетов, настройке делителя потока семян, обработке результатов эксперимента, выполненных при участии автора, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Публикации. Результаты исследований отражены в 42 научных работах, общим объемом 25,1 п.л. (авторский вклад – 7,1 п.л.), из них 1 монография, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций (авторский вклад – 0,63 п.л.), 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ, один патент на полезную модель, один патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, включающих 51 рисунок и 15 таблиц, заключения, списка литературы из 168 наименований, 9 приложений. Объем диссертации – 180 страниц.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СВЕКЛОВОДСТВА

1.1 Краткий обзор производства сахарной свеклы в РФ

Сахарная свекла относится к корнеплодной технической культуре, в корнях которой присутствует сахароза. По научной классификации она относится к царству растений, отделу покрытосеменных, классу двудольных, порядку гвоздичноцветных, семейству маревых, роду свекла, виду свекла обыкновенная, подвиду сахарная свекла [13].

На территории нашей страны сахарная свекла появилась в первой половине XIX века после того, как проф. Иоганн Иаков Биндгейм в 1799 г. нашел возможность добычи сахара из белой свеклы. Затем Я.С. Есипов в 1800 г. реализовал способ производства сахара из свеклы в промышленных масштабах [121].

Значение сахарной свеклы переоценить трудно. Из нее добывается сырье для сахарной промышленности, перерабатываемое в продукт питания для нужд населения нашей страны. В свою очередь, отходы сахарного производства тоже являются достаточно востребованным продуктом. Например, жом используется для кормления в животноводческой отрасли, патока применяется в пищевой промышленности, а дефекаат является одним из видов органических известковых удобрений, используемых в растениеводстве [63].

На рисунках 1.1-1.2 мы видим графики по объемной доле производства корнеплодов сахарной свеклы на основе данных продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН [34]. Анализ графиков показал, что в 2014 г. на мировом рынке доля России составляла 12%, что эквивалентно 33,5 млн тонн продукта, это на 4,3 млн тонн меньше аналогичного показателя Франции – лидера-экспортера сырья.

Ситуация кардинально изменилась в 2016 г., когда Россия вышла в лидеры производства, обеспечив себе 19% мирового рынка, что эквивалентно 51,4 млн тонн.

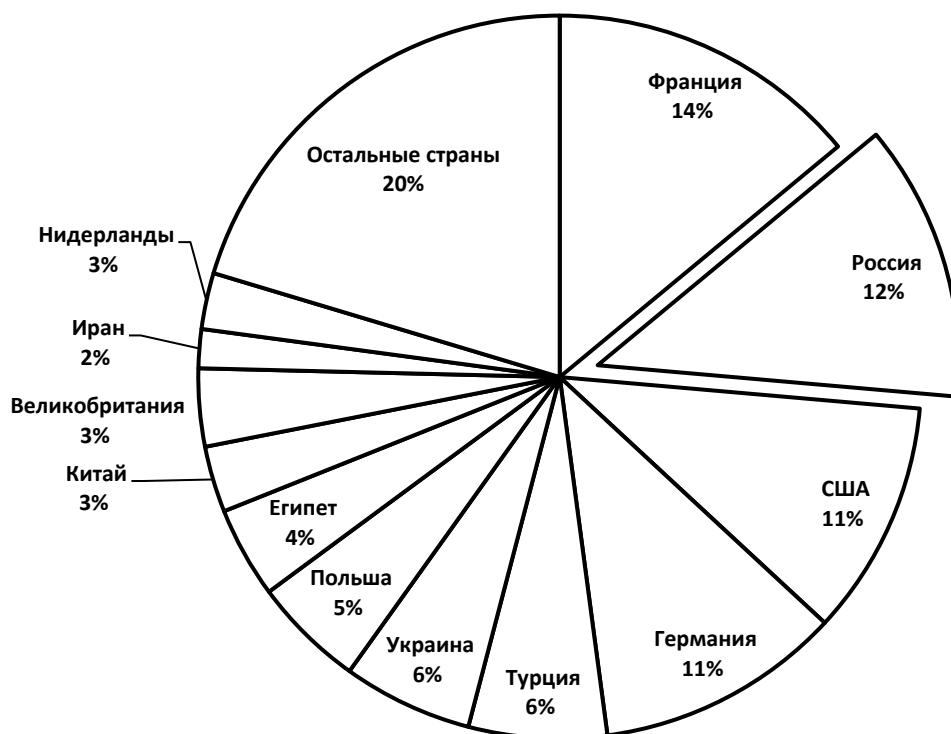


Рисунок 1.1 – Объемная доля производства корнеплодов сахарной свеклы в 2014 г.

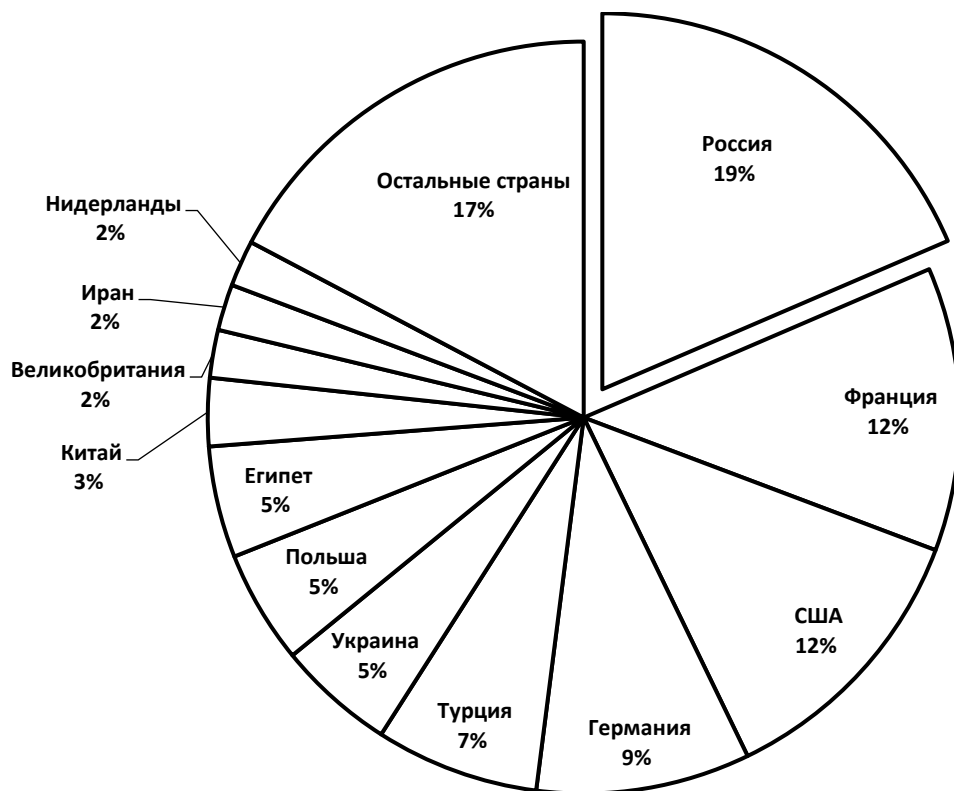


Рисунок 1.2 – Объемная доля производства корнеплодов сахарной свеклы в 2016 г.

По данным Министерства сельского хозяйства РФ [67] урожай свеклы в 2022 г. составил 47,8 млн тонн, что на 7 млн тонн больше, чем в 2021 г., однако на 3,6 млн тонн меньше, чем в 2016 г. На площади посева в 1 млн га была достигнута средняя урожайность 475,7 ц/га, что на 64,4 ц/га больше, чем в прошлом сезоне при засеве 992,5 тыс. га. А в 2019 г. отрасль побила рекорд в 54,4 млн т. [73].

По данным прогноза, представленного в статье Е. Максимовой [73] от ведущего эксперта ИКАР (Институт конъюнктуры аграрного рынка) Е. Иванова, площади под посевы будут увеличиваться. Соответственно, отрасль нуждается в качественных и относительно недорогих семенах сахарной свеклы. Согласно исследованиям [68] посевной материал определяет в среднем на 25% будущий урожай и выход сахара с единицы площади. В таблице 1.1 представлен рейтинг производителей семян сахарной свеклы по данным ФГБУ «Россельхозцентр» на 2020 год [73, 118].

Таблица 1.1 – Рейтинг производителей семян сахарной свеклы на 2020 год

№	Наименование оригинатора	Высеяно семян, тонн	Доля рынка оригинатора
1	KWS SAAT (Германия)	946,03	30,5%
2	ООО СЕСВАНДЕРХАВЕ (Бельгия)	628,46	20,3%
3	FLORIMOND DESPREZ VEUVE ET FILS (Франция)	342,63	11,1%
4	DLF SEEDS A/S (Дания)	304,02	9,8%
5	BETASEED INC. (США)	251,25	8,1%
6	STRUBE D&S GMBH (Германия)	248,08	8,0%
7	MARIBOHILLESOG APS (Дания)	196,39	6,3%
8	LION SEEDS LTD (Великобритания)	87,60	2,8%
9	BETESEED GMBH (Германия)	72,18	2,3%
10	ФГБНУ «ВНИИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И САХАРА ИМЕНИ А.Л. МАЗЛУМОВА» (Россия)	24,25	0,8%
ИТОГО:		3100,89	100%

Анализ рейтинга показал, что доля посевного материала российского производства, произведенного в ФГБНУ «ВНИИ сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», невелика и составляет 24,25 тонн, эквивалентные 0,8%. Также на рисунке 1.3 представлена доля отечественных и иностранных семян в растениеводстве.

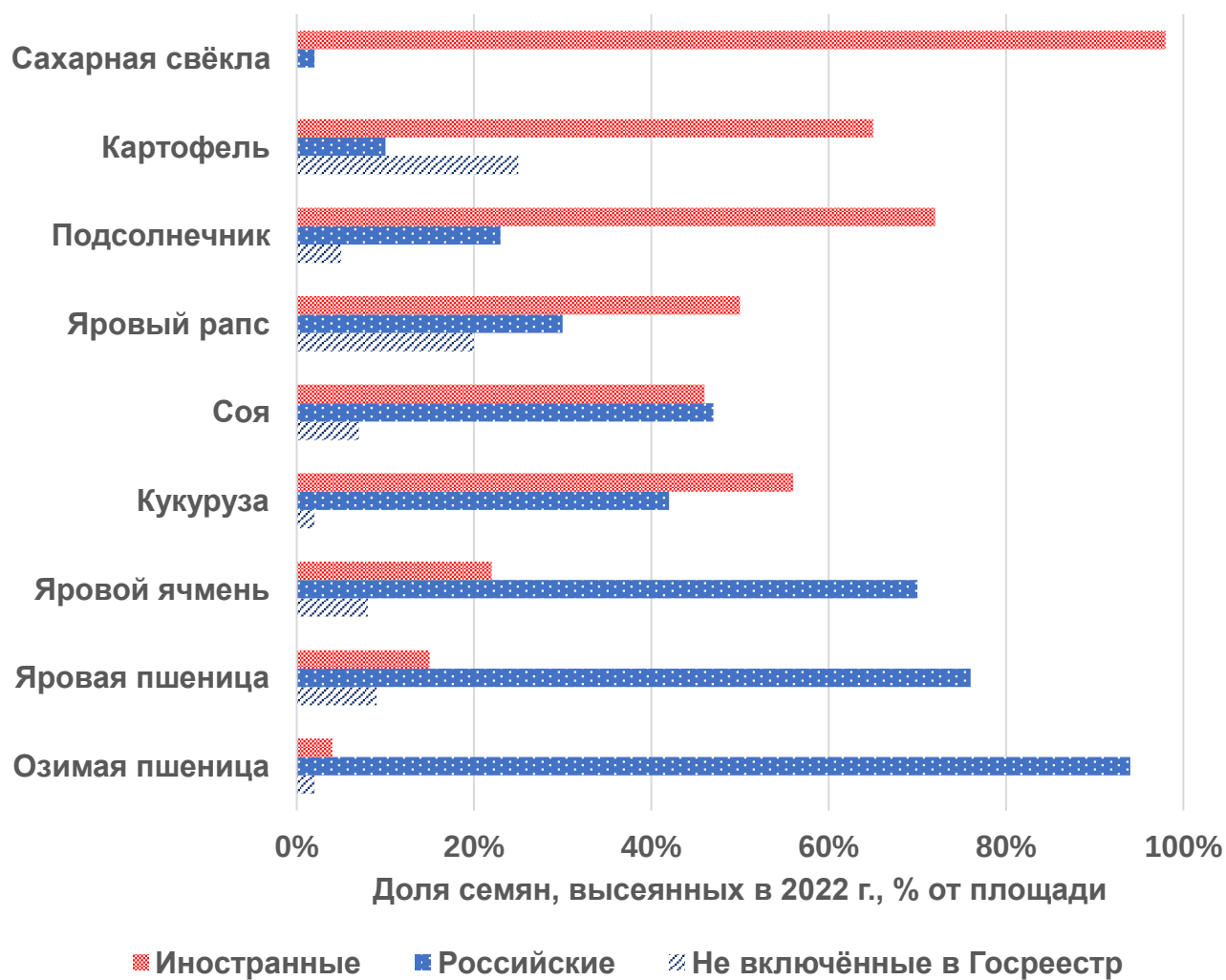


Рисунок 1.3 – Доля отечественных и иностранных семян, высеванных в 2022 году по данным Россельхозцентра [73, 118]

Анализ рисунка 1.3 показывает, что объем произведенных в нашей стране семян не может обеспечить потребность рынка и быть конкурентноспособным. Однако в рамках поддержки отечественного производителя предусмотрено государственное субсидирование [68] приобретения семян сахарной свеклы в пределах 70...90% от стоимости посевного материала, которое позволяет снизить

себестоимость производства и делает покупку отечественных семян более заманчивой для хозяйств, занимающихся возделыванием сахарной свеклы.

Таким образом, для удержания лидерских позиций на мировом рынке сахара требуется реализовать весь цикл производства сахарной свеклы на территории нашей страны, включая развитие семеноводческих хозяйств и техники для возделывания культуры.

1.2 Особенности возделывания сахарной свеклы в семеноводстве

Сроки посева свеклы зависят от биологических особенностей культуры и условий почвенной среды. По данным В.Е. Торикова [96], семена культуры начинают прорастать при температурном режиме 3...6 °С, а всходы растений могут пережить морозы -3...-4 °С. Сахарную свеклу высевают в основном пунктирным способом, т.е. когда семена в рядке размещаются по одному на заданном расстоянии друг от друга [76, 96]. Норма посева варьируется в районе 100 тыс. шт. на гектар [17], что связано с потребностью корнеплода в большой площади питания. Для снижения риска повреждения семян применяют дражирование [50], которое также защищает от заражения вредителями и болезнями.

Сахарная свекла имеет двулетний вегетационный период, в течение которого эти два года тесно связаны между собой. Корнеплоды второго года имеют определенные требования к условиям среды и резко реагируют на их изменения. Растут они 90...110 суток, их корневая система развита слабее и располагается в слое почвы 0...60 см, что делает маточники более требовательными к дополнительному орошению [31]. Во время второго вегетационного периода проводят как минимум три междурядные обработки вместе с подкормкой [109].

Сроки уборки семенников сахарной свеклы плавающие – их корректируют в зависимости от погоды, готовности техники и особенностей сорта. Преждевременная уборка снижает посевные качества семян, а опоздание чревато

осыпанием. К уборке приступают, когда плоды семенников теряют зеленую окраску и 30...40% клубочков становятся бурыми [14], а консистенция семян мучнистой [42]. Уборку проводят переоборудованными зерноуборочными комбайнами либо вручную. В современном семеноводстве сахарной свеклы практикуется три способа выращивания семенников [66]:

- высадочный, когда используются корнеплоды массой 300 г и выше с сохранением их зимой в кагатах;
- безвысадочный – производят посев семян летом на густоту 400...500 тыс. шт./га с их зимовкой на поле;
- пересадочный – штеклинги (корнеплоды от 50 до 200 г) выкапывают осенью и укладывают в корневохранилище с последующей их высадкой в поле.

В случае высадочного и пересадочного способа корнеплоды выкапывают с помощью прицепных или самоходных комбайнов [7, 8, 9, 36, 48, 135, 156] при наступлении устойчивого похолодания при температуре ниже 10 °С [21]. Выкопанные корнеплоды после уборки хранятся надземным, подземным или стационарным способами (спецхранилища или подвалы), при этом требуется создать условия для успешного хранения – температура 2...3 °С, относительная влажность около 90 %, в составе воздуха не более 4...5 % CO₂ и 12...15 % O₂. В нашем регионе наиболее распространен первый способ [64].

После весенней подготовки почвы [5, 150, 158] реализуют посадку маточников, которые сначала извлекают из хранилища, а затем на переборочном столе убирают загнившие остатки и некондиционные корнеплоды [14]. Высаживают маточники механизированной посадочной машиной. При посадке необходимо соблюдать вертикальность расположения в борозде, глубину заделки, т.к. над головкой корнеплода должен быть плотно облегающий по всей поверхности грунт, высотой 2...2,5 см. Для дневной потребности в высадке маточники формируют в бурт и накрывают землей [14]. Высадочный способ имеет ряд преимуществ:

- большая сохранность зимой;

- сортировка перспективных и неперспективных маточников перед посадкой.

Однако у этого способа имеются и существенные недостатки:

- высокая трудоемкость и себестоимость;
- затраты на уборку, очистку и транспортировку [2, 12, 89 134];
- необходимость кагатирования маточников и потребность отбраковки некондиционных корнеплодов перед посадкой;
- трудоемкий процесс посадки.

Как отмечают многие ученые, для более теплых климатических зон нашей страны подходит менее затратный безвысадочный способ возделывания маточников [7, 113]. Однако его реализация в Центрально-Черноземном регионе труднодостижима, поскольку возникают большие риски, связанные с морозами и снежными покровами, от которых зависит выживаемость корнеплодов.

С учетом климатических условий метод выращивания штеклингов, т.е. корнеплодов массой около 150 г, является для Центрально-Черноземного региона наиболее перспективным и подходящим [11]. Его концепция заключается в том, что маточники мелких размеров выращивают с более загущенной посадкой. Это позволяет получить корнеплоды небольшого размера с большим выходом семян, т.к. семенная продуктивность маточников растет с уменьшением массы [11, 49]. По результатам исследований А.А. Добротворцевой было отмечено, что масса штеклинга должна находиться в рамках 100...300 г [1]. При массе маточника менее 100 г выход семян резко снижался.

С учетом наибольшей продуктивности штеклингов при высадке их в количестве, тождественном массе крупных маточников, возможно повысить валовый сбор семян, что позволит компенсировать дополнительные затраты. ВНИИСС была предложена технология выращивания маточников с помощью ленточного посева [102], при котором два рядка с расстоянием между ними 15 см чередуются с более широкими междурядьями 45 см для прохода тракторного агрегата [96]. По мнению проф. В.В. Василенко [17], к посеву семян сахарной свеклы предъявляются следующие требования:

- поштучный отбор семян из бункера [166] или камеры забора сеялки;
- сброс семян в борозду через равные промежутки времени и с наименьшей высоты;
- обеспечение вертикальной траектории падения;
- минимизация повреждения посевного материала.

Посев семян сахарной свеклы в начале XX в. производили горизонтально-дисковыми аппаратами, которые удовлетворительно выполняли только поштучный отбор. Учитывая низкую всхожесть, норма высева для сахарной свеклы была заведомо большей, а окончательное формирование густоты насаждения (5...6 равноудаленных растений на одном метре) производилось с помощью ручного труда. Были попытки изобретения механизированных прореживателей растений, однако из-за высокой сложности эксплуатации в массовое производство они не пошли [25, 58, 60, 105].

Вскоре учеными-селекционерами были выведены сорта с одноростковыми семенами с высоким процентом (до 96%) всхожести. Поэтому на смену горизонтально-дисковым аппаратам пришли вертикально-дисковые аппараты [17]. Наиболее известный из них установлен на сеялке ССТ-12. Этот высевающий аппарат пережил много модернизаций, часть которых даже и не была внедрена, однако он обладает рядом недостатков:

- повышенная металлоемкость конструкции;
- высокая повреждаемость семян;
- высевающий диск должен иметь определенный размер ячеек под каждую фракцию даже одной культуры.

Несмотря на недостатки ученые совершенствуют этот высевающий аппарат, в том числе и для использования в семеноводстве сахарной свеклы [97].

В странах западной Европы и Америки в начале XX в. проводили исследования по применению пневматики на сеялках точного высева. Высевающие аппараты были вертикально-дисковые с подводом разрежения [43, 77, 139, 149, 160, 162]. Их применение было перспективным решением благодаря ряду преимуществ:

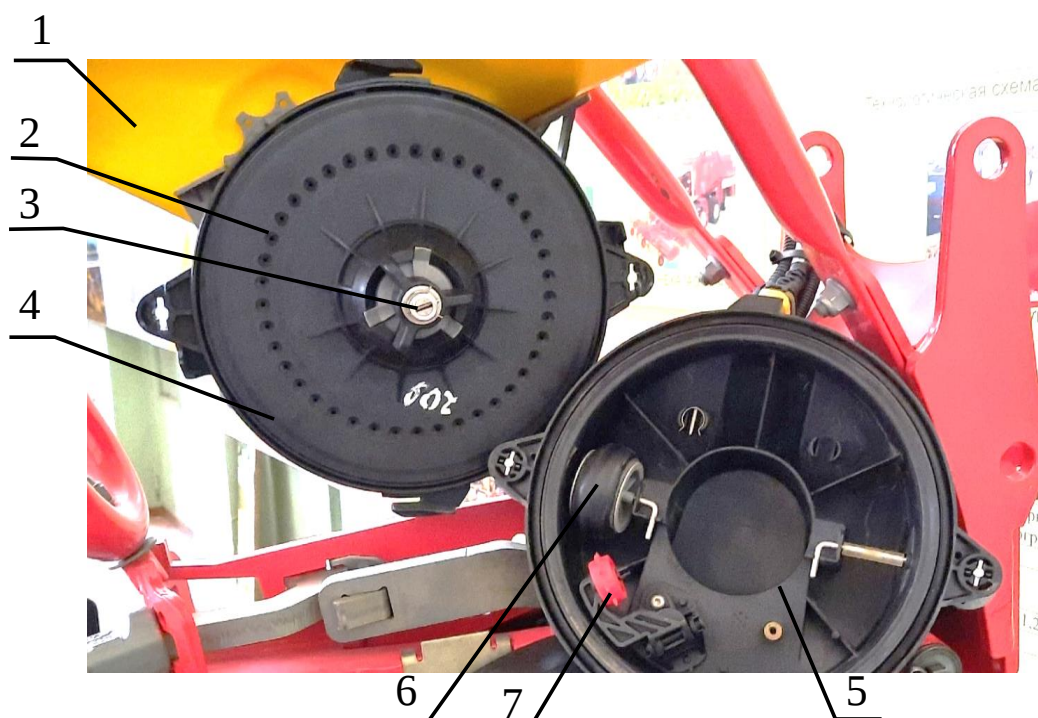
- низкая повреждаемость семенного материала;
- нет необходимости в тщательной калибровке семян;
- универсальность, т.е. возможен высев большинства технических пропашных культур при простой замене диска в высевающем аппарате;
- соблюдение требований к качеству посева.

Однако высевающий аппарат имеет и свои недостатки:

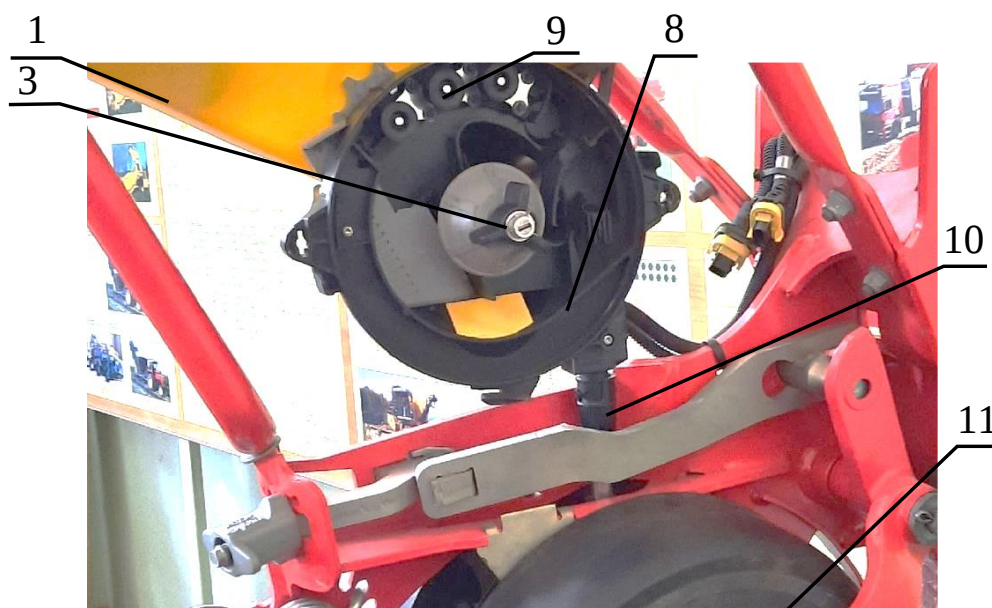
- усложнение конструкции из-за использования патрубков и вентилятора с приводом от ВОМ;
- чувствительность процесса присасывания семян к нестабильности создаваемого разрежения;
- повышенное энергопотребление полезной мощности тягового средства;
- дополнительный шум от вентилятора.

Учитывая отмеченные преимущества, современные модели сеялок точного высева с пневмовакуумными высевающими аппаратами играют ключевую роль в реализации точного высева. Рассмотрим работу высевающего аппарата, работающего за счет избыточного давления, сеялки Tempo Vaderstad [69, 81, 98, 165, 166] (рисунок 1.4).

Работает высевающий аппарат следующим образом. Семена из бункера 1 самотеком поступают в предварительную камеру 8, где с помощью вентилятора создается избыточное давление, которое перемещает их к отверстиям 4 диска 2, где они и удерживаются за счет стационарного воздушного потока в камере. Для большей герметичности диска к камере на крышке высевающего аппарата 5 установлены уплотнительные катки 6, которые прижимают диск к камере избыточного давления. Работает высевающий аппарат от электродвигателя, на вал которого закрепляется быстросъемный механизм 3, позволяющий менять диски в течение одной-двух минут с учетом снятия и установки крышки. Электропривод сеялки позволяет регулировать норму высева бесступенчато, а скользкая почва не оказывает влияние на работу сеялки. В этом случае частота вращения вала электродвигателя синхронизирована со скоростью машинно-тракторного агрегата, считываемой радаром с эффектом Доплера.



а) высевающий аппарат сеялки



б) высевающая секция сеялки

- 1 – бункер, 2 – высевающий диск, 3 – привод диска с механизмом крепления,
 4 – отверстие диска, 5 – крышка высевающего аппарата,
 6 – прижимной каток, 7 – игольчатый каток, 8 – пневматическая камера, 9 – отсекающий лишние
 семян, 10 – семянаправитель, 11 – прикатывающий каток

Рисунок 1.4 – Устройство посевной секции сеялки Tempo Vaderstad

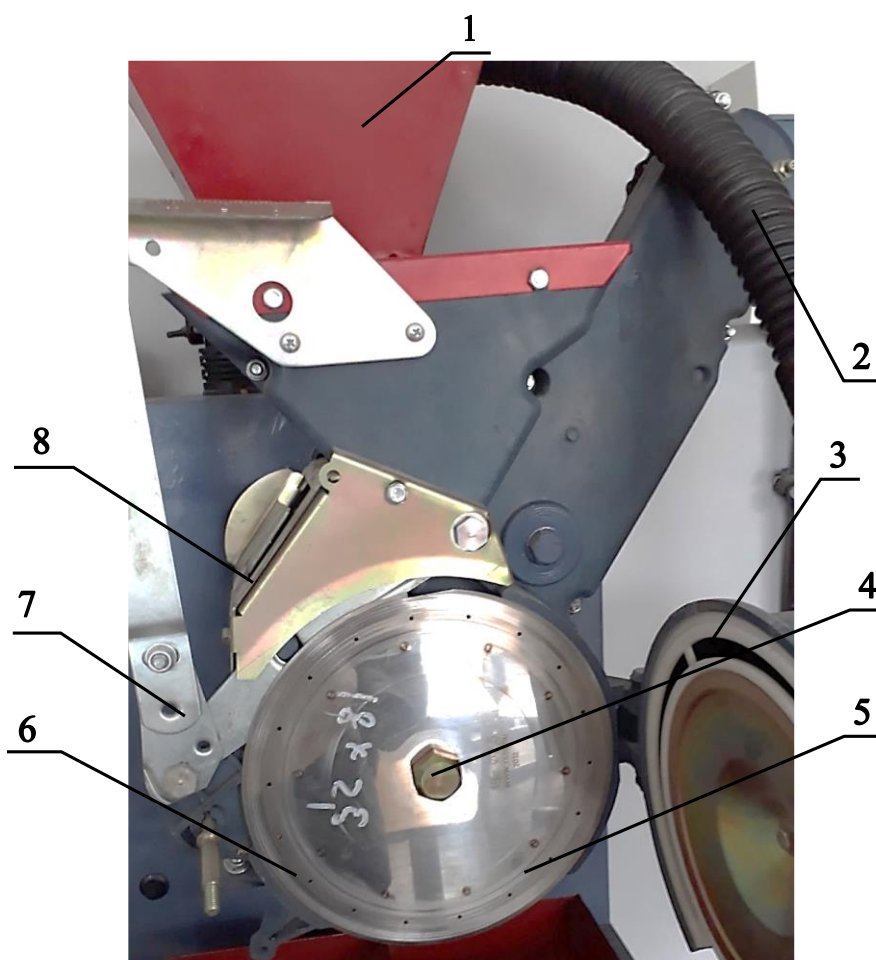
Сброс семян осуществляется с помощью игольчатого катка 7, который отрывает частицу от отверстия диска 4, в результате чего она захватывается

избыточным давлением и перемещается в семянаправитель 10, а затем в дисковый сошник. Лишние семена от диска отделяются с помощью отсекателя 9.

Представленный аппарат не лишен недостатков:

- высокие требования к герметичности соединений высевающего аппарата;
- наличие системы электродвигатель-высевающий аппарат предъявляет высокие требования к их синхронной работе;
- повышенная чувствительность к внешним условиям [46, 47] из-за сложности конструкции высевающего аппарата и системы управления.

Устройство пневмовакуумного высевающего аппарата можно рассмотреть на примере сеялки ТС-М-4150А (рисунок 1.5), производимой в г. Воронеже на заводе ООО «Техника Сервис Агро» [39, 92].



1 – бункер, 2 – патрубок разрежения, 3 – вакуумная камера, 4 – вал привода сеялки, 5 – высевающий диск, 6 – отверстие высевающего диска, 7 – рычаг регулятора отсекателя лишних семян, 8 – смотровое окно

Рисунок 1.5 – Устройство высевающего аппарата сеялки ТС-М-4150А

В вакуумной камере 3 высевающего аппарата (рисунок 1.5) через патрубки 2 вентилятором создается разрежение. Благодаря уплотнителям в камере вакуум приближен к стационарному с высоким КПД. Семенной материал из бункера самотеком попадает в предварительную камеру, откуда присасывается к отверстиям 6 высевающего диска 5. Уровень заполнения камеры можно проверить с помощью смотрового окна 8. После полного оборота диска семена из отверстий падают в борозду. Для предотвращения присасывания к отверстию больше одного семени используют сбрасыватель специальной конструкции (не показан), обеспечивающий точное распределение посевного материала в борозде при правильной настройке [46, 75].

Таким образом, высевающим аппаратам избыточного давления присущи недостатки, которые связаны с высокой сложностью изготовления, эксплуатации и требованиями к герметичности соединений. Для вакуумных высевающих аппаратов характерна относительно низкая скорость выхода семян в сошник и бороздку, которая определяется частотой вращения диска. В связи с этим увеличивается коэффициент вариации распределения интервалов. Однако такой аппарат отличается простотой конструкции и наиболее распространен на существующих сеялках точного высева, поэтому он может быть использован в наших исследованиях.

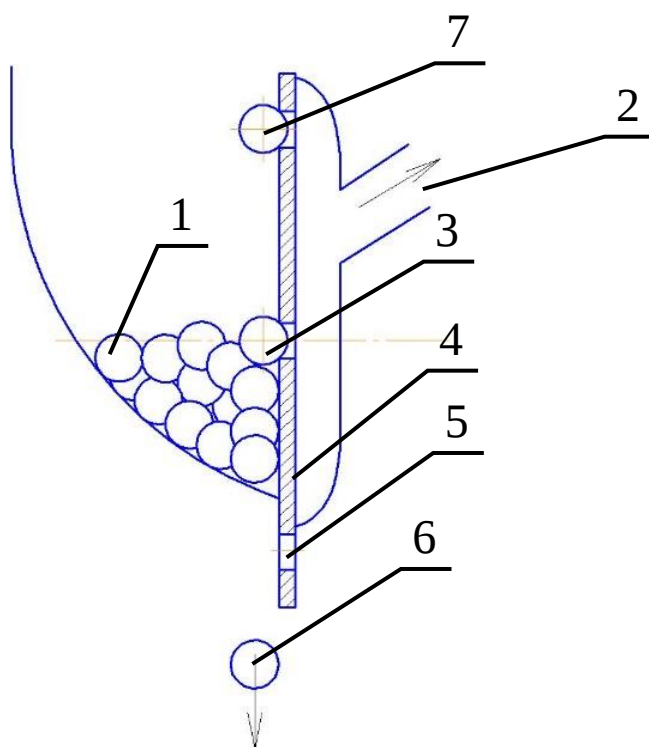
1.3 Теоретические основы дозирования семян пневмовакuumными высевающими аппаратами

Пневматический высевающий аппарат сеялки точного высева работает по принципу вакуумного присасывания семян к отверстиям высевающего диска. При рассмотрении процесса его работы были приняты следующие допущения [133, 145]:

- постоянная частота вращения диска;

- семена присасываются из ближайшего к высеваящему диску слоя и в точках, лежащих на траектории движения центров присасывающих отверстий диска;
- скорость движения семян меняется по линейной зависимости;
- семена совершают близкое к нулю перемещение в плоскости, перпендикулярной плоскости высеваящего диска.

Технологическая схема работы пневматического высеваящего аппарата изображена на рисунке 1.6.



1 – предварительная камера, 2 – вакуумная камера, 3 – присасываемое семя, 4 – диск, 5 – отверстие диска, 6 – семя, падающее в борозду, 7 – семя в верхней части диска

Рисунок 1.6 – Технологическая схема процесса дозирования аппаратом сеялки точного посева

Семенной материал из бункера самотеком попадает в предварительную камеру 1 (рисунок 1.6), откуда присасывается к отверстиям 5 высеваящего диска 4, который совершает вращение вдоль движения МТА. Присасывание осуществляется за счет разрежения в вакуумной камере 2, создаваемого вентилятором. Захваченное семя выходит из предварительной камеры 1 и

оказывается в верхней части траектории 7. В нижней точке траектории к отверстиям перестает подаваться разрежение, вследствие чего семенной материал движется под собственной тяжестью вниз [21]. Для исключения присасывания к отверстию больше одного семени в сеялках устанавливаются сбрасыватели различных конфигураций [21, 144].

Захват семени диском возникает при условии, когда сила присасывания будет равна равнодействующей сил сопротивления [62, 85]:

$$F_{\Pi} = R_{\text{сопр}}, \quad (1.1)$$

где $R_{\text{сопр}}$ – равнодействующая сил сопротивления, Н;

F_{Π} – присасывающая сила, Н [19], определяемая уравнением

$$F_{\Pi} = k_{\text{пс}} \Delta H \cdot S_{\text{сем}}, \quad (1.2)$$

где $k_{\text{пс}}$ – эмпирический коэффициент просасывания [85, 147];

ΔH – величина разрежения, Па;

$S_{\text{сем}}$ – площадь поверхности семени, к которой приложен вакуум, м².

Диаметр отверстия определяется согласно условию присасывания и незабивания отверстий [145] из выражения

$$d_{\text{отв}} = (0,6 \dots 0,7) d_{\text{сем}}, \quad (1.3)$$

где $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия, м;

$d_{\text{сем}}$ – диаметр семени, м.

При определении присасывающей силы исходят из того, что она должна быть больше или равна результирующей реакции сопротивления, которая включает, по мнению авторов [151], силу тяжести, центробежную силу и силу инерции семени в момент присасывания $m_{\text{сем}} \frac{dV}{dt}$ [10], которую определим по формуле

$$m_{\text{сем}} \frac{dV}{dt} = \frac{m_{\text{сем}} (\omega R_{\text{отв}} - \omega R_{\text{в}} f_{\text{тр}})^2}{d_{\text{сем}}}, \quad (1.4)$$

где $m_{\text{сем}}$ – масса одного семени, г;

ω – угловая скорость вращения диска, рад/с;

$R_{\text{отв}}$ – радиус расположения отверстий, м;

$R_{\text{в}}$ – радиус расположения ворошилок, м;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения семени по диску.

Центробежную силу $F_{\text{цб}}$ определяют по формуле [119, 137, 164]

$$F_{\text{цб}} = m_{\text{сем}} \omega^2 R_{\text{отв}}, \quad (1.5)$$

Равнодействующая сил сопротивления определяется из векторного уравнения

$$\overrightarrow{R_{\text{сопр}}} = m_{\text{сем}} \left(\vec{g} + \frac{d\vec{V}}{dt} + \vec{\omega}^2 R_{\text{отв}} \right), \quad (1.6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

В скалярном виде получаем уравнение вида

$$R_{\text{сопр}} = \sqrt{\left(m_{\text{сем}} \cdot g + \frac{m_{\text{сем}} (\omega R_{\text{отв}})^2}{d_{\text{сем}}} \right)^2 + (m_{\text{сем}} \omega^2 R_{\text{отв}})^2}. \quad (1.7)$$

Представленные основы расчета процесса высева семенного материала пневматическим высевающим аппаратом не учитывают форму семян при определении присасывающей силы, а также возникающее лобовое сопротивление семени при движении в слое посевного материала, которое повлияет на значение результирующей сил сопротивления, что необходимо учесть в математической модели.

1.4 Обоснование схем размещения междурядий при возделывании сахарной свеклы на семенные цели имитационным моделированием

Использование имитационного моделирования позволяет привести в математическую форму процессы вегетации сахарной свеклы [58, 59, 79]. Методика исследования была предложена проф. К.Р. Казаровым и проф. В.В. Василенко.

За основу расчета было принято, что плотность распределения интервалов между семенами после выхода с высевающего диска подчиняется закону нормального распределения Гаусса [22, 58, 148]:

$$s(x_{\text{и}}) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_{\text{и}} - mc)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1.8)$$

где $s(x_{\text{и}})$ – плотность распределения интервалов между семенами;

$x_{\text{и}}$ – значения интервалов между корнеплодами;

σ – среднее квадратичное отклонение расстояния между семенами, м;

mc – математическое ожидание расстояния между семенами, м.

При посеве может возникнуть инверсия – это явление, когда нарушается порядок размещения семян на дне борозды относительно последовательности их выхода с высевающего диска [18, 58], возникающее в основном из-за случайных явлений. Однако статистически более вероятно проявление инверсии из-за следующих факторов: неправильной формы частиц семенного материала, низкого разрежения в системе, большой частоты вращения высевающего диска и количества отверстий в нем. Этот факт учитывается при моделировании следующим образом:

$$s_i(x_{\text{и}}) = s(x_{\text{и}}) + s(-x_{\text{и}}), \quad (1.9)$$

где $s_i(x_{\text{и}})$ – функция распределения интервалов между семенами;

$s(-x_{\text{и}})$ – плотность вероятности появления отрицательных интервалов.

Для приведения значения математического ожидания распределения интервалов между растениями в рядке к действительному отрицательные значения переносятся в положительную зону с теми же абсолютными значениями аргумента [59]. В связи с этим может возрасти количество малых интервалов, вероятность появления которых находится по формуле интегрирования функции распределения интервалов в рядке в пределах от $-\infty$ до 0:

$$P_{sm} = \int_{-\infty}^0 s_i(x_{\text{и}}) dx_{\text{и}}, \quad (1.10)$$

где P_{sm} – вероятность появления малых интервалов.

В результате уточнения функции распределения с условием возникновения и отрицательных интервалов авторы методики предлагают вычислить условное математическое ожидание mc_y по формуле

$$mc_y = \int_0^{+\infty} x \cdot s_i(x_i) dx_i. \quad (1.11)$$

Профессор К.Р. Казаров предложил ввести поправочную функцию $c(x)$ учета инверсии семян [59]:

$$c(x) = 1 - 1,917 \cdot P_{sm} \cdot \frac{x_i - mc_y}{mc_y}. \quad (1.12)$$

Функция используется для получения плотности вероятности реального трансформированного распределения Гаусса при переносе отрицательных интервалов в область положительных значений аргумента [58] по абсолютной величине:

$$s_c(x_i) = c(x_i) \cdot s_i(x_i), \quad (1.13)$$

где $s_c(x_i)$ – функция распределения интервалов между семенами с учетом корректирующей функции.

При имитационном моделировании [52, 116] принимаются допущения, что полевая всхожесть известна и семена не отклоняются от места расположения на дне борозды при прорастании. Окончательная плотность распределения интервалов между всходами выглядит следующим образом [94]:

$$s_r(x_i) = \sum_n \left(\frac{p \cdot q^{n-1}}{\sigma_2 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - mc_n)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}} \right), \quad (1.14)$$

где $s_r(x_i)$ – окончательная плотность распределения интервалов между всходами;

p – вероятность всхожести семян;

q – вероятность невсхожести семян, $q = 1 - p$;

mc_n – математическое ожидание интервалов между растениями;

σ_2 – среднее квадратичное отклонение интервалов между всходами.

Скорректированные с учетом поправки функции вычисляются по формулам:

$$mc_n = \int_0^{+\infty} x_{\text{и}} \cdot s_c(x_{\text{и}}) dx_{\text{и}}, \quad (1.15)$$

где mc_n – математическое ожидание интервалов между растениями;

$$\sigma_2 = \int_0^{+\infty} \sqrt{(x_{\text{и}} - mc_n)^2 \cdot s_c(x_{\text{и}})} dx_{\text{и}}. \quad (1.16)$$

В имитационном моделировании масса корнеплодов рассчитывается в зависимости от расстояния между растениями [15, 58]. Если расстояние между растениями не более 25 мм, масса будет равна 25 г, при расстоянии 25...50 мм – до 50 г, 50...75 мм – 100 г и т.д. Потому интегрируя выражение (1.14), получаем возможное количество корнеплодов от 25 до 800 г.

$$P(g_i) = \int_{x_i}^{x_i+1} s_r(x_{\text{и}}) dx_{\text{и}}, \quad (1.17)$$

где g_i – расчетная масса маточника, г.

Для учета влияния соседних интервалов авторы предлагают найти количество погибших или некондиционных корнеплодов по формуле

$$N_{\text{нк}} = \frac{146}{x_{\text{л}} + x_{\text{п}}}, \quad (1.18)$$

где $x_{\text{л}}$ и $x_{\text{п}}$ – расстояния, прилегающие к растению слева и справа, м;

146 – коэффициент, показывающий минимальный диаметр площади питания растения.

Количество растений на 1 га с учетом величины среднего междурядья и интервала между всходами определяется выражением

$$N = \frac{10\,000 \cdot 100}{b_{\text{ср}} \cdot mc_p}, \quad (1.19)$$

где $b_{\text{ср}}$ – средняя ширина междурядья, м, указана в работе [141];

mc_p – средний интервал между всходами, м, определяется по формуле

$$mc_p = \frac{mc}{p}. \quad (1.20)$$

Количество корнеплодов перед уборкой $N(g_i)$ с учетом погибших растений в процессе вегетации в каждом весовом классе определяется уравнением

$$N(g_i) = P(g_i) \cdot N \cdot N_{\text{нк}}. \quad (1.21)$$

Найдем относительную массу одного корнеплода по формуле [22, 58]

$$G_n(x_{\text{и}}) = 1 - e^{-0,5 \cdot x_{\text{и}} \cdot \lambda_{\text{max}} \cdot (1 - e^{-0,5 \cdot \lambda_{\text{max}} \cdot x_{\text{и}}})}, \quad (1.22)$$

где $G_n(x)$ – относительная масса одного корнеплода;

$x_{\text{и}}$ – значения интервалов между корнеплодами, $x \in [0; 0,4]$ м.

Профессором В.В. Василенко [20] были получены эмпирические зависимости относительной массы корнеплода от интервалов между семенами для благоприятного года:

$$G_n(x_{\text{и}}) = 0,984 + 0,05x_{\text{и}}^{-0,2} - e^{-9x_{\text{и}}^{1,8}}. \quad (1.23)$$

И для неблагоприятного года:

$$G_n(x_{\text{и}}) = 0,935 + 0,04x_{\text{и}}^{-0,2} - e^{-12x_{\text{и}}^{1,6}}. \quad (1.24)$$

При анализе графических зависимостей (рисунок 1.7) авторы сделали вывод, что увеличение интервала между семенами больше 0,4 м не имеет смысла. Поэтому более рационально использовать ленточный двустрочный посев с интервалом между семенами 0,2 м.

Для посева с узким междурядьем 45+15 см используется корректирующая функция, которая согласно исследованиям проф. К.Р. Казарова [58] будет иметь следующий вид:

$$G_l(x_{\text{и}}) = 0,943 \cdot G_n(x_{\text{и}}) - 7,035, \quad (1.25)$$

где $G_l(x_{\text{и}})$ – относительная масса одного корнеплода с учетом ленточного посева.

Урожайность корнеплодов сахарной свеклы с 1 га рассчитывается посредством нахождения суммы произведения массы корнеплода определенного класса на их количество на гектаре:

$$U(g_i) = \sum_n G_l(g_i) \cdot N(g_i), \quad (1.26)$$

где $U(g_i)$ – урожайность корнеплодов, ц/га.

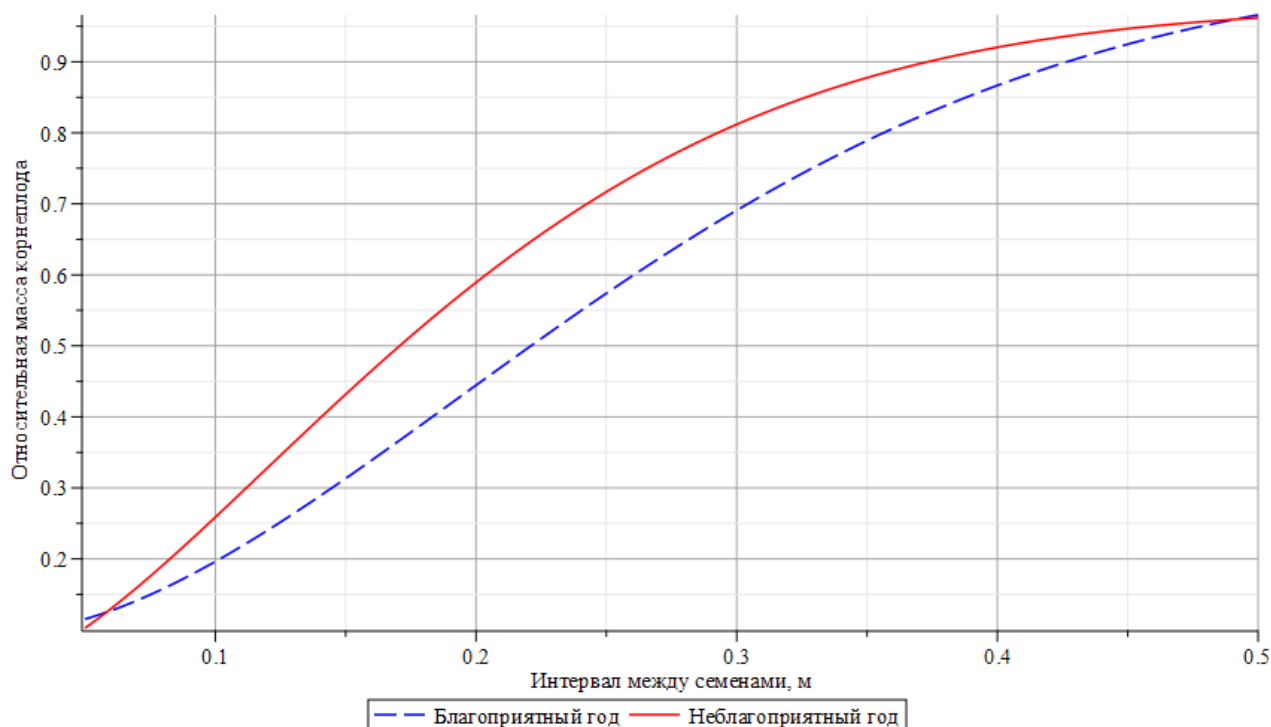


Рисунок 1.7 – Зависимость относительной массы корнеплода от интервала между семенами в благоприятный или неблагоприятный год

Для расчета среднего выхода урожая семян с одного маточника в граммах используется следующая зависимость [54, 56]:

$$U_c = 14,8 \cdot \ln(G_l(x_n)) - 0,01 \cdot G_l(x_n), \quad (1.27)$$

где U_c – средний выход семян с одного маточника, г.

Итак, представленная методика позволяет определять урожайность корнеплодов и их размер в зависимости от интервалов размещения с учетом прогнозируемых погодных условий. Однако существующая модель не позволяет определить количество семян, получаемых с корнеплода на второй год вегетации.

1.5 Возможность использования существующих машин и разработок при производстве штеклингов

Одной из проблем внедрения схемы междурядий 45+15 см (рисунок 1.8) является отсутствие комплекса машин для возделывания сахарной свеклы. Однако исследования в этой области проводятся, и в качестве отечественной разработки можно привести модель сеялки из Мичуринского ГАУ на базе сеялки ССТ-12Б (рисунок 1.9). В высевающем аппарате установлены два диска с угловым смещением на одной высевающей секции, чем достигается высев семян в два смежных ряда в шахматном порядке [88, 97, 133].

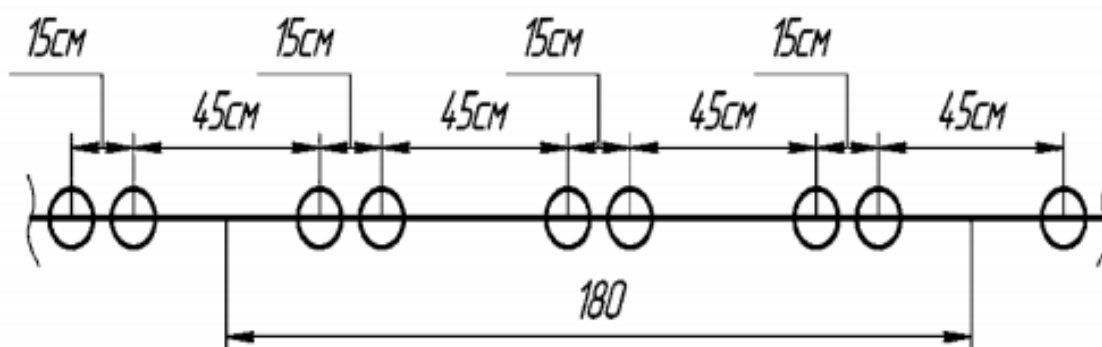


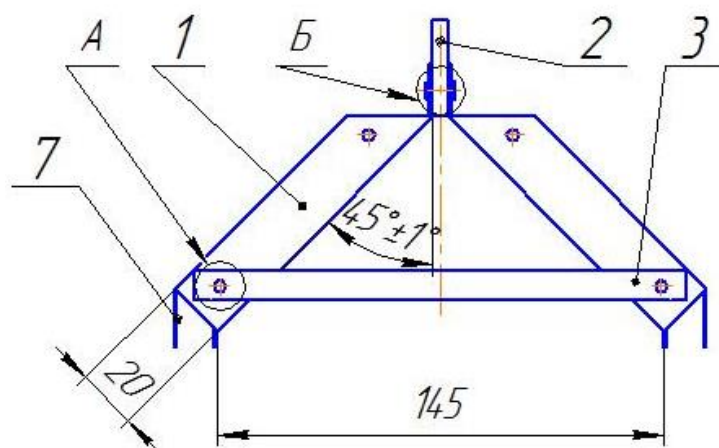
Рисунок 1.8 – Схема междурядий 45+15 см



1 – бункер, 2 – совмещенные высевающие аппараты, 3 – прикатывающий каток,
4 – загортач, 5 – рама и навесное устройство трактора

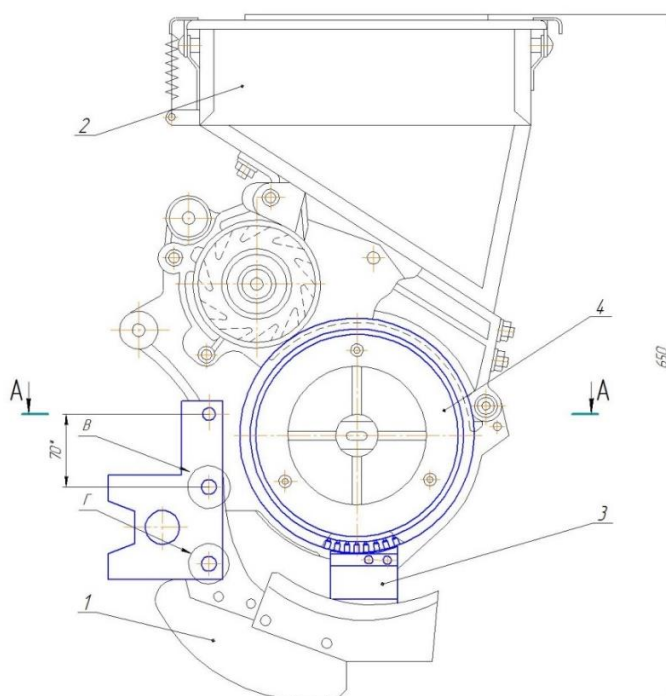
Рисунок 1.9 – Модернизированная сеялка на базе ССТ-12Б

Известно устройство [114], разработанное под руководством проф. К.Р. Казарова, представляющее собой делитель потока семян с одного высевающего аппарата сеялки ССТ-12Б на два рядка (рисунки 1.10-1.11). Конструкция представляет собой тройник, состоящий из входного отвода с перегородкой 2 и двух косых отводов 1 в виде трубки прямоугольного сечения. Устанавливается сразу после высевающего диска сеялки.



1 – трубка прямоугольного сечения, 2 – перегородка, 3 – усиливающая пластина,
7 – направляющие пластины

Рисунок 1.10 – Делитель потока на сеялку ССТ-12Б

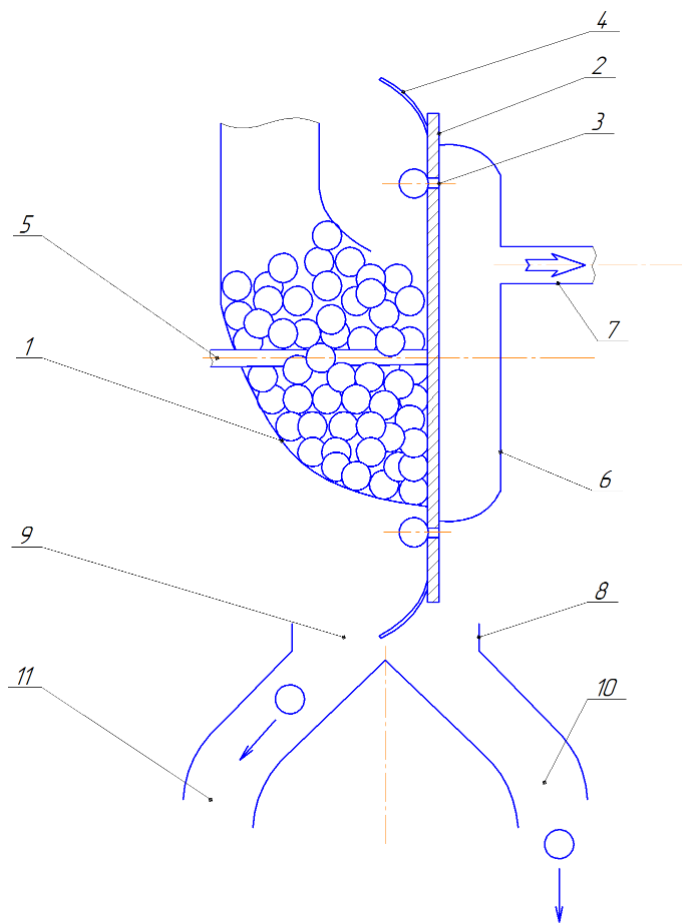


1 – сошник сеялки, 2 – бункер, 3 – делитель потока, 4 – двустрочный высевающий диск

Рисунок 1.11 – Посадочное место для делителя на сеялке

Для работы делителя необходимо, чтобы на сеялке был установлен двустрочный высевачный диск. Принцип работы устройства заключается в том, что семена с левого ряда диска падают в левый косой отвод и к левому сошнику, а с правого – в соответствующий отвод и сошник.

Также нами предлагается пневматический аппарат для двустрочного высева [106] семян пропашных культур с пластинчатыми направляющими (рисунок 1.12).

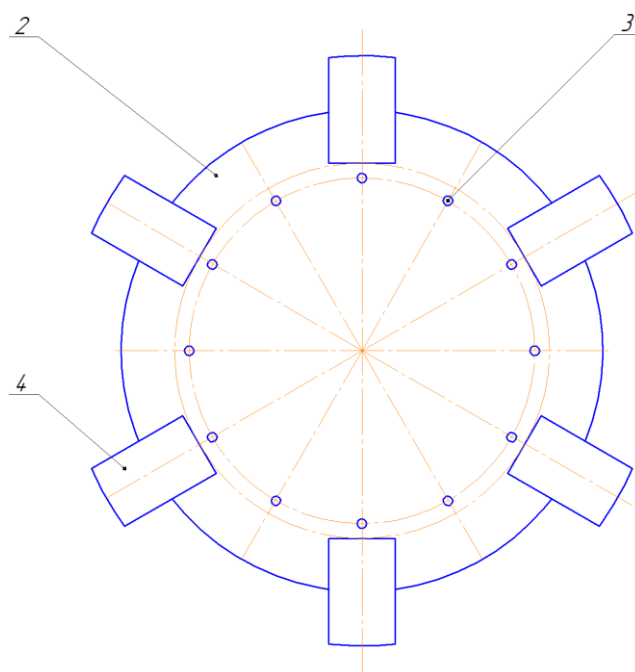


- 1 – камера заполнения, 2 – высевачный диск, 3 – отверстия ячеек диска,
 4 – пластинчатый направляющий, 5 – приводной вал диска, 6 – вакуумная камера,
 7 – патрубок, 8 – входной отвод, 9 – входной канал, 10 и 11 – выходные каналы.

Рисунок 1.12 – Пневматический аппарат для двустрочного высева

Пневматический аппарат для двустрочного высева (рисунок 1.12) пропашных культур включает камеру заполнения 1, в которую поступают семена из бункера (не показан), вертикально расположенный высевачный диск 2 со сквозными непроходными ячейками 3, пластинчатыми направляющими 4 (рисунок

1.13) и приводным валом 5, вакуумную камеру 6 с патрубком 7 и делитель 8 с входным каналом 9 и двумя выходными каналами 10 и 11. Направители 4 размещены на каждой второй ячейке на окружности с большим радиусом, чем радиус окружности размещения ячеек. Делитель 8 установлен асимметрично по отношению к рабочей плоскости высевающего диска, прилегающей к камере заполнения таким образом, что эта плоскость совпадает с одним из двух выходных каналов делителя.



2 – высевающий диск, 3 – отверстие высевающего диска, 4 – пластинчатый направитель

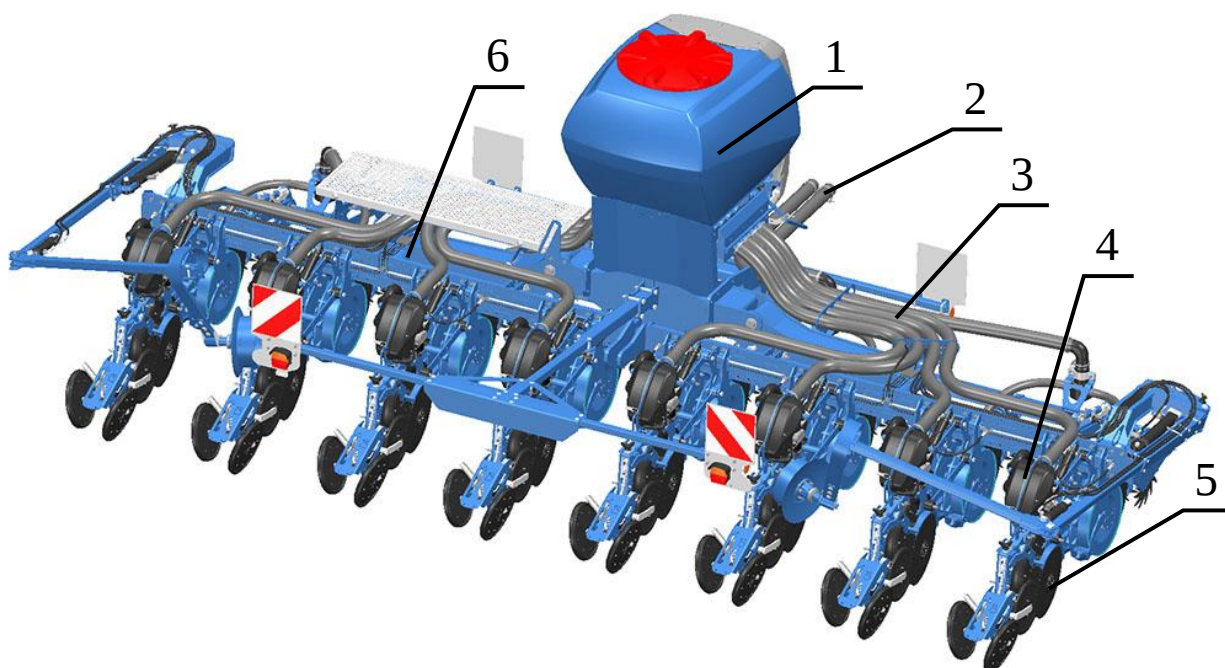
Рисунок 1.13 – Высевающий диск пневматического аппарата

Пневматический аппарат для двустрочного высева пропашных культур работает следующим образом. Семенной материал, находящийся в камере заполнения, контактирует с вращающимся высевающим диском 2, присасывается за счет разрежения к отверстиям диска 3 и выносится из камеры заполнения. В нижней точке траектории вращения высевающего диска отверстия выходят из зоны действия вакуумной камеры 6, и семена падают вниз по направлению к сошнику. Сначала они попадают во входной канал 9 делителя 8. Отверстия 3, возле которых нет направителя 4, роняют семена сразу в выходной канал 10. Если возле отверстия имеется направитель, то частица смещается в поперечном

направлении и попадает в выходной канал 11. Таким образом, семена покидают высевательный аппарат двумя потоками, которые в почве образуют две строчки с шахматным размещением. Расстояние между строчками равно расстоянию между выходными каналами делителя.

Предлагаемые устройства реализуют двустрочный посев пропашных культур с помощью однострочной высевательной секции сеялки точного посева, в результате чего увеличивается площадь питания растений.

Зарубежные коллеги из компании Lemken уже в 2019 г. презентовали серийный образец сеялки Azurit 9/8.75 KD (рисунок 1.14) [131, 161, 168], которая отличается не только использованием центрального семенного 600-литрового бункера на все высевательные секции, но и реализацией технологии DeltaRow.



1 – центральный бункер, 2 – магистраль нагнетания воздуха, 3 – трубопроводы подачи семян к высевательным аппаратам, 4 – высевательный аппарат, 5 – дисковые сошники полурадов DeltaRow, 6 – рама

Рисунок 1.14 – Сеялка Azurit 9/8.75 K D от Lemken

По данным производителя, ее основа – посев семян технических культур в ряд из 2-х полурадов на расстоянии 12,5 см друг от друга, между которыми укладываются удобрения. Схема распределения растений при таком посеве

представлена на рисунке 1.15, на котором видим, что зона питания растений, обозначенная большим синим кружком, за счет шахматного расположения увеличивается по сравнению с классической схемой до 70%, [3, 33, 94, 144], что косвенно влияет и на прогнозируемую урожайность растений.

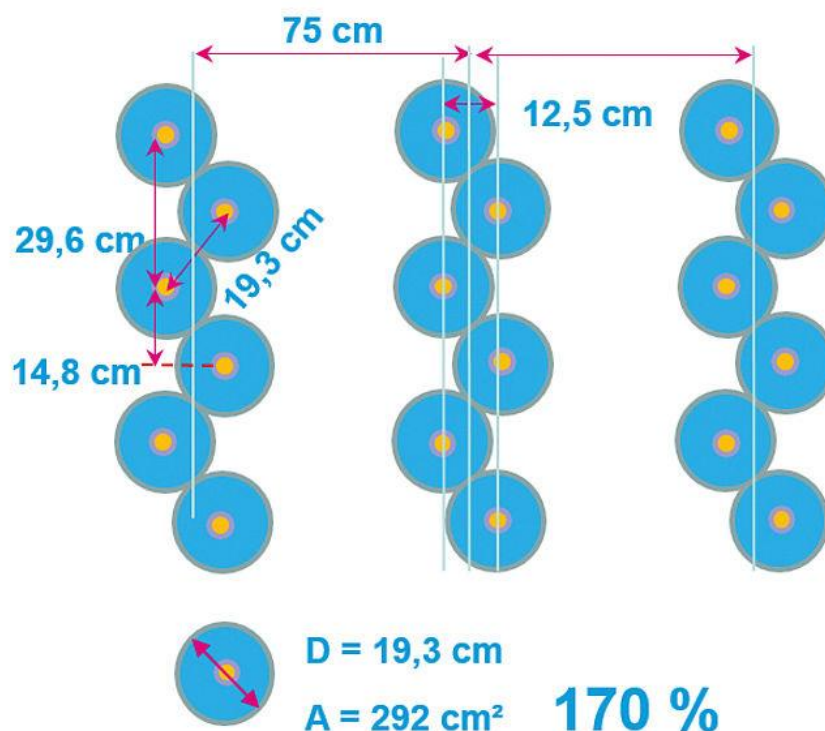
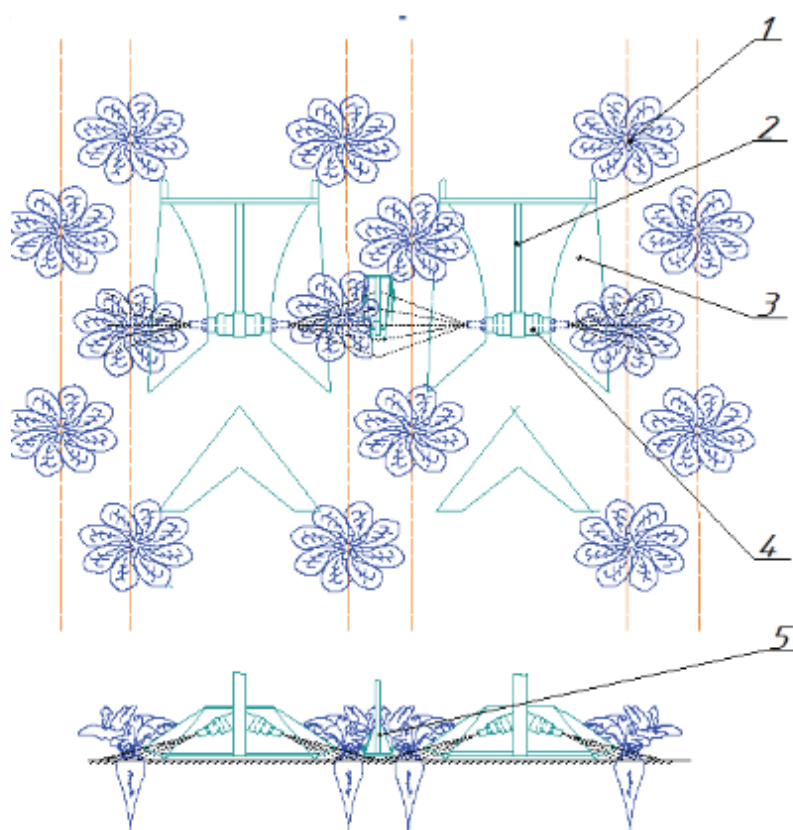


Рисунок 1.15 – Технология DeltaRow

Для ухода за посевами возможно использование прицепных или самоходных опрыскивателей [41, 72, 120]. В качестве альтернативы коллективом авторов [97] предлагается агрегат, который вносит гербициды и другие химикаты в защитную зону рядка без непосредственного контакта с ботвой корнеплода [101] (рисунок 1.16). Машина состоит из листоподъемника 2, защитного щитка 3, который исключает разбрызгивание химиката на листья ботвы сахарной свеклы 1. Под щитками располагаются две щелевые форсунки 4, которые вносят препарат непосредственно в защитную зону рядка [97].

Ключевой операцией по возделыванию сахарной свеклы является уборка, ведь вовремя и полностью убранный урожай маточников – завершающий штрих всей деятельности за первый год вегетации сахарной свеклы. Поскольку междурядье 45+15 см является нестандартным для серийных уборочных машин,

нами предлагается использование комбайнов для уборки моркови, т.к. форма и размер штеклингов и моркови являются схожими.



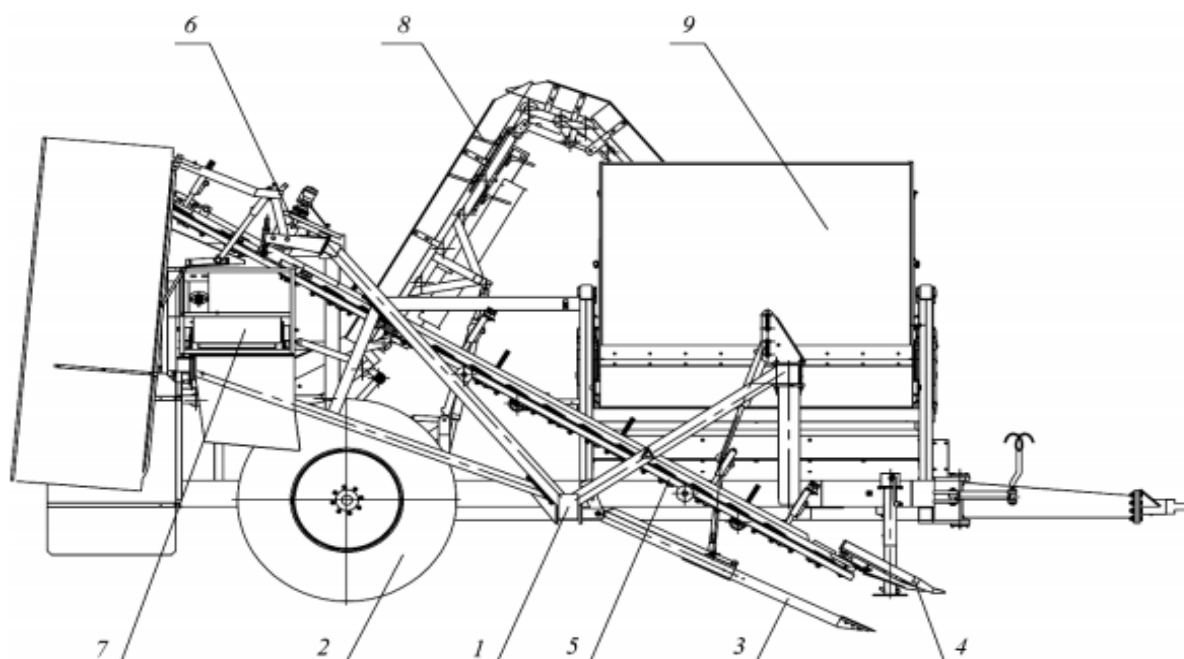
- 1 – сахарная свекла, 2 – листоподъемник, 3 – защитные щитки,
4 – распыливающее устройство, 5 – межстрочные листоподъемники

Рисунок 1.16 – Машина для ухода за посевами по схеме 45+15 см

Для уборки моркови используются машины подкапывающего и теребильного типа. Более подробно эти машины рассмотрены в работах [27, 29] и мы не будем акцентировать на них внимание. Рассмотрим лишь принцип работы современных комбайнов теребильного типа (рисунок 1.19).

Машина работает следующим образом: подкапывающее устройство 3 (рисунок 1.19) внедряется в почву и рыхлит ее вблизи корнеплодов. Ботвоподъемник 4 поднимает листья с поверхности земли и подает их в теребильную секцию 5, которая выдергивает растения из почвы и осуществляет их первичную очистку. Затем роторное ботвоудаляющее устройство отрезает листовую часть и корнеплод транспортируется по конвейерам 7 и 8

непосредственно в бункер 9. А ботва из теребильной секции падает на поверхность поля позади комбайна.



1 – рама, 2 – колесный ход, 3 – подкапывающее устройство, 4 – ботвоподъемник,
5 – теребильная секция, 6 – роторное ботвоудаляющее устройство, 7 – поперечный конвейер, 8 –
выгрузочный конвейер, 9 – бункер с подвижным дном

Рисунок 1.17 – Комбайн теребильного типа

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что в контексте развития семеноводства сахарной свеклы рекомендуется начать с использования доступных на рынке машин, способных работать при схеме размещения междурядий 45+15 см, в т.ч. описанных в этом разделе.

1.6 Выводы

1. Для увеличения площади питания растений с целью увеличения урожайности корнеплодов следует исследовать схему размещения междурядий 45+15 см с расположением семян в ленте в шахматном порядке.

2. Для учета формы поверхности семян, лобового сопротивления, послойного трения при моделировании процесса высева следует модифицировать математический аппарат.

3. Для прогнозирования урожайности корнеплодов в зависимости от схемы междурядий, интервалов между семенами, точности распределения их в рядке и посевных качеств с целью обоснования схемы посева 45+15 см следует использовать имитационную модель, предложенную проф. В. В Василенко и проф. К.Р. Казаровым.

4. Разработка технического решения для переоборудования высевающих аппаратов универсальных сеялок точного высева позволит подтвердить эффективность выращивания штеклингов с использованием схемы размещения междурядий 45+15 см.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ДВУСТРОЧНОГО ПОСЕВА

Для реализации ленточного посева семян сахарной свеклы рассматривались несколько возможных путей:

- установка дополнительных высевających аппаратов;
- изменение конструкции существующих высевających аппаратов;
- разработка делителя к высевающему аппарату.

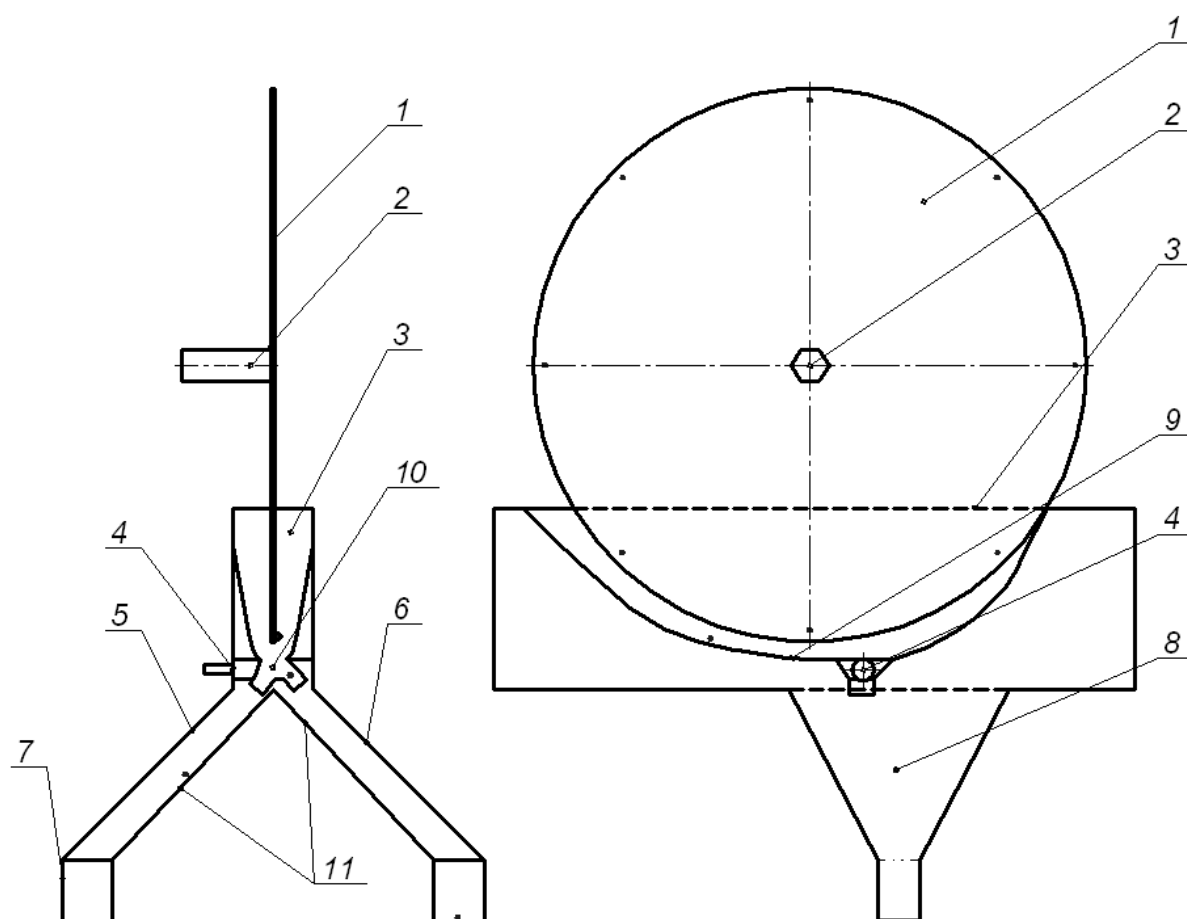
Ширина посевных секций существующих пневматических высевających аппаратов не позволяет разместить их на одном бруске рамы, что потребует изменения конструкции всей сеялки. Вопрос изменения конструктивных параметров существующих высевających аппаратов изучался в работе [115]. На одно из таких технических решений был получен патент (патент РФ № 2790664). Однако из-за трудностей, связанных с изготовлением высевающего аппарата, дальнейшие исследования не проводились. Настоящая работа посвящена обоснованию параметров и режима работы делителя потока семян к существующим серийным высевающим аппаратам.

Устройство для разделения семян на выходе с высевающего аппарата и их ленточного посева по схеме 45+15 см разработано совместно с компанией «Техника Сервис Агро» [103], его общий вид представлен на рисунке 2.1.

Делитель потока выполнен в виде тройника, состоящего из вертикального входного отвода 3 (рисунок 2.1), выполненного в форме прямоугольного параллелепипеда, и двух отводящих косых отводов 5 и 6, выполненных в форме трапецеидальной призмы. В вертикальном входном отводе располагается воздушная камера 4 с установленной форсункой инжекторной пневмосистемы, выполненной с возможностью дискретной подачи воздуха с частотой, равной половине частоты схода семян с высевающего диска.

Работает предлагаемое устройство следующим образом: посевной материал с высевающего диска 1 поступает в вертикальный входной отвод 3 делителя потока и при отсутствии подачи воздуха в воздушную камеру 4 попадает на

начало косого отвода 5 со стороны размещения форсунки, затем – в посевное ложе, создаваемое первым сошником. При подаче воздуха к форсунке семя смещается струей в поперечном направлении и попадает на начало косого отвода 6, с противоположной от размещения форсунки стороны, а после – в борозду, создаваемую вторым сошником [103].



1 – высевающий диск, 2 – вал привода диска, 3 – вертикальный входной отвод,
4 – форсунка подачи воздуха, 5 и 6 – наружные стенки выходного отвода, 7 – направляющие
семян, 8 – семена сахарной свеклы, 9 – наклонный лоток для подачи семян к воздушной камере,
10 – воздушная камера, 11 – внутренняя стенка отвода

Рисунок 2.1 – Схема устройства делителя потока семян с высевающего аппарата
сеялки точного высева ТС-М-4150А

Для определения условий присасывания семян к отверстиям диска, траектории движения семени от диска до выхода из делителя при двустороннем посеве нам необходимо разработать математические модели.

2.1 Уточнение расчета процесса захвата семени отверстием диска пневматического высевающего аппарата

Математическая модель работы высевающего аппарата, предложенная проф. В.В. Василенко в работе [151], наиболее полно описывает процесс захвата посевного материала отверстиями диска. Однако эта модель не учитывает форму поверхности присасывания семени и лобовое сопротивление, возникающее при движении в слое семенного материала в предварительной камере.

По формуле (1.2) мы можем определить присасывающую силу. С учетом того, что дражированное семя сахарной свеклы имеет шаровидную форму, поверхностью присасывания является шаровый сегмент, величину площади которого можно определить по формуле

$$S_{\text{сем}} = \frac{\pi d_{\text{сем}}}{2} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{отв}}^2} \right), \quad (2.1)$$

где $S_{\text{сем}}$ – величина площади поверхности присасывания семени, м²;

$d_{\text{сем}}$ – диаметр семени, м;

$d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия диска, м.

После преобразований получим значение присасывающей силы, действующей на дражированное семя сахарной свеклы с учетом его формы:

$$F_{\text{п}} = \eta_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot \Delta H \cdot d_{\text{сем}}}{2} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{отв}}^2} \right), \quad (2.2)$$

где $F_{\text{п}}$ – присасывающая сила, Н;

$\eta_{\text{п}}$ – коэффициент присасывания;

ΔH – величина разрежения, Па.

Присасывающая сила должна быть больше или равна силам сопротивления. Эти силы, препятствующие удержанию семени в отверстии диска, отображены на рисунке 2.2.

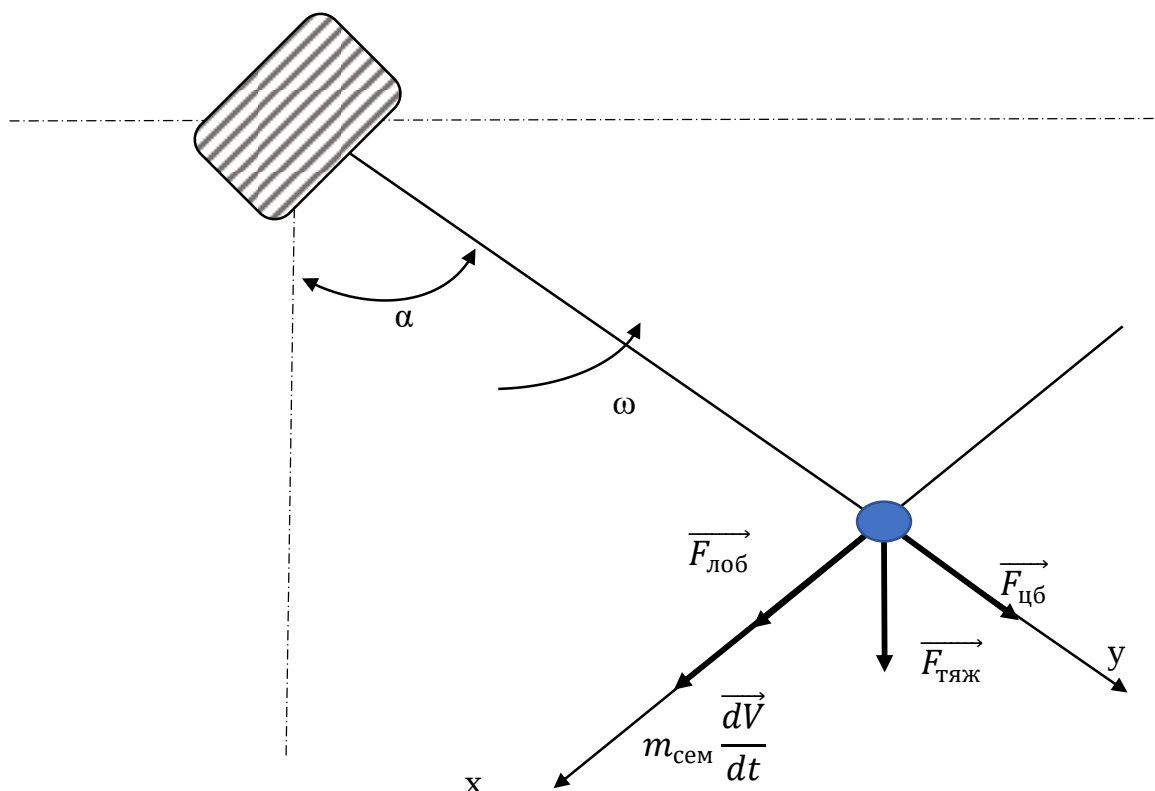


Рисунок 2.2 – Силы, действующие на семя в момент присасывания

На семя в момент присасывания действуют: сила тяжести $F_{тяж}$, центробежная сила $F_{цб}$, сила инерции семени в момент присасывания $m_{сем} \frac{dV}{dt}$ и сила лобового сопротивления $F_{лоб}$. Эта сила возникает при движении присасываемого семени в слое посевного материала. В работе [133] предложена формула для расчета давления сыпучей среды $\sigma_{сем}$ на внедряемый объект, которую мы преобразуем для семенного материала:

$$\sigma_{сем} = \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta} (C \cos \tau + \gamma \cdot l_{сем} \cdot g), \quad (2.3)$$

где τ – угол внутреннего трения семян;

γ – объемная масса семян, кг/м³;

C – коэффициент сцепления семян, Н/м², примем $C = 0$ Н/м², т.к. дражированные семена сахарной свеклы не слипаются между собой;

$l_{сем}$ – высота слоя семян над присасываемой частицей, м;

β – угол наклона площадки разрушения к направлению напряжения, рад, примем, что это угол укладки семян, определяемый из соотношения [82]

$$\frac{\rho}{\gamma} = 4,39 \sin^2 \beta \cos \beta, \quad (2.4)$$

где ρ – плотность семян, кг/м³.

Высота слоя семян определяется как разница между радиусом расположения отверстий $R_{\text{отв}}$ и радиусом размещения ворошителей по формуле

$$l_{\text{сем}} = R_{\text{отв}} - R_{\text{в}}. \quad (2.5)$$

Сила лобового сопротивления $F_{\text{лоб}}$ слоя семян, приложенная к частице, рассчитывается по формуле

$$F_{\text{лоб}} = \sigma_{\text{сем}} \cdot S_{\text{п.с.}}, \quad (2.6)$$

где $S_{\text{п.с.}}$ – площадь миделева сечения семени, м².

Площадь миделева сечения определяется с учетом шаровидной формы семени из выражения

$$S_{\text{п.с.}} = k_{\phi} \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4}, \quad (2.7)$$

где k_{ϕ} – коэффициент искажения формы, для дражированных семян сахарной свеклы $k_{\phi} = 1$.

Тогда сила лобового сопротивления с учетом формул 2.3-2.7 будет определяться из выражения

$$F_{\text{лоб}} = k_{\phi} \cdot \gamma \cdot l_{\text{сем}} \cdot g \cdot \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4} \cdot \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta}. \quad (2.8)$$

Результирующая сила в момент присасывания в векторном виде определяется уравнением

$$\overrightarrow{R_{\text{сопр}}} = m_{\text{сем}} \left(\vec{g} + \frac{d\vec{V}}{dt} \right) + \overrightarrow{F_{\text{цб}}} + \overrightarrow{F_{\text{лоб}}}, \quad (2.9)$$

где $m_{\text{сем}}$ – масса семени, кг.

Проведем декартову систему координат через центр семени, ось y которой направлена вдоль вектора центробежной силы, ось x – по касательной к траектории движения отверстия диска. Проекция реакций сил на ось абсцисс R_x :

$$R_x = m_{\text{сем}} \left(g \cdot \cos(90 - \alpha) + \frac{dV}{dt} \right) + F_{\text{лоб}}, \quad (2.10)$$

где α – угол поворота диска, на котором осуществляется присасывание, рад.

Проекция реакций на ось ординат R_y будет иметь следующий вид:

$$R_y = m_{\text{сем}} g \cdot \sin(90 - \alpha) + F_{\text{цб}}. \quad (2.11)$$

Так как все проекции результирующей силы сопротивления взаимно перпендикулярны [21, 151], используя теорему Пифагора, определим результирующую силу:

$$R_{\text{сопр}} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}. \quad (2.12)$$

При подстановке значений формул 2.8-2.12 получим выражение для определение результирующей силы сопротивления:

$$R_{\text{сопр}} = \sqrt{(m_{\text{сем}} g \cdot \cos \alpha + \omega^2 R_{\text{отв}})^2 + \left(k_{\phi} \cdot \gamma \cdot l_{\text{сем}} \cdot g \cdot \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4} \cdot \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta} + \right.} \quad (2.13)$$

$$\left. + m_{\text{сем}} \left(g \cdot \sin \alpha + \frac{(\omega R_{\text{отв}} - \omega R_{\text{в}} f_{\text{тр}})^2}{d_{\text{сем}}} \right) \right)^2}.$$

Для определения численного значения результирующей сил сопротивления экспериментально были определены значения $\tau = 22$ град, $\gamma = 542$ кг/м³, $\rho = 888$ кг/м³, $d_{\text{сем}} = 3,94 \cdot 10^{-3}$ м, $d_{\text{отв}} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м, $m_{\text{сем}} = 2,85 \cdot 10^{-5}$ кг, $R_{\text{отв}} = 0,095$ м, $\eta_{\text{п}} = 0,92$, $R_{\text{в}} = 0,08$ м, $f_{\text{тр}} = 0,2$, $\alpha = 25$ град. Угол укладки для дражированных семян сахарной свеклы составил $\beta = 49$ град. Для оценки способности присасывающей силы выдерживать неустойчивость сил сопротивления на семя вводим коэффициент запаса присасывающей силы k_3 [30], который определим по формуле

$$k_3 = \frac{F_{\text{п}}}{R_{\text{сопр}}}. \quad (2.14)$$

Графическая зависимость коэффициента запаса присасывающей силы [129] от угловой скорости диска для разной глубины разрежения представлена на рисунке 2.3.

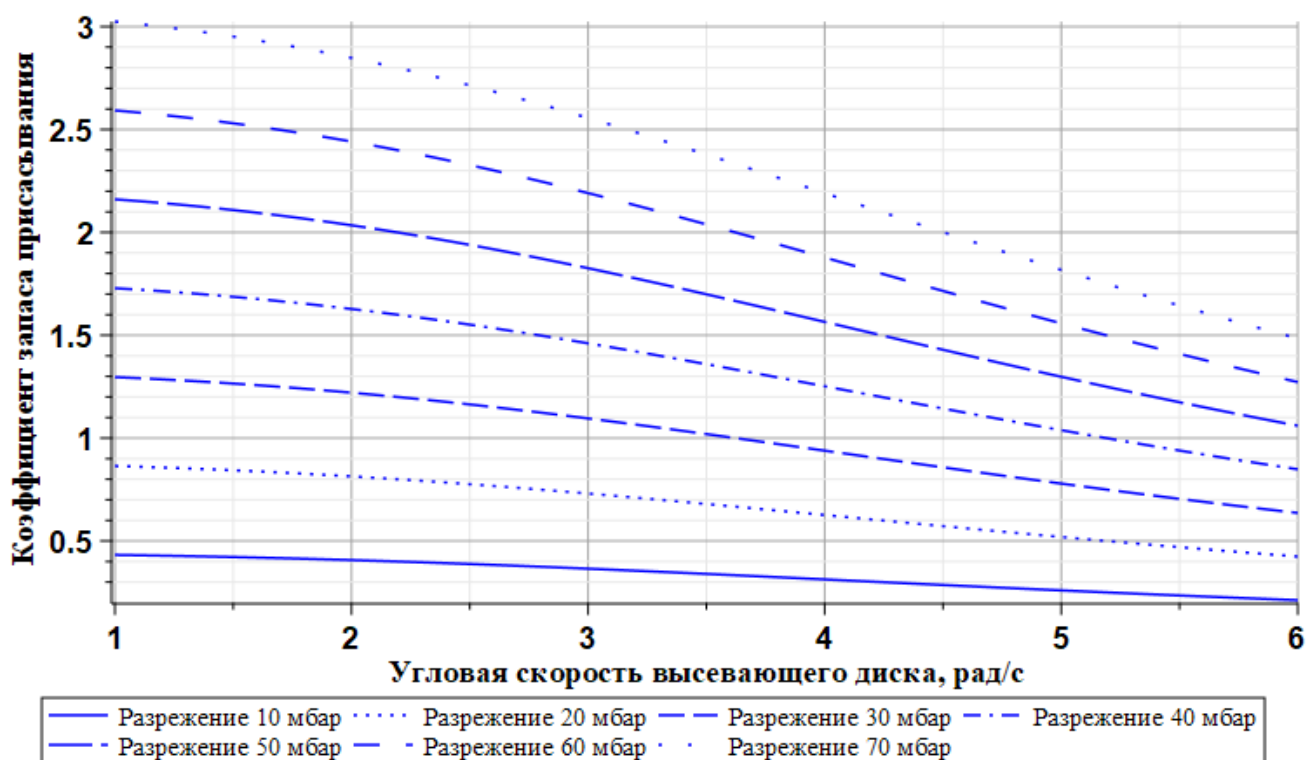


Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента запаса присасывания от угловой скорости при разной глубине разрежения

Из графических зависимостей на рисунке 2.3 видим, что коэффициент запаса присасывающей силы растет в соответствии с увеличением значения разрежения в системе и при снижении угловой скорости. Из анализа зависимостей следует, что вакуум в высевающем аппарате стоит выбирать таким образом, чтобы закладывать коэффициент запаса больше 1. При использовании дражированных семян сахарной свеклы возможна установка разрежения в 30 мбар в случае, если угловая скорость диска не будет превышать 4 рад/с, что не противоречит результатам, приведенных в работах [157, 159]. С повышением скорости до 5 рад/с необходимо увеличивать разрежение до 40 мбар, а до 6 рад/с – до 50 мбар, при этом коэффициент запаса будет составлять $2,0 \pm 0,5$. При значении коэффициента < 1 показания заполняемости ячеек диска будут гораздо ниже

ожидаемых, т.к. расчетная результирующая сил сопротивления выше создаваемой присасывающей силы.

Для сравнения результатов расчета на рисунке 2.4 приведены графические зависимости коэффициента запаса присасывания от угловой скорости вращения диска и для различного разрежения по существующей (серый цвет) и уточненной (синий цвет) методикам.

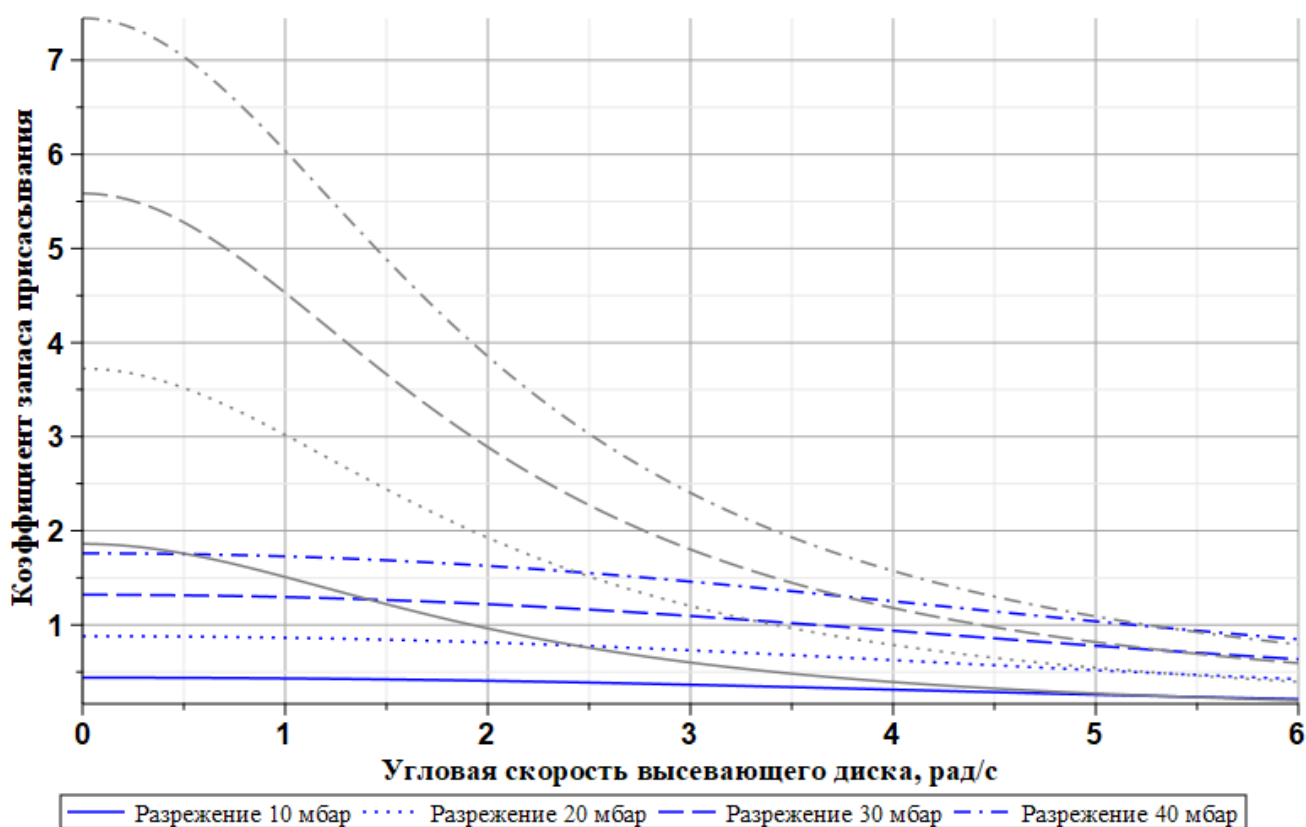


Рисунок 2.4 – Зависимости коэффициентов запаса присасывания от угловой скорости для разной глубины разрежения, рассчитанные по существующей и уточненной методикам

Из зависимостей (рисунок 2.4) можем наблюдать, что при разрежении в 10 мбар коэффициент запаса, рассчитанный по существующей методике, близок к 2, а по уточненной равен 0,5. С увеличением разрежения до 20 мбар коэффициент запаса по существующей методике близок к 4, по уточненной – остается меньше 1. И только при увеличении разрежения до 30 мбар коэффициент запаса по уточненной методике становится больше 1, но не превышает 2, в то время как

по существующей методике он уже равен 5,5. То есть в начальный момент вращения диска значения коэффициента запаса по существующей методике в среднем больше уточненных в 4 раза.

Сравнительный анализ методик представлен в приложении Ж, по данным которого получены графические зависимости результирующей сил сопротивления от скорости вращения высевающего диска [128] для обеих рассматриваемых методик (рисунок 2.5). Из зависимостей видим, что при низкой скорости вращения диска (до 4 рад/с) результирующая сил сопротивления, определенная по существующей методике, меньше результирующей, рассчитанной по уточненной методике. При дальнейшем увеличении скорости (выше 4,5 рад/с) результирующая сил сопротивления, определенная по существующей методике, становится выше аналогичной силы, определяемой по уточненной методике. Такой характер можно объяснить различием в определении силы инерции в момент присасывания без учета действия ворошителя.

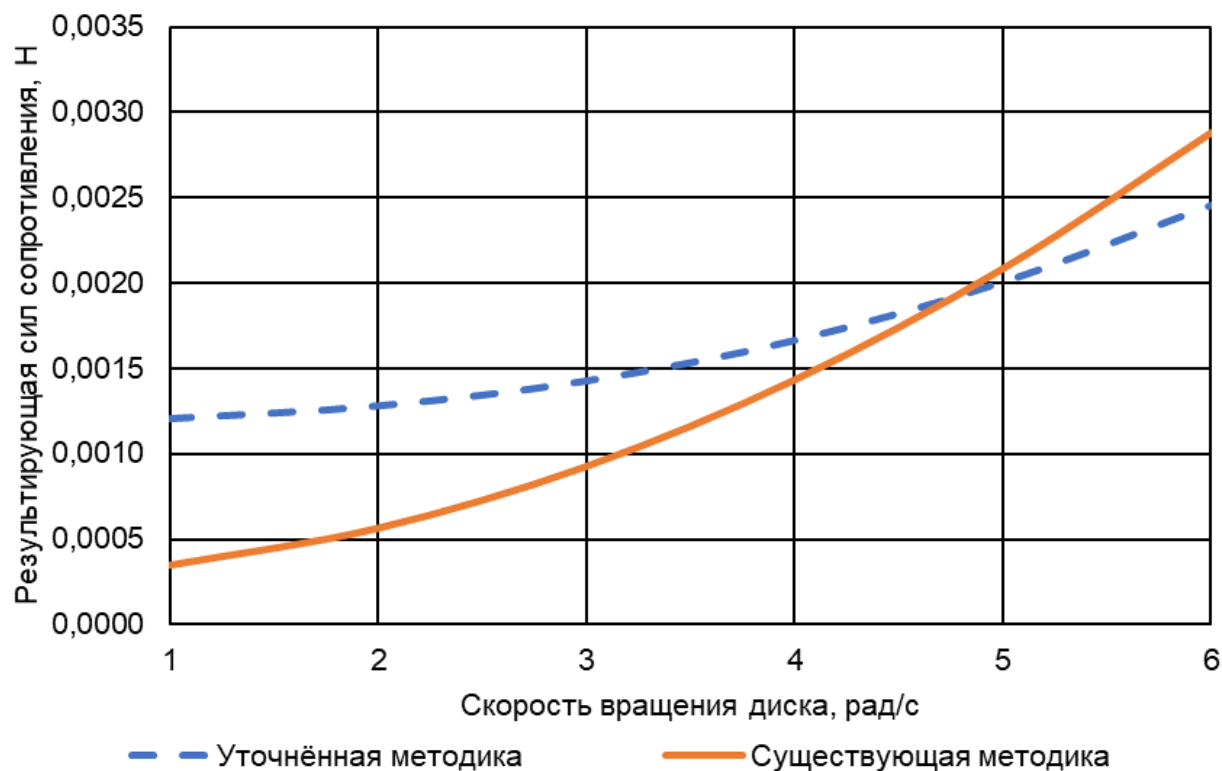


Рисунок 2.5 – Графическая зависимость результирующей сил сопротивления от угловой скорости вращения высевающего диска

Анализ графической зависимости показывает, что при низких скоростях сила сопротивления, определенная по существующей методике, меньше по сравнению с силой, рассчитанной по уточненной методике. Для подтверждения уточненных теоретических зависимостей требуется проведение экспериментальных исследований, которые позволят определить вероятность заполнения отверстий диска и связь с коэффициентом запаса присасывающей силы.

Таким образом, в результате уточнения расчета процесса захвата семени определили, что при использовании дражированных семян сахарной свеклы возможна установка разрежения в 30 мбар в случае, если угловая скорость диска не будет превышать 4 рад/с. С повышением скорости до 5 рад/с необходимо увеличивать разрежение до 40 мбар, а до 6 рад/с – 50 мбар, при этом коэффициент запаса будет составлять $2,0 \pm 0,5$.

2.2 Теоретические исследования полета семени от высевającego диска до непосредственного разделения семян в делителе потока

Было проведено моделирование движения семени с момента отрыва от высевającego аппарата до выхода из делителя. Вначале частица падает под собственной тяжестью вниз на сборочный лоток, затем совершает качение по его поверхности до воздушной камеры, где происходит процесс разделения. Расчетная схема для моделирования движения посевного материала в делителе представлена на рисунке 2.6.

На схеме видим, что в момент отрыва от диска семя совершает полет в воздушном пространстве под действием силы тяжести, действующей вертикально вниз, и сил аэродинамического сопротивления, направленных в противоположную от вектора скорости сторону под углом $(90^\circ - \alpha_c)$ к оси y . Такое движение можно описать с помощью основного уравнения динамики поступательного движения, который в векторном исполнении имеет вид

$$m_{\text{сем}} \vec{a} = \vec{F}_{\text{сопр.}} + \vec{F}_{\text{тяж.}} \quad (2.15)$$

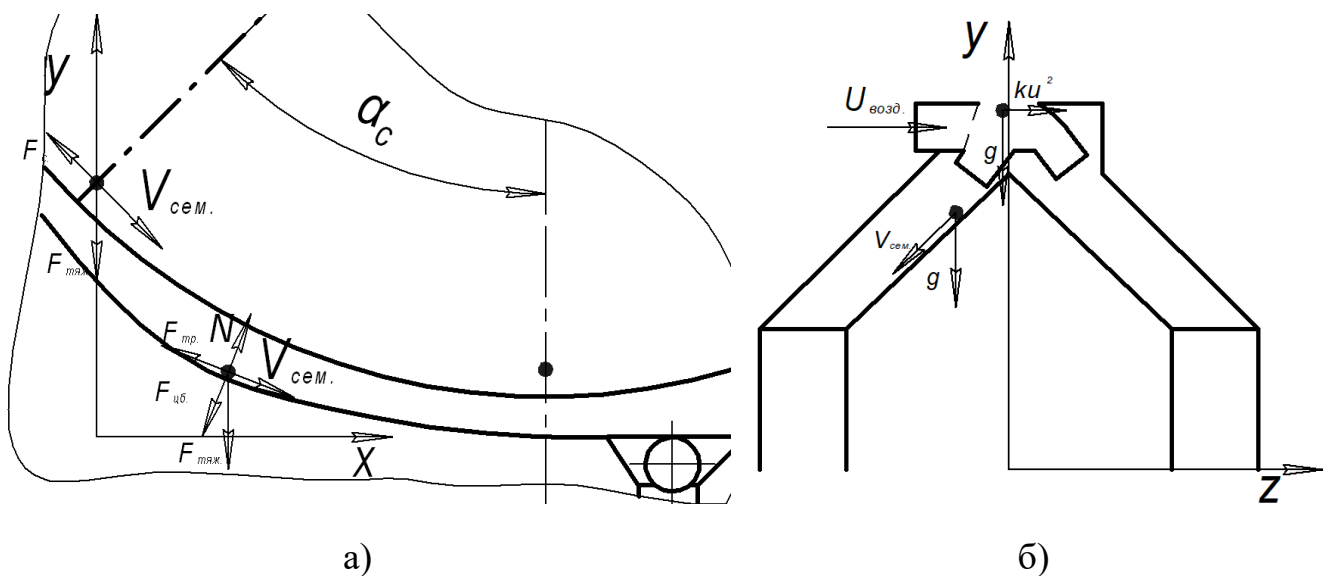
Сила аэродинамического сопротивления $F_{\text{сопр.}}$, влияющая на частицу в полете, зависит от парусности и скорости движения частицы:

$$F_{\text{сопр.}} = m_{\text{сем}} k v^2, \quad (2.16)$$

где $m_{\text{сем}}$ – масса семени, кг;

k – коэффициент парусности, $k = 0,099 \text{ м}^{-1}$;

v – скорость полета семени, м/с.



а) движение семени до воздушной камеры; б) движение семени после разделения

Рисунок 2.6 – Расчетная схема движения семян в делителе

Заменяя силу тяжести $F_{\text{тяж.}}$ на тождественное произведение массы и ускорения свободного падения частицы $m_{\text{сем}}g$, преобразуем уравнение (2.15):

$$m_{\text{сем}} \vec{a} = m_{\text{сем}} k \vec{v}^2 + m_{\text{сем}} \vec{g}. \quad (2.17)$$

Разделив обе части уравнения на массу частицы $m_{\text{сем}}$, получим:

$$\vec{a} = k \vec{v}^2 + \vec{g}. \quad (2.18)$$

Для решения уравнения (2.18) необходимо спроецировать векторы сил, действующих на частицу, вдоль осей координат x и y . Начало декартовой системы координат расположим в месте начала отрыва семени от отверстия

диска. Ось ординат направляем вверх, абсцисс – в противоположную от вектора скорости движения посевного агрегата сторону. В результате получаем систему дифференциальных квазилинейных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot \frac{dx}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} = 0 \\ \frac{d^2y}{dt^2} + k \cdot \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} + g = 0 \end{cases}, \quad (2.19)$$

где $\frac{d^2x}{dt^2}$ – вторая производная координаты x по времени t , м/с²;

$\frac{dx}{dt}$ – первая производная координаты x по времени t , м/с;

$\frac{d^2y}{dt^2}$ и $\frac{dy}{dt}$ – вторая и первая производная координаты y по времени t , соответственно м/с² и м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

α_c – угол между вертикальной осью и текущим радиусом в момент отрыва от отверстия, рад.

Для решения дифференциальных уравнений в среде математического моделирования Maple [66] необходимы начальные условия: $x(0) = 0$; $y(0) = 0$ – начальные координаты точки отрыва семени, $\frac{dx}{dt}(0) = \omega R_{\text{отв}} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_c\right)$; $\frac{dy}{dt}(0) = -\omega R_{\text{отв}} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_c\right)$. Для используемого высевающего аппарата радиус расположения отверстий $R_{\text{отв}} = 0,095$ м, угловая скорость $\omega = 0,45$ рад/с, угол между горизонталью и направлением скорости семени в момент отрыва от отверстия будет составлять $\alpha_c = 60^\circ$.

Семя движется по параболической траектории до приземления в сборочный лоток, имеющий вид наклонной параболической поверхности (рисунок 2.7), уравнение которой в общем виде описывается следующей зависимостью:

$$p(x_p) = ax_p^2 + bx_p + c, \quad (2.20)$$

где a , b и c – числовые коэффициенты;

x_p – координата параболы вдоль оси абсцисс, м;

$p(x_p)$ – координата параболы вдоль оси ординат, м.

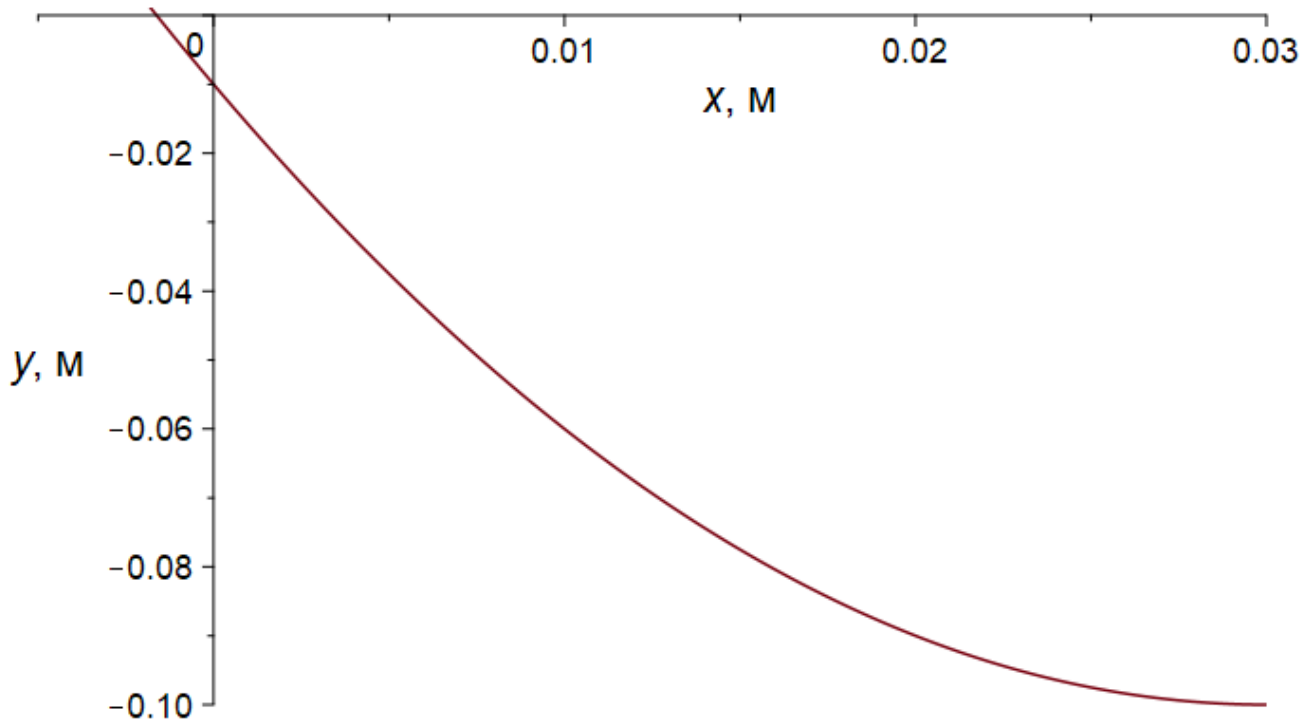


Рисунок 2.7 – Параболическая поверхность скатывания частицы

Криволинейная форма лотка, в отличие от наклонной линии, позволяет уменьшить угол входа частицы к поверхности (угол между траекторией и касательной к поверхности), вследствие чего количество отскоков будет минимальным. Дращированное семя после приземления начинает качение, поскольку имеет шарообразную форму, что учтем при моделировании, в результате которого определим координату приземления и скорость вдоль осей координат.

Лоток устанавливается так, чтобы точка вершины параболы проходила через координаты x_0 и y_0 или место, где он заканчивается, а семя начинает падение в воздушную делительную камеру. Для этого используем формулы для выражения координат вершины через коэффициенты a , b и c , в которых с помощью параметра a зададим ширину параболы, а с помощью уравнений 2.21 и 2.22 найдем оставшиеся b и c .

$$x_0 = -\frac{b}{2a}, \quad (2.21)$$

$$y_0 = -\frac{b^2 - 4ac}{4a}. \quad (2.22)$$

После решения дифференциального квазилинейного уравнения полета семени (2.19) мы получаем зависимость координат $x_\partial(t)$ и $y_\partial(t)$, соответствующую месту падения частицы в определенный момент времени t , индекс ∂ показывает, что закономерности получены путем решения дифференциального уравнения. Следовательно, чтобы найти точку приземления семени на параболическую поверхность, нам необходимо решить систему уравнений следующего характера:

$$\begin{cases} y_\partial(t) = ax_p^2 + bx_p + c \\ x_\partial(t) = x_p \end{cases}. \quad (2.23)$$

Получив точку приземления семени на сборочный лоток параболической формы, смоделируем траекторию. При расчетах определили, что вершина параболы находится в 30 мм от начала лотка, а высота собирающего лотка 90 мм. Семя от высевающего аппарата двигается по параболической траектории, описываемой уравнением 2.19, и приземляется на поверхность сборочного лотка в форме параболы в точке $x_1 = 0,0012$ м, $y_1 = -0,0169$ м с начальной скоростью вдоль оси абсцисс $v_{x1} = 0,021$ м/с, вдоль оси ординат $v_{y1} = -0,577$ м/с, через промежуток времени после отрыва от отверстия диска $t_1 = 0,055$ с.

Угол наклона параболы к горизонтали в точке приземления составляет 80° , а угол приземления относительно горизонта – 87° , получаем угол входа 7° . При таком угле входа семя начинает катиться по поверхности лотка без скольжения и отскока. Для этого случая проведем расчет параметров движения семени. До зоны подачи воздушного потока частица движется под действием сил тяжести по параболической поверхности. Закономерность движения опишем основным уравнением динамики поступательного движения [71, 122, 142]:

$$m_{\text{сем}} \vec{a} = m_{\text{сем}} \vec{g} \sin \varphi_c + \vec{N} - m_{\text{сем}} k \vec{v}_{\Pi}^2 - m_{\text{сем}} \frac{\vec{v}_{\Pi}^2}{R_T} - \vec{F}_{\text{тр}}, \quad (2.24)$$

где φ_c – угол наклона касательной к поверхности скатывания семени, рад;

v_{Π} – скорость скатывания семени вдоль наклонной поверхности, м/с;

R_T – радиус кривизны траектории, для плоской поверхности $R_T \rightarrow \infty$, м.

Поскольку вектор скорости и ускорения частицы будет направлен параллельно касательной к траектории [35], найдем зависимость тангенса угла наклона касательной k_u от коэффициентов уравнения параболы. Для этого решим систему уравнений параболы и линейной функции:

$$\begin{cases} y_p = ax_p^2 + bx_p + c \\ y_p = k_u x_p + b_u \end{cases}. \quad (2.25)$$

Решая систему 2.25, получим значение коэффициента k_u . Поскольку он равен тангенсу угла наклона касательной, то функцию изменения угла наклона касательной к кривой в зависимости от координаты x получим в таком виде:

$$\varphi_c(x) = \arctan(2ax + b). \quad (2.26)$$

Получив функцию, устанавливающую закономерности изменения угла наклона векторов сил от координаты x , перейдем к расчетам их непосредственных значений и направлений. Поскольку дражированное семя имеет форму шара, сила трения качения $\vec{F}_{\text{тр.к.}}$ определяется по формуле

$$\vec{F}_{\text{тр.к.}} = \frac{\vec{M}_{\text{тр}}}{r}, \quad (2.27)$$

где $\vec{M}_{\text{тр}}$ – момент силы трения качения, Н·м;

r – радиус семени, м.

Момент силы трения $M_{\text{тр}}$ найдем по основному закону динамики вращательного движения [70, 142]:

$$\vec{M}_{\text{тр}} = J_0 \vec{\varepsilon}, \quad (2.28)$$

где $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение семени, рад/с, определяемое по формуле $\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{a}}{r}$;

J_0 – момент инерции семени, кг/м².

В связи с тем, что частица имеет форму, приближенную к шарообразной, формула для определения момента инерции будет иметь вид

$$J_0 = \frac{2}{5} m_{\text{сем}} r^2. \quad (2.29)$$

Подставляя формулы 2.27-2.29 в уравнение 2.24, получим

$$m_{\text{сем}} \vec{a} = m_{\text{сем}} \vec{g} + \vec{N} - m_{\text{сем}} k \vec{v}_{\Pi}^2 - m_{\text{сем}} \frac{\vec{v}_{\Pi}^2}{R_T} - \frac{2}{5} m_{\text{сем}} \vec{a}. \quad (2.30)$$

Разделим левую и правую часть уравнения на массу $m_{\text{сем}}$, получим зависимость ускорения семени в точке траектории от действующих сил:

$$\vec{a} = \vec{g} + \vec{g} \sin \varphi_c - k \vec{v}_{\Pi}^2 - \frac{\vec{v}_{\Pi}^2}{R_T} - \frac{2}{5} \vec{a}. \quad (2.31)$$

Рассмотрим случай, когда семя движется по наклонной плоскости, при этом радиус $R_T \rightarrow \infty$, поэтому ускорение $\frac{\vec{v}_{\Pi}^2}{R} \rightarrow 0$. Проекция уравнения на ось Ox , которая направлена вдоль вектора скорости семени, принимает вид

$$\frac{7}{5} \frac{d^2 x}{dt^2} + k \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - g \sin \varphi_c = 0. \quad (2.32)$$

Поскольку параболическая поверхность имеет переменный радиус кривизны, необходимо определить его зависимость от координаты x [24] по формуле

$$R_T = \frac{\left(1 + \left(\frac{dp}{dx} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{\left| \frac{d^2 p}{dx^2} \right|}. \quad (2.33)$$

Производная от функции полинома будет определяться выражением

$$R_T(x) = \frac{(1 + (2ax + b)^2)^{\frac{3}{2}}}{|2a|}. \quad (2.34)$$

После проецирования уравнения 2.30 на оси координат x и y , с учетом значений функций из формул 2.26 и 2.34, получим систему квазилинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{3}{5} \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{2} g \sin 2\varphi_c - (k \cos \varphi_c + R_T(x)^{-1} \sin \varphi_c) \frac{dx}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \\ \frac{7}{5} \frac{d^2 y}{dt^2} = \sin^2 \varphi_c - (k \sin \varphi_c + R_T(x)^{-1} \cos \varphi_c) \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \end{cases}, \quad (2.35)$$

где t_1 – временной интервал от момента отрыва семени до приземления на параболическую поверхность, с;

x_1 – координата приземления семени по оси абсцисс, м;

y_1 – координата приземления семени по оси ординат, м;

v_{x1} – проекция вектора скорости в момент приземления на ось x , м/с;

v_{y1} – проекция вектора скорости в момент приземления на ось y , м/с.

Начальные условия для решения системы уравнения 2.35 следующие:

$$x(t_1) = x_1; y(t_1) = y_1; \frac{dx}{dt}(t_1) = v_{x1}; \frac{dy}{dt}(t_1) = v_{y1}.$$

Решением этой системы уравнений с учетом начальных условий, полученных из уравнения 2.19, будут скорость и время движения частицы до попадания в воздушную камеру. Конечная точка лотка имеет координаты $x_2 = 0,03$ м, $y_2 = 0$ м, скорость по оси абсцисс составляет $v_{x2} = 0,05$ м/с, а по оси ординат $v_{y2} = -0,87$ м/с.

После отрыва от отверстий диска (рисунок 2.8) семя движется по параболической траектории до поверхности сборочного лотка (I), по которой совершает качение (II) до схода с его поверхности в воздушную камеру (III).

Скоростной режим движения семени в делителе потока до попадания в воздушную камеру представлен на рисунке 2.9. Характер изменения скорости показывает, что семя в начале движения по поверхности увеличивает свою скорость, что обусловлено формой самой поверхности.

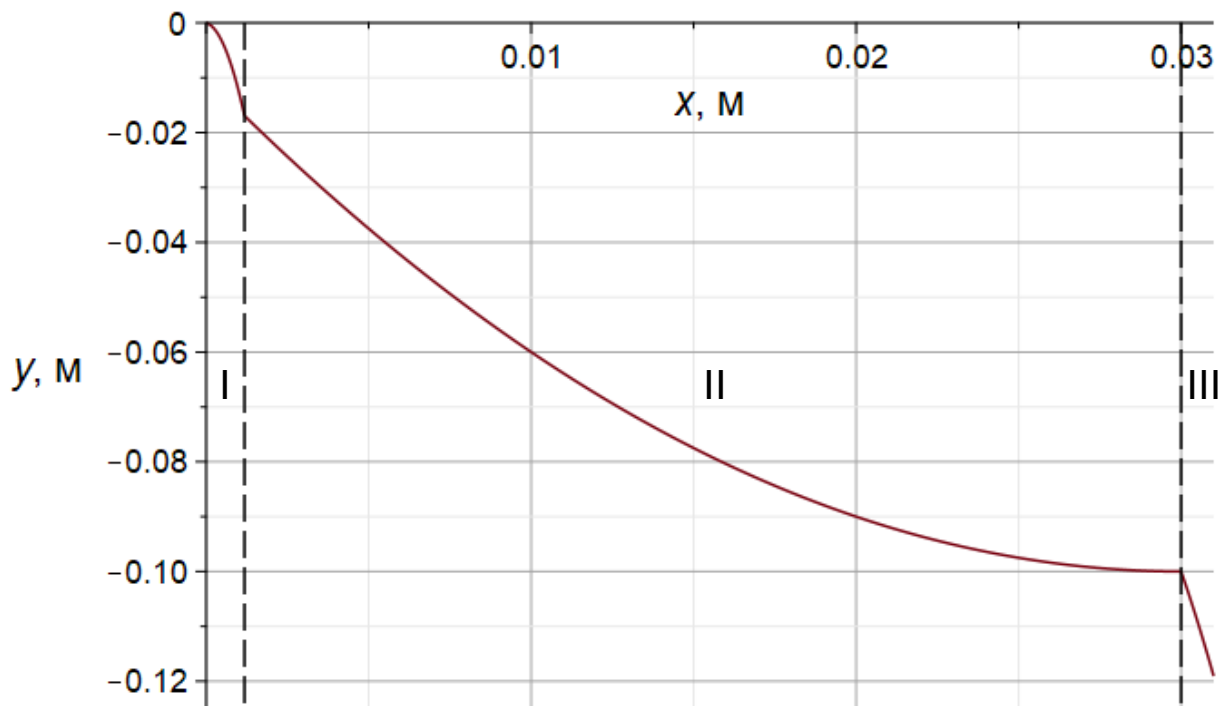


Рисунок 2.8 – Траектория движения семени в делителе потока до попадания в воздушную камеру

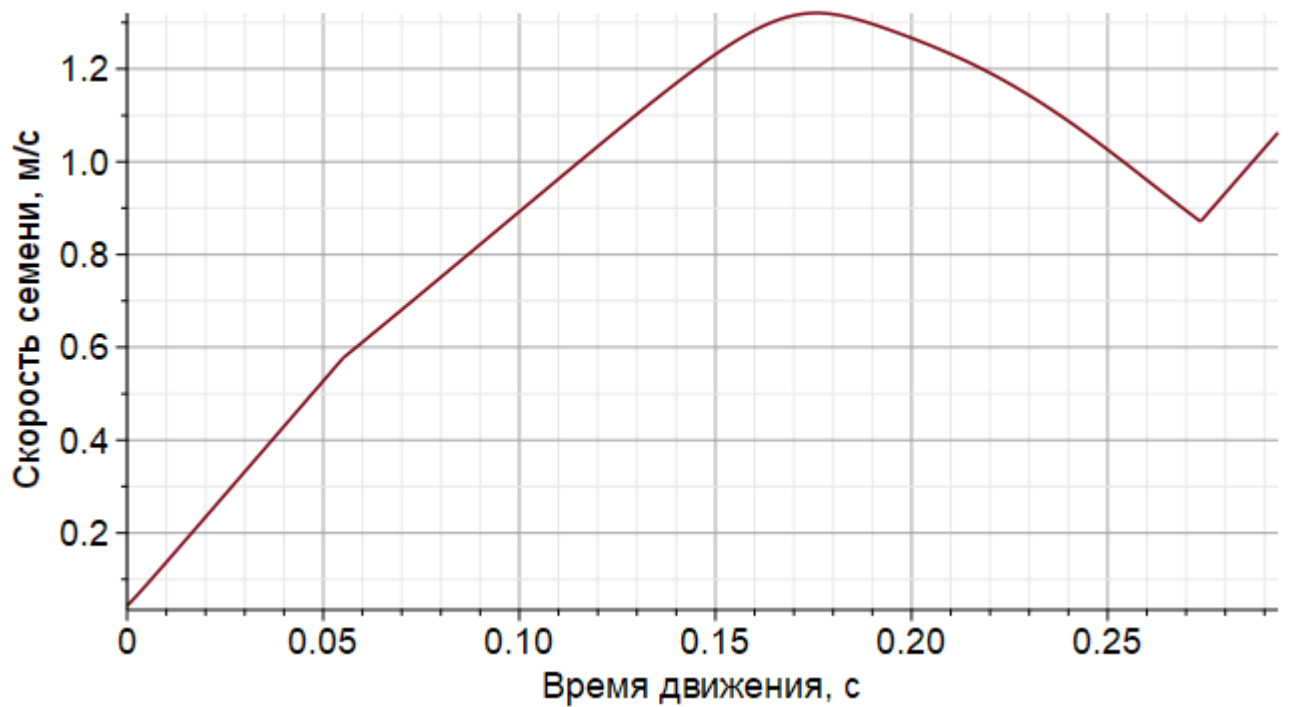


Рисунок 2.9 – Изменение скорости семени в делителе потока до попадания в воздушную камеру

В момент времени $t_n = 0,16$ с прирост скорости замедляется и в последующем ее значение снижается до $0,87$ м/с. Обусловлено это тем, что семени необходимо преодолеть силу трения, обратно пропорциональную углу наклона касательной к параболе, и силу сопротивления воздуха, прямо пропорциональную квадрату скорости. Кроме того, в конце лотка уменьшается влияние силы тяжести с учетом его формы.

Таким образом, в результате моделирования для принятой угловой скорости высевающего диска $\omega = 0,45$ рад/с определили совокупное время движения семени в момент отрыва от высевающего диска до попадания в воздушную камеру $t_2 = 0,27$ с, при этом скорость по оси абсцисс составляет $v_{x2} = 0,05$ м/с, по оси ординат $v_{y2} = -0,87$ м/с. Предлагаемая форма поверхности сборочного лотка задается уравнением $f(x) = 100x^2 - 6x + 0,09$, для которого угол входа семени не превышает 7° , что обеспечивает безотрывное перекачивание посевного материала. Начало лотка необходимо сместить в продольной вертикальной плоскости от места отрыва семени на $0,005$ м против направления вращения высевающего диска. Лоток должен иметь высоту $-0,1$ м, длину $-0,035$ м.

2.3 Моделирование процесса разделения семян в делителе

Семя после схода с лотка попадает в воздушную камеру, которая установлена во второй части делителя (рисунок 2.6). Она состоит из зоны создания воздушного потока и тройника, в котором семенной материал движется под действием силы тяжести [103]. Выходные отводы делителя необходимо установить таким образом, чтобы семя смещалось относительно центра на $0,075$ м, наклон отводов относительно линии горизонта составляет 45° . Для моделирования мы вводим новую локальную систему координат, в которой ось z располагается в поперечном направлении относительно движения агрегата, а ось y смещается вниз на $0,1$ м относительно координаты начала падения семени. Учитывая, что скорость вдоль оси ординат намного больше, чем вдоль оси

абсцисс – $v_{x2} = 0,05 \text{ м/с} \ll v_{y2} = -0,87 \text{ м/с}$, то перемещением вдоль этой оси при моделировании пренебрегли.

После скатывания со сборочного лотка семя совершает полет до воздушной камеры. Траекторию движения семени определяем, используя уравнение полета 2.17, с учетом влияния воздушного потока вдоль оси z :

$$m_{\text{сем}} \vec{a} = m_{\text{сем}} k \vec{v}^2 + m_{\text{сем}} \vec{g} - m_{\text{сем}} k \vec{u}^2, \quad (2.36)$$

где $\vec{u}$ – скорость воздушного потока, м/с. Сократив массу, получим

$$\vec{a} = k \vec{v}^2 + \vec{g} - k \vec{u}^2. \quad (2.37)$$

Проекции уравнения 2.37 на оси координат позволяют получить систему квазилинейных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{d^2 z}{dt^2} + k \cdot \frac{dz}{dt} \sqrt{\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} - k u^2 = 0 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + k \cdot \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} + g = 0 \end{cases}, \quad (2.38)$$

где t_2 – промежуток времени от момента отрыва семени от высевающего диска до попадания в воздушную камеру, с;

y_2 – координата попадания семени в воздушную камеру по оси ординат, м;

v_{y1} – скорость полета семени в момент попадания в воздушную камеру по оси ординат, $v_{y1} = -0,87 \text{ м/с}$, знак минус дает нам понимание того, что вектор скорости направлен в противоположную от оси y сторону;

u – скорость воздушного потока, $u = 30 \text{ м/с}$.

Начальными условиями для системы уравнений 2.38 являются решения системы уравнений 2.35: $z(t_2) = -0,005$; $y(t_2) = 0$; $\frac{dz}{dt}(t_2) = 0$; $\frac{dy}{dt}(t_2) = v_{y1}$. Ускорение воздушного потока $k \vec{u}^2$ направлено вдоль оси Oz , поэтому его проекция подставляется только в первое уравнение.

Исходя из конструктивных параметров делителя и продолжительности воздействия воздушного потока на смещаемое семя приняли диаметр воздушной

камеры 0,01 м. Результатом решения системы уравнений 2.38 является время полета, равное $t_3 = 0,009$ с, и скорость $\frac{dz}{dt} = 0,81$ м/с, $\frac{dy}{dt} = -1,14$ м/с. Из воздушной камеры частица летит под действием силы тяжести и силы сопротивления воздуха по закономерности, заданной уравнением 2.19 с начальными условиями, полученными из решения уравнения 2.38.

В ходе моделирования [127] приняли скорость потока воздуха в 30 м/с. Высокая скорость обусловлена тем, что сжатый воздух действует на семенной материал только в пределах воздушной камеры, где скорость полета семени составляет 0,87 м/с. Было определено, что при угле наклона внутренних стенок выходного отвода в 45° угол входа составляет 63° , скорость семени в момент удара о внутреннюю стенку – 1,76 м/с. При такой скорости повреждение семян и деформация незначительны, поэтому при моделировании примем, что отскок будет происходить по законам абсолютно упругого удара [26].

Поэтому семя отскакивает под тем же углом от нормали к поверхности внутренней стенки делителя и с той же начальной скоростью. Следовательно, для описания моделирования отскока воспользуемся системой уравнений 2.19. Определенные в результате моделирования траектория движения семени в левом отводе под действием силы тяжести и траектория в правом отводе с учетом действия воздушного потока представлены на рисунке 2.10.

Из рисунка 2.10 видно, что после попадания в воздушную камеру, обозначенную горизонтальной линией с координатой $y = 0,17$ м, на семя действует воздушный поток слева направо со скоростью 30 м/с до горизонтальной линии с координатой $y = 0,16$ м. В этом интервале под действием силы сопротивления воздушного потока семя изменяет свою траекторию и приобретает горизонтальную составляющую скорости в направлении оси z и попадает в правый отвод. В дальнейшем семя, увеличивая скорость под действием ускорения свободного падения, соударяется с внутренней стенкой делителя и отскакивает под тем же углом к нормали в 63° с той же начальной скоростью $v_3 = 1,41$ м/с до соударения с наружной стенкой отвода делителя. За счет нескольких соударений

и отскоков время перемещения семени увеличивается до 0,128 с и скорость – до 2,2 м/с.

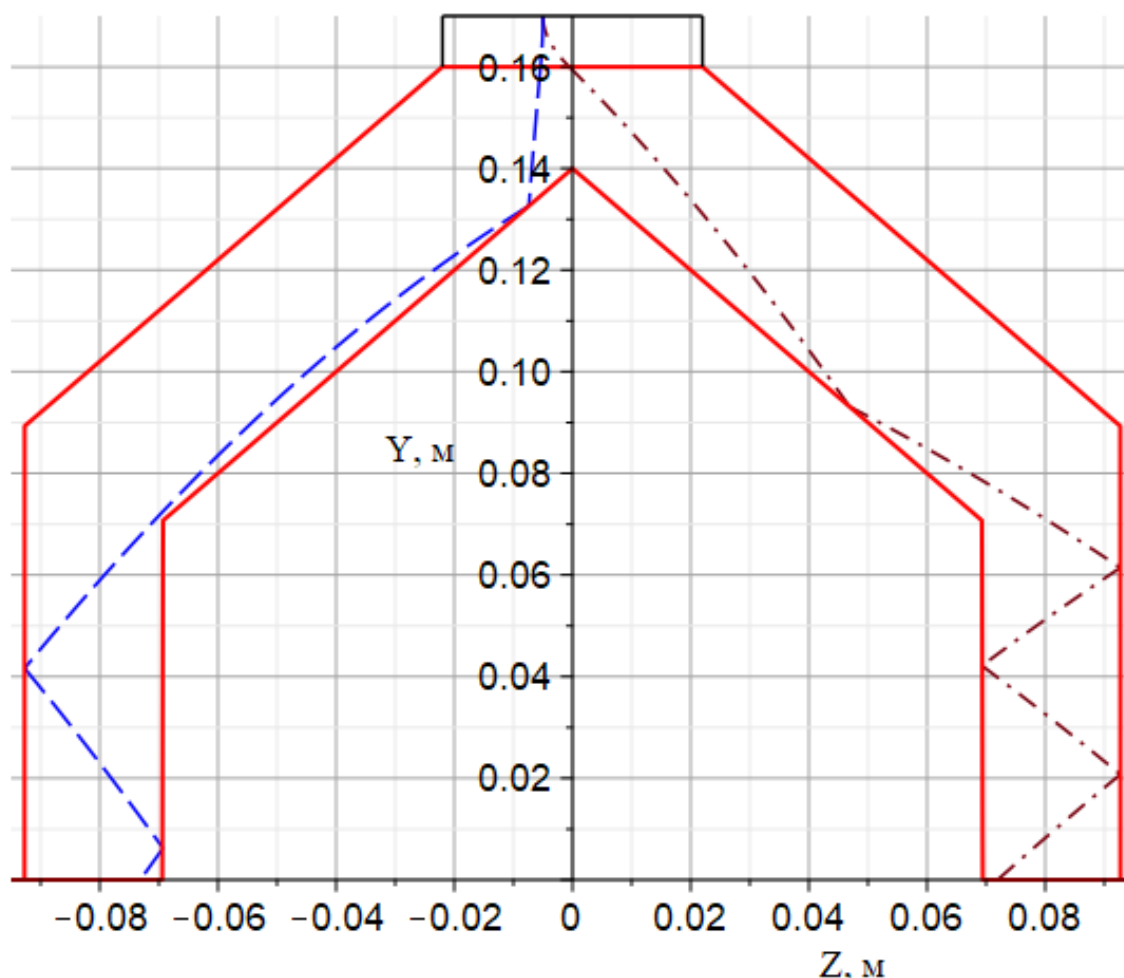


Рисунок 2.10 – Траектория полета частицы в проектируемом устройстве с учетом абсолютно упругого соударения

При прохождении через воздушную камеру предыдущего и последующего семени отсутствует подача бокового воздушного потока, поэтому семя попадает в левый отвод за счет смещения оси делителя в правую сторону. При достижении внутренней стенки левого бокового отвода семя имеет скорость $v_3^{\text{л}} = 1,36$ м/с и после отскока достигает наружной боковой стенки. В этом случае количество соударений меньше, чем для семян, смещенных в правый отвод под действием воздушного потока, при этом время движения составляет 0,133 с.

После цикла расчета систем уравнений установили значения скорости падения семени в борозду 2,2 м/с для правого отвода и 2,1 м/с для левого. При уменьшении скорости воздушного потока до 22 м/с траектория движения посевного материала в результате моделирования представлена на рисунке 2.11.

Из рисунка видно, что семя приземляется ближе к вершине внутренней стенки делителя, что увеличивает траекторию движения семени после отскока и общую продолжительность падения семени до 0,64 с, скорость приземления в борозду – 2,13 м/с. При дальнейшем снижении скорости воздушного потока будут происходить соударения с наклонной наружной стенкой, что увеличит разницу во времени движения семян в левом и правом отводах. При скорости воздушного потока 35 ± 2 м/с количество ударов семени с корпусом делителя снижается (рисунок 2.12), время полета составляет 0,1 с.

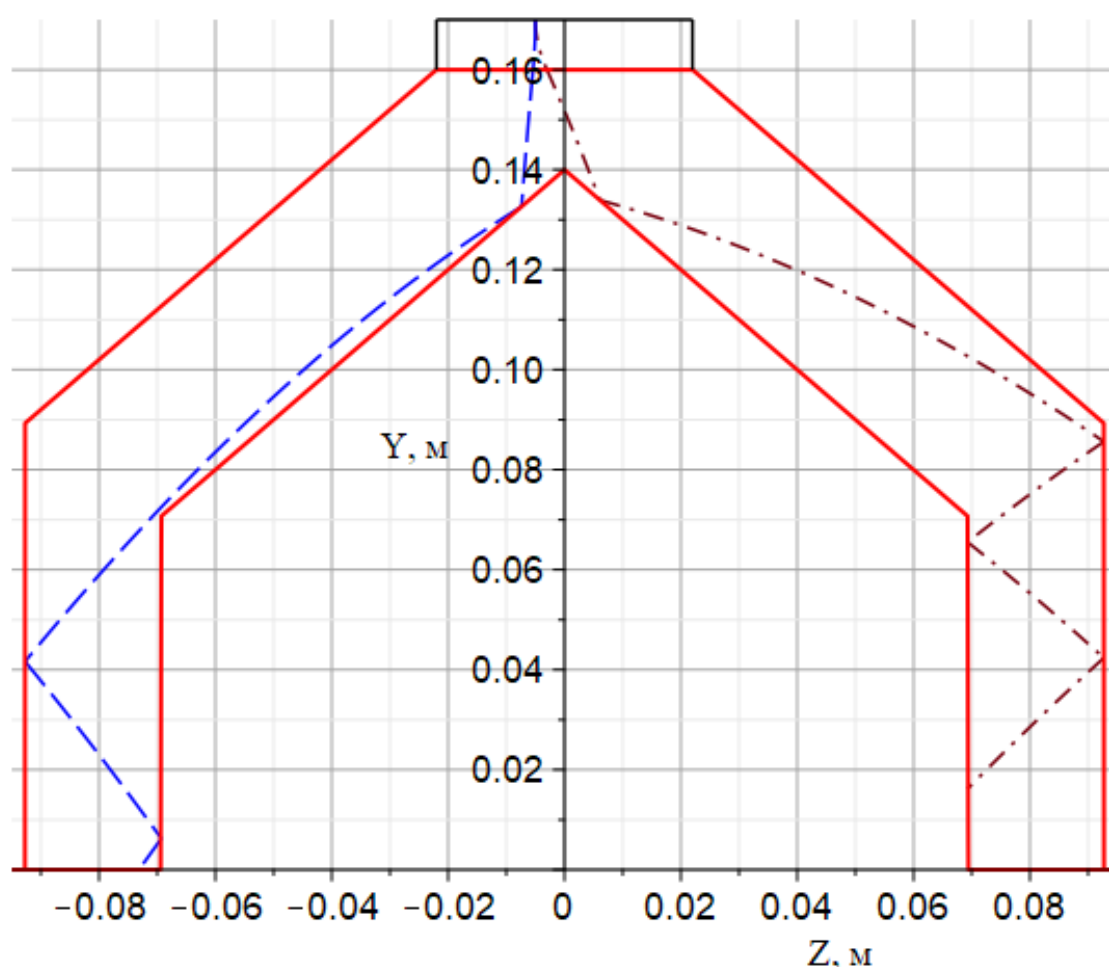


Рисунок 2.11 – Траектория полета семени при скорости потока воздуха 22 м/с

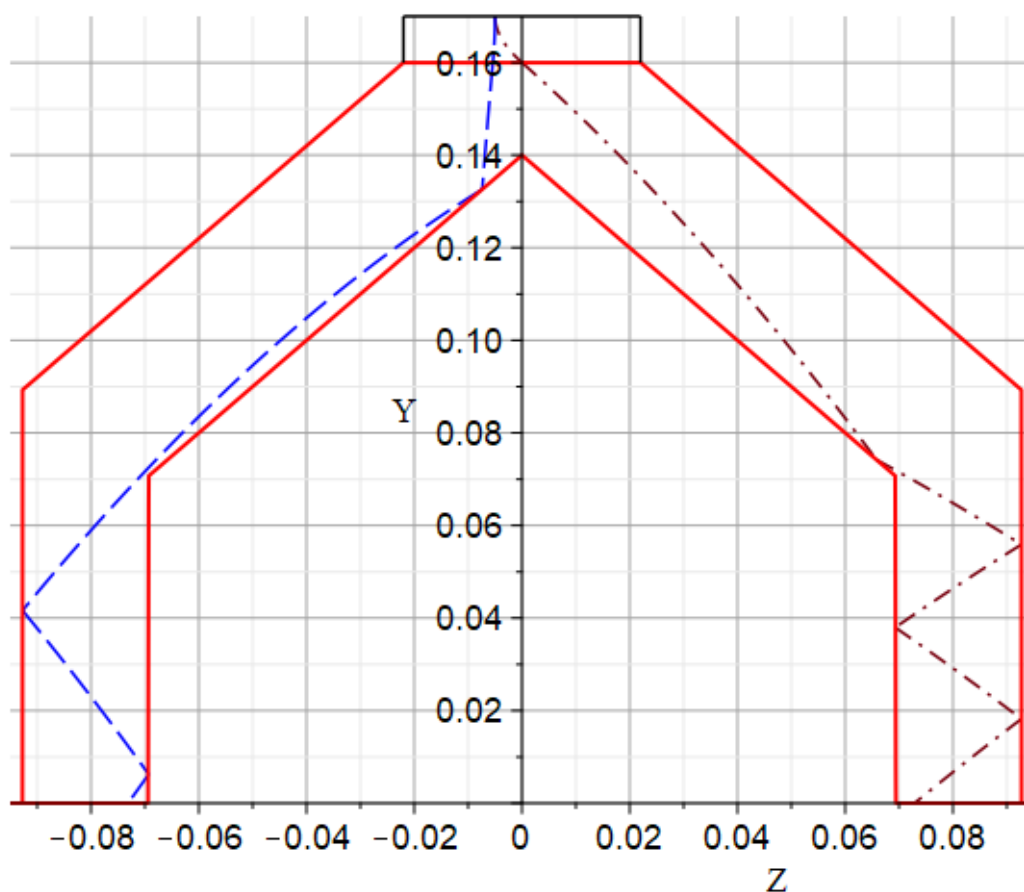


Рисунок 2.12 – Траектория полета семени при скорости потока воздуха 35 м/с

Таким образом, моделирование процесса разделения и движения семян в отводах делителя потока позволяет определить рациональный режим работы пневмосистемы делителя. При диаметре воздушной камеры 0,01 м скорость воздушного потока должна составлять более 22 м/с. При таком режиме время движения в правом отводе составляет 0,128 с. С увеличением скорости воздушного потока до 35 м/с время движения снижается до 0,1 с. Время перемещения в левом отводе, куда семена попадают без участия поперечного воздушного потока, составляет 0,133 с. Дальнейшее увеличение скорости поперечного воздушного потока приведет к уменьшению количества соударений семян со стенками отвода и времени их движения в правом отводе, что приведет к увеличению разницы во времени движения посевного материала в отводах и смещению места расположения семян в смежных строчках одной ленты. Следовательно, скорость воздушного потока по результатам моделирования рационально изменять от 22 м/с до 35 м/с.

Для обеспечения такой скорости требуется определить давление в нагнетательной пневмосистеме. Рассчитать его сможем, воспользовавшись известной формулой Пуазейля [142], в которой разность давлений при ламинарном течении определяется соотношением

$$\Delta p_v = \frac{4L \cdot u \cdot \eta}{R_\phi^2}, \quad (2.39)$$

где Δp_v – разность давлений на концах трубопровода, Па;

L – длина трубопровода, м;

η – динамическая вязкость, Па·с;

R_ϕ – радиус сопла, м.

Для трубопровода примем длину $L = 0,12$ м и радиус $R = 0,0001$ м. Динамическая вязкость для воздуха при нормальных условиях составляет $\eta = 1,81 \cdot 10^{-5}$ Па·с [104]. Для скорости воздушной струи в 22 м/с нам необходимо обеспечить давление в системе $p_v = 1,2 \cdot 10^5$ Па. Для скорости в 35 м/с – $p_v = 1,4 \cdot 10^5$ Па. Такую величину давления в системе может обеспечить компрессорная установка, размещаемая в универсально-пропашных тракторах штатной комплектации.

2.4 Обоснование применения схемы размещения междурядий 45+15 см при посеве дражированных семян сахарной свеклы

В качестве обоснования двустрочной схемы междурядий 45+15 см была уточнена математическая модель прогнозирования урожайности семян сахарной свеклы в зависимости от используемой схемы междурядий, созданная в системе компьютерного моделирования Maple [124]. Алгоритм программы основывается на статистических данных, описанных в исследованиях [1, 20, 55, 90, 102]. Рассмотрим зависимость урожайности корнеплодов от расстояния между семенами и от используемой схемы размещения междурядий (рисунок 2.13).

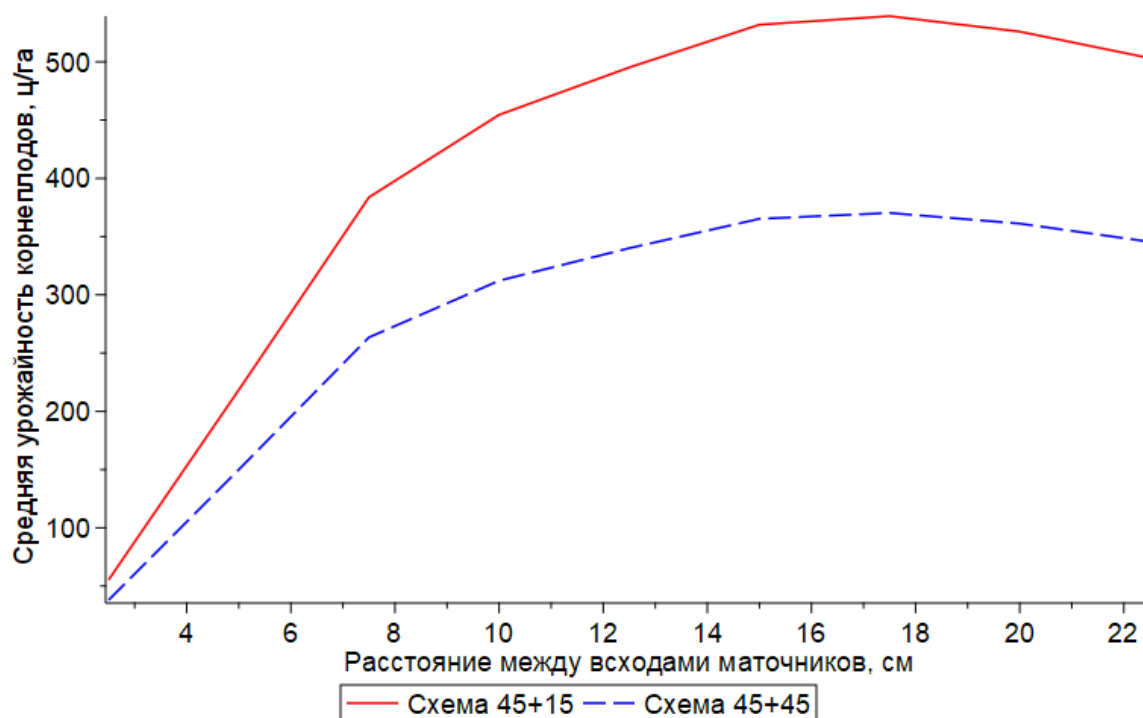


Рисунок 2.13 – Зависимость средней урожайности корнеплодов (ц/га) от расстояния между семенами

Анализ графических зависимостей на рисунке 2.13 показал, что урожайность корнеплодов при использовании схемы междурядий 45+15 см значительно выше, чем при посеве с междурядьем 45 см. Максимальное значение урожайности наблюдается при интервале 14...20 см как для схемы междурядий 45+15 см, так и при междурядье 45 см. Однако при ленточном посеве по схеме 45+15 см максимальная урожайность достигает более 500 ц/га, а при посеве с междурядьем 45 см – выше 350 ц/га, что в 1,4 раза меньше.

При использовании схемы междурядий 45+15 см прогнозируемая масса корнеплодов составит 485 ± 40 г, а для посева с междурядьем 45 см – 535 ± 70 г. Учитывая разницу в урожайности при разных схемах междурядий, а также отличие массы получаемых корнеплодов, можем прогнозировать количество корнеплодов, для использования в семенных целях.

Используя зависимость 1.27, можем спрогнозировать урожайность семян свеклы с маточников в зависимости от расстояния между семенами в первый год. Графическая зависимость прогнозируемой урожайности семян свеклы от интервала между семенами для разных схем приведена на рисунке 2.14.

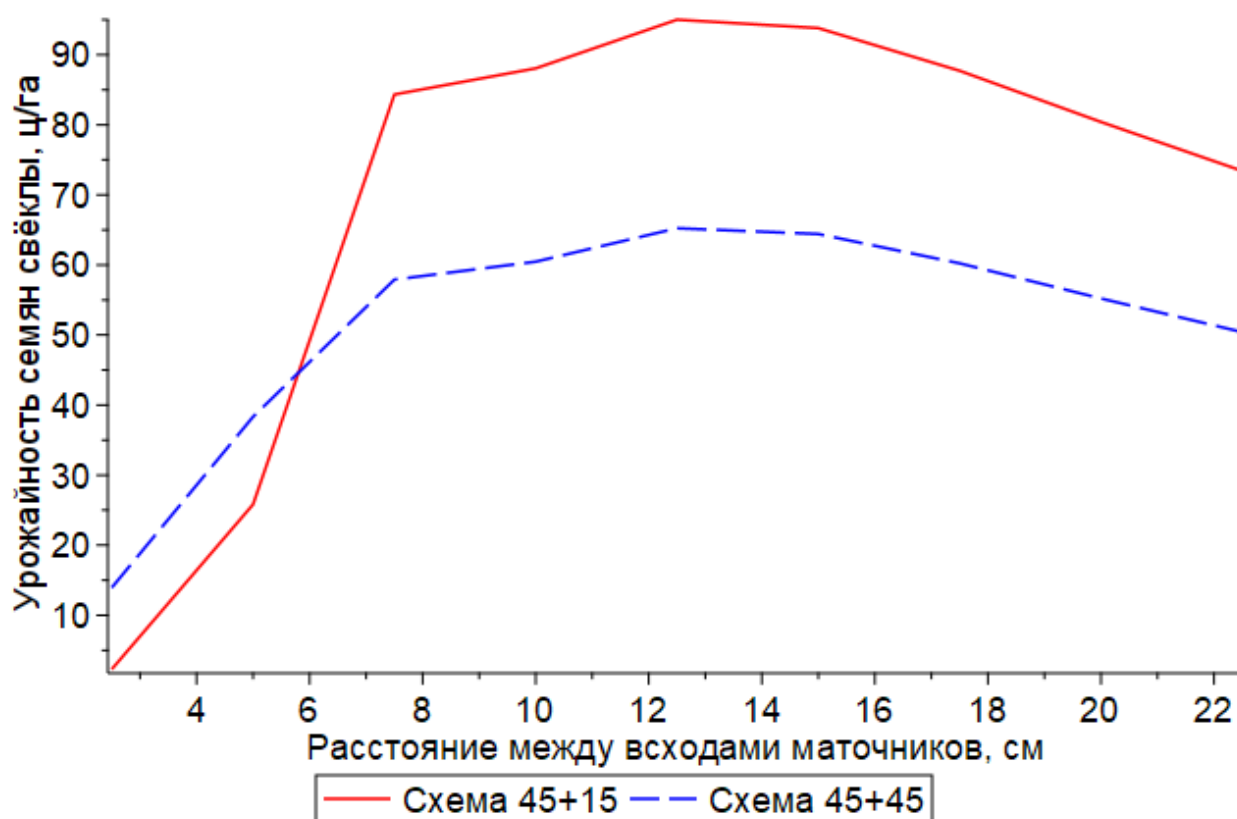


Рисунок 2.14 – Влияние расстояния между семенами в рядке на урожайность во второй год вегетации

При интервале до 8 см средняя масса корнеплода может достигать максимально 100 г, выход посевного материала будет низким [53, 56]. Из приведенных зависимостей видно, что максимальная урожайность семян (больше 90 ц/га) для схемы 45+15 см наблюдается при интервале от 13 до 19 см. При посеве с междурядьем 45 см при аналогичном интервале между семенами урожайность будет составлять не более 65 ц/га.

Таким образом, использование уточненной имитационной модели, разработанной проф. В.В. Василенко и проф. К.Р. Казаровым, позволило спрогнозировать выход семян на второй год вегетации сахарной свёклы при использовании схемы междурядий 45+15 см и посева с междурядьем 45 см. Максимальная прогнозируемая урожайность семян сахарной свёклы при благоприятных погодных условиях и схеме междурядий 45+15 см может достигать 90 ц/га, при посеве с междурядьем 45 см – не более 65 ц/га. Указанное

значение прогнозируемой урожайности может быть достигнуто с интервалом между семенами в рядке от 13 до 19 см.

2.5 Выводы

1. Проведенный анализ прогнозируемой урожайности семян сахарной свеклы позволяет сделать вывод, что при благоприятных погодных условиях и интервале между семенами в рядке в первый год посева от 13 до 19 см использование схемы междурядий 45+15 см приводит к увеличению средней урожайности семян на второй год вегетации на 30 ц/га выше, чем с междурядьем 45 см.

2. Уточненный расчет процесса захвата дражированных семян сахарной свеклы позволил определить разрежение в высевальном аппарате 30 мбар при угловой скорости диска не более 4 рад/с., повышение скорости до 5 рад/с требует увеличение разрежения до 40 мбар, а до 6 рад/с – 50 мбар. Коэффициент запаса присасывающей силы, оценивающий способность присасывающей силы противостоять неустойчивости сил сопротивления и определяемый как отношение присасывающей силы к результирующей сил сопротивления, должен составлять $2,0 \pm 0,5$.

3. Делитель семян на два потока с одного высевального аппарата необходимо оборудовать сборочным лотком подачи семян в воздушную камеру с формой, описываемой уравнением $f(x) = 100x^2 - 6x + 0,09$, с длиной 0,035 м, высотой 0,1 м, с его смещением в продольной вертикальной плоскости от места отрыва семени от диска на 0,005 м против направления вращения высевального диска. Выходные отводы делителя устанавливаются таким образом, чтобы семя смещалось относительно центра высевального аппарата на 0,075 м, а наклон отводов относительно линии горизонта в поперечном направлении должен быть 45° .

4. При диаметре воздушной камеры 0,01 м скорость воздушного потока должна составлять от 22 до 35 м/с, это соответствует давлению в пневмосистеме

от $1,2 \cdot 10^5$ Па до $1,4 \cdot 10^5$ Па. При угловой скорости высевающего диска $\omega = 0,45$ рад/с совокупное время движения семени с момента отрыва от диска до выхода из отводов левого и правого делителя составляет соответственно 0,404 с и 0,398 с при скорости воздушного потока 30 м/с.

5. По результатам моделирования предложена запатентованная конструкция делителя (Патент RU № 212300), состоящего из наклонного лотка для сбора семян, падающих с высевающего аппарата, по которому семена скатываются к воздушной камере, где за счет влияния воздушного потока перемещаются к одному из отводов делителя. Выходные отводы делителя имеют форму призмы с прямоугольным сечением с сужением на выходе к сошникам и установлены с углом наклона 45° к горизонтальной плоскости.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

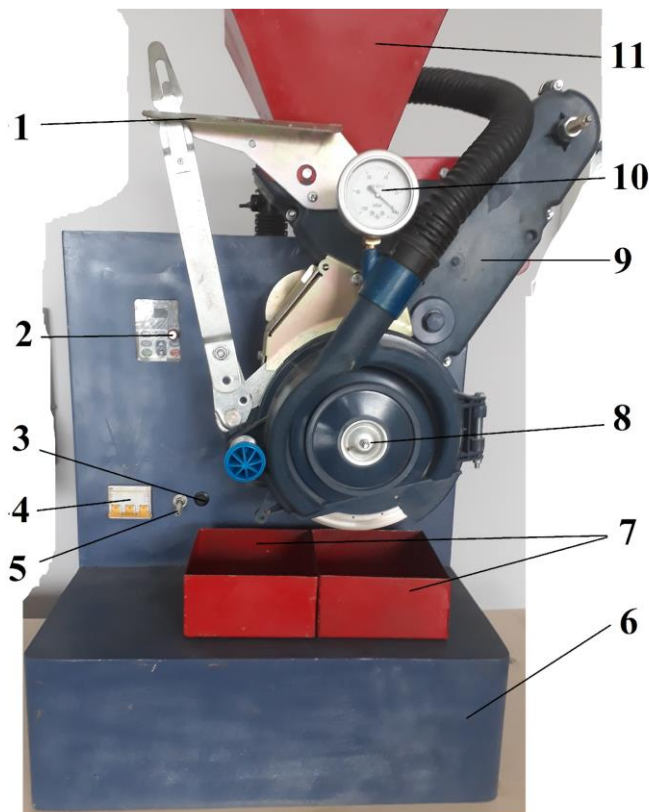
3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований состоит из следующих этапов:

- подготовить запланированный для экспериментальных исследований семенной материал в необходимом количестве;
- уточнить физико-механические свойства дражированных семян: размерные характеристики, аэродинамические свойства, массу 1000 семян, плотность, объемную массу, коэффициент внутреннего трения;
- подготовить лабораторное оборудование к проведению экспериментальных исследований;
- провести экспериментальные исследования по определению значения коэффициента присасывания;
- провести исследования по определению вероятности заполнения отверстий высевающего диска в зависимости от скорости вращения диска и разрежения в вакуумной камере;
- провести экспериментальную проверку работоспособности делителя для двустрочного посева с использованием нагнетательного воздушного потока;
- провести экспериментальные исследования по определению рационального режима работы делителя потока для двустрочного посева на пневмовакuumный высевающий аппарат сеялки точного высева и сравнить с результатами моделирования.

3.2 Описание лабораторных установок

Экспериментальные исследования были проведены на лабораторной установке (рисунок 3.1) в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей [94, 110].

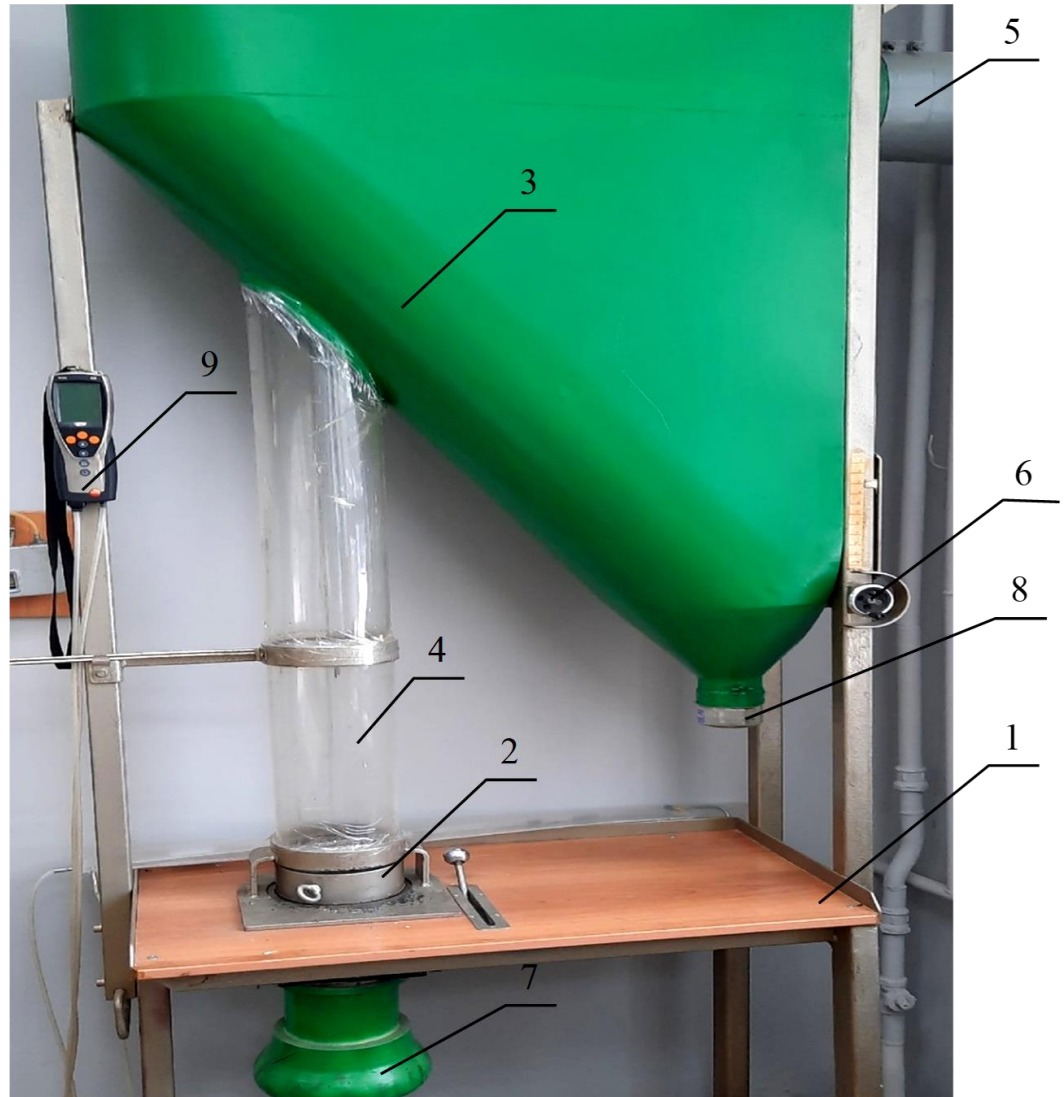


1 – сбрасыватель высеваемых семян; 2 – регулятор скорости; 3 – регулятор величины давления в камере разрежения; 4 – источник питания; 5 – выключатель питания вентилятора; 6 – корпус; 7 – ёмкость для сбора высеянных семян; 8 – высевающий аппарат; 9 – привод высевающего аппарата; 10 – вакуумметр; 11 – бункер семян

Рисунок 3.1 – Лабораторная установка для изучения процесса высева семян сахарной свеклы

Лабораторная установка состоит из высевающего аппарата сеялки ТС-М-4150А [140], к которому подключен вакуумный насос для создания регулируемого разрежения. Вал высевающего аппарата с диском приводится в движение электродвигателем с возможностью бесступенчатой регулировки частоты вращения [136, 143]. Дополнительно установка оборудована емкостями для сбора высеянных семян высевающим аппаратом.

Лабораторная установка для определения скорости витания дражированных семян сахарной свеклы и коэффициента парусности [39, 131], представлена на рисунке 3.2.



1 – рабочий стол, 2 – обечайка, 3 – циклон, 4 – аэродинамическая труба, 5 – трубопровод вентилятора, 6 – регулятор положения заслонки, 7 – воздухозаборник, 8 – отстойник для семян, 9 – многофункциональный прибор Testo 435-3 с трубкой Пито-Прандтля

Рисунок 3.2 – Установка для определения скорости витания семян

На проволочную сетку обечайки 2 (рисунок 3.2), расположенную для удобства на рабочем столе 1, засыпается порция семян. Работающий от электродвигателя вентилятор создает в циклоне 3 и аэродинамической трубе 4 разрежение, изменяемое с помощью заслонки регулируемой рукояткой 6.

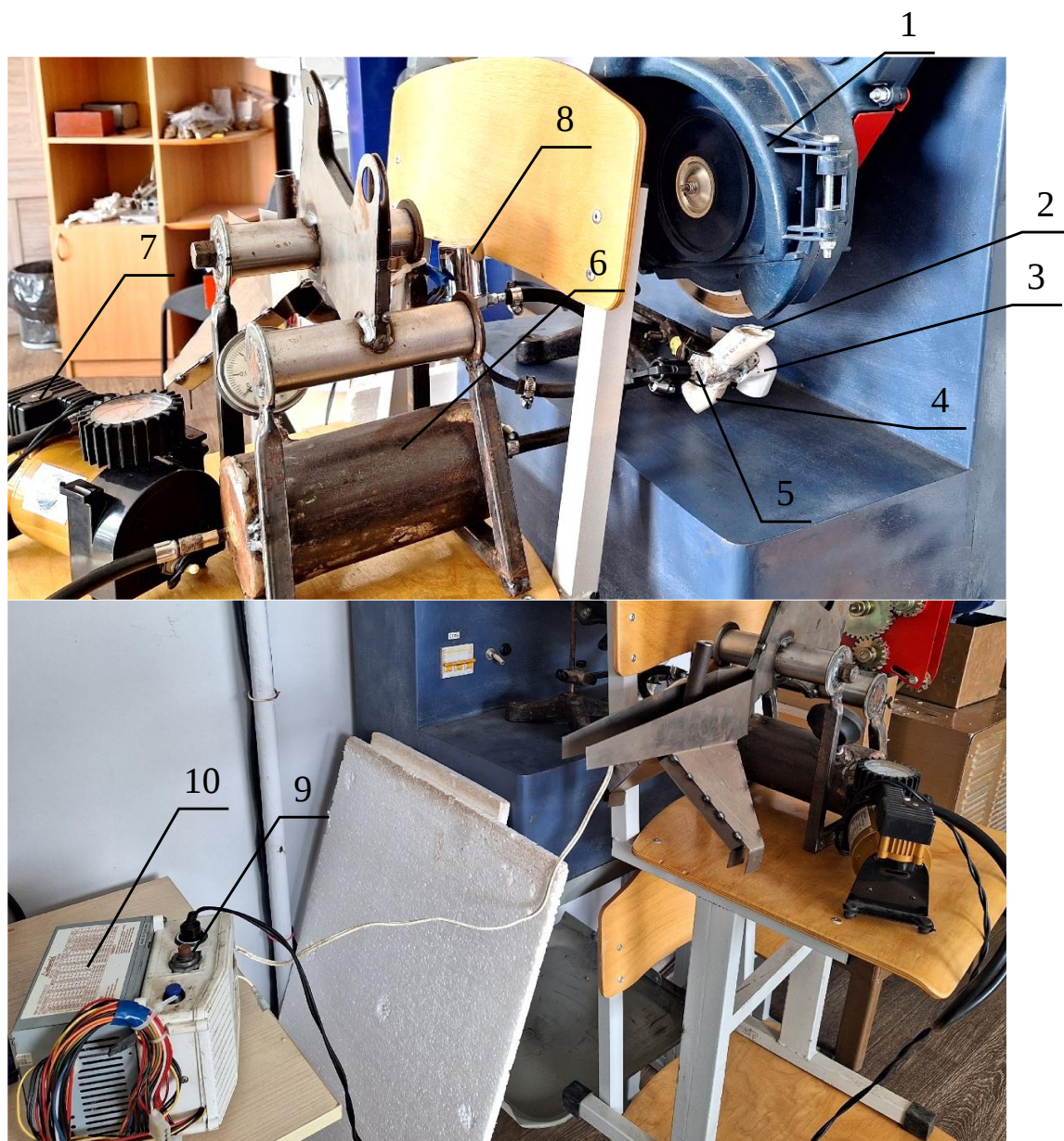
Создаваемый перепад давлений в установке обеспечивает движение воздушного потока к вентилятору из воздухозаборника 7 через слой семян, расположенных на проволочной сетке обечайки 2, в результате чего они приходят во взвешенное состояние и начинают витание. Семена, скорость витания которых ниже скорости воздуха, установленной в аэродинамической трубе 4, выносятся в циклон 3, в котором скорость воздушного потока снижается в несколько раз и становится меньше скорости витания семян, которые попадают в отстойник 8. Скорость воздушного потока контролируется с помощью многофункционального измерительного прибора Testo 435-3 (поз. 9) со встроенным датчиком для измерения дифференциального давления (внесен в Государственный Реестр Средств измерений РФ) с трубкой Пито-Прандтля.

Отдельно изготовленная воздушная делительная камера состоит из входного канала 2 (рисунок 3.3), двух выходных каналов 3 и 4 и форсунки пневмосистемы 5. К форсунке пневмосистемы 5 через электромагнитный клапан 8 подключался компрессор 7 с ресивером 6. Электромагнитный клапан 8 управлялся с помощью блока управления 9 с источником тока 10. Момент срабатывания клапана 8 устанавливался микроконтроллером фирмы Atmel, связанным с датчиком Холла, который срабатывал при прохождении отверстий высевающего диска. При каждом четном отверстии включался электромагнитный клапан 8 подачи воздуха от компрессора 7 с ресивером 6 к форсунке 5, в результате чего семя, попадающее во входной отвод делителя 2, перемещается в канал со смещением 3, при отсутствии подачи – в выходной канал без смещения 4.

Для определения работоспособности воздушной камеры делителя под каждый отвод устанавливались лотки для сбора семян. Лабораторная установка включалась на определенное время, после чего проводился подсчет количества семян в каждом лотке.

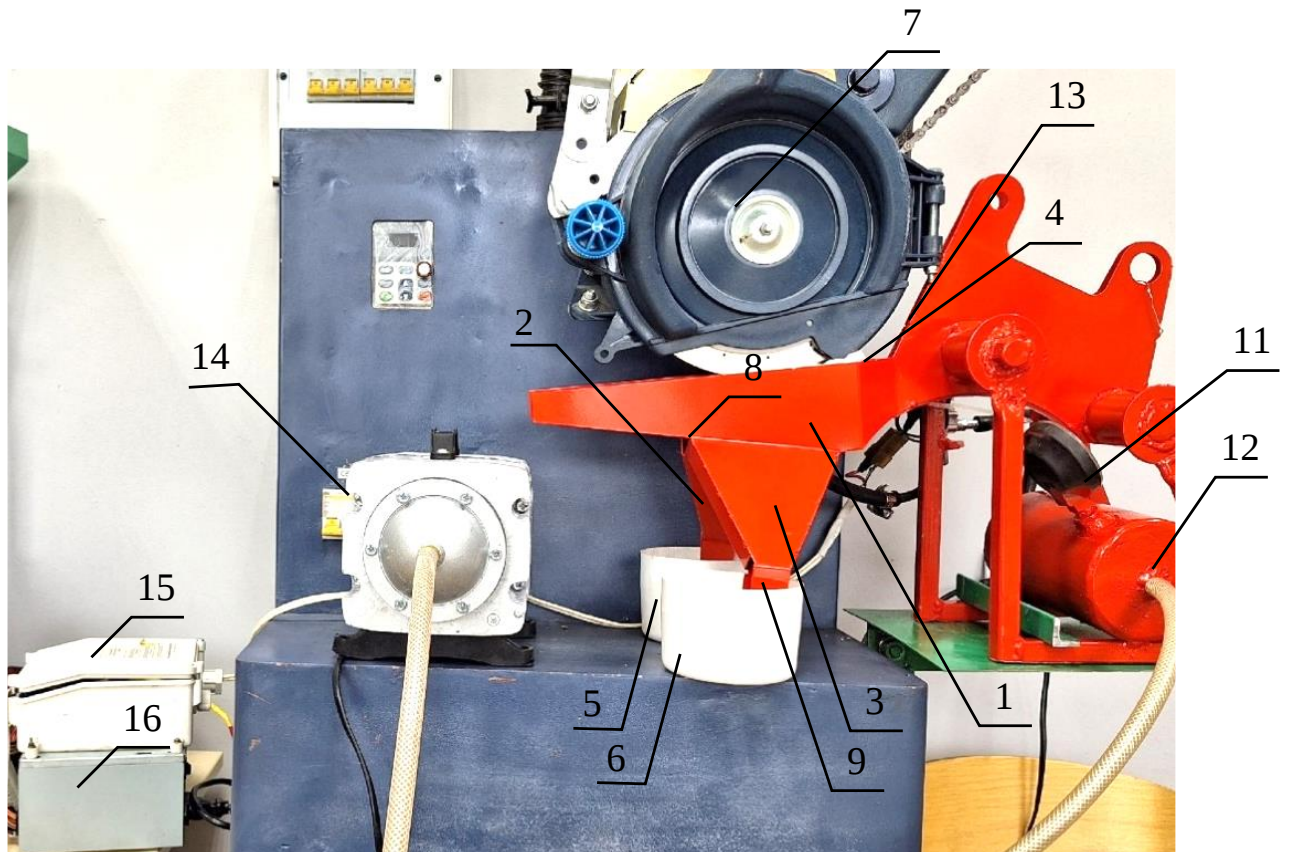
После проверки работоспособности воздушная камера устанавливалась в корпус делителя потока (рисунок 3.4) асимметрично со смещением вправо относительно его оси [103]. Делитель состоит из вертикального входного

отвода 1, повторяющего форму сошника сеялки, и двух отводящих косых отводов 2 и 3, направляющих семена в левый и правый сошники (в нашем случае – лотки для сбора семян 5 и 6). Делитель изготовлен с возможностью установки на секцию сеялки ТС-М-4150А взамен серийного сошника с помощью проушин 10.



- 1 – высевающий аппарат, 2 – входной канал делителя потока, 3 – выходной канал делителя со смещением, 4 – выходной канал делителя без смещения, 5 – форсунка пневмосистемы, 6 – промежуточный ресивер, 7 – компрессор, 8 – электромагнитный клапан, 9 – блок управления делителем, 10 – блок питания делителя на 12 В

Рисунок 3.3 – Лабораторная установка для испытания механизма воздушной камеры делителя потока

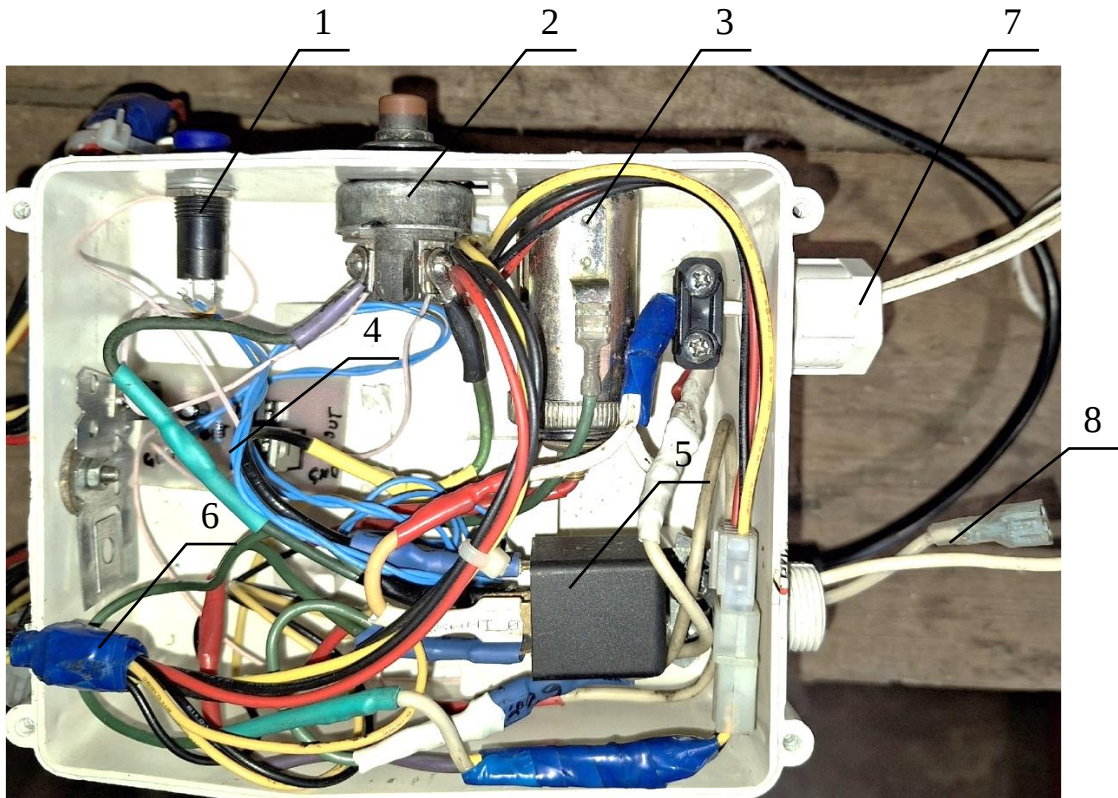


1 – входной отвод, 2 и 3 – косые выходные отводы, 4 – наклонный лоток для направления семян к воздушной камере, 5 и 6 – лотки для сбора семян, направляемых к сошникам, 7 – высевающий аппарат, 8 – форсунка пневмосистемы, 9 – направляющие для семян, 10 – проушина для крепления к сеялке, 11 – манометр пневмосистемы, 12 – ресивер, 13 – электромагнитный клапан, 14 – компрессор, 15 – блок управления, 16 – блок питания

Рисунок 3.4 – Лабораторная установка для испытания делителя потока семян к высевающему аппарату

Лабораторная установка работает следующим образом: семена из высевающего аппарата 7 попадают в лоток 4, с которого семена скатываются в воздушную камеру, где при отсутствии подачи воздуха они не меняют своего направления движения и попадают в левый выходной отвод. При включении подачи воздуха семена, попавшие в воздушную камеру, под действием воздушного потока изменяют траекторию движения и попадают в правый выходной отвод. При выходе из разветвлений делителя установлены направляющие 9 для корректировки траектории семенного материала перед попаданием в сошник.

Управляющий механизм делителя реализует периодичность срабатывания форсунки, равную половине частоты схода семян с высевающего диска. Он состоит из блока питания 16 и управления 15, а также ноутбука 17 для программирования контроллера в блоке управления. В сборе управляющий элемент делителя представлен на рисунке 3.5.



1 – кнопка имитации работы датчика-счетчика семян, 2 – кнопка ручного управления микроконтроллером, 3 – силовая розетка для компрессора 12В, 4 – плата с микроконтроллером, 5 – реле управления электромагнитным клапаном подачи воздуха, 6 – провода источника тока, 7 – провода от реле к клапану, 8 – провода к датчику

Рисунок 3.5 – Блок управления делителем

Работает он следующим образом: ток подается к реле 5 и на кнопку 2 и микроконтроллер 4. При отсутствии подачи тока к управляющим контактам реле 5, то электромагнитный клапан подачи воздуха (не показан) открывается. Периодичность его срабатывания задает микроконтроллер, получая сигнал от датчика Холла 8.

3.3 Методика экспериментальных исследований

Анализ размерных характеристик дражированных семян шаровидной формы включал в себя измерение таких показателей, как диаметр, масса, объем, плотность, а также их обработку с помощью статистических методов.

Диаметр семян измеряли с помощью механического микрометра в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей. Изучаемые семена были пропущены через классификатор с диаметрами отверстий решет 6; 5; 4,5; 4; 3; 2 мм. Порцию семян, не прошедшую сквозь решето, высыпали в отдельную емкость, из которой брали 50 случайных семян и измеряли их диаметр при помощи микрометра (точность $\pm 0,05$ мм). Результаты измерений записывали в лабораторный журнал.

В таблицу также вносили информацию о массе порции измеренных семян, которую определяли с помощью весов в лаборатории (точность $\pm 0,05$ г). Показатель использовался нами для определения физико-механических характеристик семенного материала. С помощью тех же весов измеряли и полную массу семян, оставшихся на решете, результаты записывали в таблицу. Показатели диаметра семян сравнивали с требованиями ГОСТ, которые должны быть в пределах 3,5-4,75 мм для представленного материала [117].

Для определения скорости витания и коэффициента парусности семена сахарной свеклы засыпали в обечайку, устанавливаемую в аэродинамическую трубу. Затем в целях безопасности проверяли крепление обечайки и работоспособность узлов установки. Закрывали дроссельную заслонку и включали привод вентилятора. Поворачивая рукоять, постепенно открывали дроссельную заслонку до возникновения явления витания отдельных семян свеклы. После этого измеряли динамический напор с помощью multifunctional измерительного прибора Testo 435-3 и взвешивали порцию семян, попавших в отстойник.

В следующем шаге увеличивали значение разрежения на 5 Па и проводили замер массы семян из отстойника. Повторяли опыт до тех пор, пока в обечайке не

закончится семенной материал. Так проводили замеры скорости витания семян для классов: $d_i \geq 4,5$ мм, $4,0 \text{ мм} \leq d_i < 4,5$ мм, и $3 \text{ мм} < d_i < 4,0$ мм.

Угол внутреннего трения определяли с помощью прибора, состоящего из основания, воронки, закрепленной на штативе, и измерительной линейки (рисунок 3.6).



1 – подъемный механизм, 2 – подставка, 3 – воронка, 4 – основание

Рисунок 3.6 – Установка по определению угла внутреннего трения семян

Измерения проводили по следующей методике: основание лотка 4 установили в горизонтальной плоскости, опустили воронку 3 в нижнее положение и начали пересыпать материал из емкости в воронку. Затем с помощью линейки измеряли высоту конуса и радиус основания в четырех радиальных направлениях [32]. Замеры провели с трехкратной повторностью.

Коэффициент внутреннего трения семян f определили по формуле

$$f = \tan \tau = \frac{\overline{H}_c}{\overline{R}_c}, \quad (3.1)$$

где $\overline{H}_c$ – средняя высота конуса семян, м;

$\overline{R}_c$ – средний радиус основания конуса, м.

Отсюда получим угол внутреннего трения τ :

$$\tau = \arctan \frac{\overline{H}_c}{R_c}. \quad (3.2)$$

Определение объемной массы семян производили с помощью мензурки и физических весов (рисунок 3.7). Измеряли показатель в следующей последовательности. В мензурку насыпали 250 мл семян, после чего замерили их массу, исключив из показаний массу тары. Измерения провели с пятикратной повторностью. Данные заносили в журнал испытаний.



Рисунок 3.7 – Установка для определения объемной массы семян

Определить объемную массу семян γ можно по формуле

$$\gamma = \frac{\overline{m}_V}{\bar{V}}, \quad (3.3)$$

где $\overline{m}_V$ – средняя масса семян объема $\bar{V}$, кг;

$\bar{V}$ – объем семян в мензурке, м³.

Определение коэффициента присасывания осуществляли с помощью высевающего аппарата установки без делителя (рисунок 3.1). Разрежение в

вакуумной камере устанавливали больше рекомендуемого производителем. Затем проводили настройку отражателя на однозерновой высев дражированных семян сахарной свеклы, для которых ранее были уточнены физико-механические свойства. Частоту вращения высевающего диска устанавливали 10 об./мин, что соответствует угловой скорости 1,05 рад/с. После установившегося режима работы установки отключали привод высевающего диска. Затем меняли лоток для сбора семян на пустой и уменьшали значение разрежения на 10 Па и фиксировали в журнале количество упавших семян до момента их полного отрыва от диска. Опыты проводили для каждого значения разрежения с 10-кратной повторностью.

Эксперимент по определению вероятности заполнения отверстий диска в зависимости от средней скорости вращения диска и разрежения в вакуумной камере провели на лабораторной установке лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей [110]. Методика экспериментальных исследований частично изложена в работах [26, 28, 153, 154].

На установке выставляли требуемое значение разрежения с помощью регулятора, числовое значение которого контролировали с помощью вакуумметра, установленного на выходе из камеры разрежения. Затем включали привод высевающего диска и регулировали частоту с помощью частотного преобразователя.

После этого собирали в течение минуты порцию высеваемых семян, которую затем взвешивали на весах и полученное значение записывали в журнал. С целью снижения влияния погрешности эксперимент проводили с трехразовой повторностью и проверяли достоверность измерений с помощью критерия Стьюдента. Затем проводили аналогичные исследования при других значениях разрежения.

Результаты фиксировали в лабораторном журнале в формате Excel и графически представляли в виде точек зависимости $\psi = f(\omega, H)$, к которым подбирается аппроксимирующая функция в программе математического моделирования Maple и IPython [155].

Задача экспериментального исследования по качеству разделения потока высеваемых семян делителем заключалась в том, чтобы найти интервал создаваемого давления, при котором возможно разделение семян сахарной свеклы. Эксперимент проводили следующим образом: с помощью редукционного клапана устанавливали фиксированное значение избыточного давления и открывали клапан подачи воздуха к форсунке. Затем посевной материал подавался высевающим аппаратом в делитель. После чего проводили подсчет семян, перемещенных воздушным потоком, которые находились в правом лотке по ходу движения, и не перемещенных, находящихся в левом лотке.

Эксперимент проводили при давлении 0,05; 0,1; 0,15; 0,17 МПа, которое контролировали при помощи манометра на ресивере установки. Затем проводили статистическую обработку экспериментальных данных и выявляли закономерности возможности перемещения семян воздушным потоком в зависимости от создаваемого давления в пневмосистеме.

После обоснования рационального значения давления проводили экспериментальные исследования по качеству разделения семян сахарной свеклы делителем потока. Для этого камеру закрепляли на штативе и направляли объектив на выход с делителя. Затем запускали высевающий аппарат совместно с делителем, после чего проводили съемку с помощью видеокамеры процесса разделения семян делителем. Материал видеосъемки просматривали покадрово и в лабораторном журнале фиксировали момент времени в миллисекундах, когда упало семя, в какой лоток и в каком количестве.

Экспериментальные исследования по качеству разделения потока семян проводили при скоростях вращения диска 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 рад/с. После работы высевающего аппарата с делителем проводили подсчет порций семян, поступивших в правый и левый лотки и записывали значения в лабораторный журнал.

3.4 Методика обработки экспериментальных данных

3.4.1 Методика определения физико-механических свойств дражированных семян сахарной свеклы

После получения экспериментальных данных проводили их статистическую обработку в программе [123] для определения физико-механических свойств семян сахарной свеклы с целью использования их в дальнейших расчетах. Средний диаметр семян сахарной свеклы $d_{\text{сем}}$ на каждом из решет определяли по формуле

$$d_{\text{сем}} = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^n d_i, \quad (3.4)$$

где d_i – диаметры случайно выбранных семян, м;

n_c – количество семян.

Массу одного семени $m_{\text{сем}}$ (г) определяли исходя из выражения

$$m_{\text{сем}} = \frac{M_c}{1000}, \quad (3.5)$$

где M_c – масса 1000 семян, г.

Определяли объем одного семени $V_{\text{сем}}$ (м³) по формуле, м³:

$$V_{\text{сем}} = \frac{1}{6} \pi d_{\text{сем}}^3. \quad (3.6)$$

Плотность семени ρ (кг/м³) находили по формуле

$$\rho = \frac{m_{\text{сем}}}{V_{\text{сем}}}. \quad (3.7)$$

Получившееся значение плотности семян было использовано для нахождения суммарного объема семян на каждом из решет $\bar{V}_l$ по формуле

$$\bar{V}_l = \frac{\bar{m}_l}{\rho}, \quad (3.8)$$

где $\overline{m}_l$ – масса семян на решетке, кг.

Определяли количество посевного материала $\overline{N}_l$ на решетке при делении его совокупной массы на массу одного семени, результат округляется в ближайшую сторону:

$$\overline{N}_l = \frac{\overline{m}_l}{m_{\text{сем}}}. \quad (3.9)$$

Полученные результаты были визуализированы в виде таблиц и рисунков в системе математического моделирования Maple. Значения замеров динамического напора в аэродинамической трубе преобразовали в показатель скорости витания каждой порции семян с помощью формулы

$$v_i = \sqrt{\frac{2h_d}{\rho_v}}, \quad (3.10)$$

где h_d – динамический напор, Па;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

В рамках статистической обработки экспериментальных данных, полученных при работе парусного классификатора, определили частоту каждого размерного класса P_i по скорости витания:

$$P_i = \frac{m_i}{\sum m_i}, \quad (3.11)$$

где m_i – масса семян, попавших в отстойник классификатора при i -й скорости витания, кг.

Средневзвешенное значение скорости витания семени $\overline{v}_{\text{сем}}$ определили по формуле

$$\overline{v}_{\text{сем}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot v_i, \quad (3.12)$$

где v_i – скорость витания семян свеклы по классам, м/с.

Вычисление дисперсии распределения D_c осуществили по формуле

$$D_c = \overline{v_{\text{сем}}}(P^2) - (\overline{v_{\text{сем}}}(P))^2. \quad (3.13)$$

Среднее квадратичное отклонение σ_c определили из соотношения

$$\sigma_c = \sqrt{D_c}. \quad (3.14)$$

Получив значения дисперсии и среднего квадратичного отклонения для средневзвешенного значения скорости по формулам 3.13-3.14, вычислили значение коэффициента парусности k семян свеклы

$$k = \frac{g}{\overline{v_{\text{сем}}}^2}. \quad (3.15)$$

Расчетное значение коэффициента парусности используется нами в дальнейших теоретических расчетах и при обработке экспериментальных данных.

3.4.2 Методика определения коэффициента присасывания

В этом случае на семя не действуют силы со стороны слоя семян и центробежная сила, а действующие изображены на рисунке 3.8 [151]. Из рисунка видно, что на семенной материал в отверстии диска действуют силы тяжести $F_{\text{тяж}}$, присасывания $F_{\text{пр}}$, трения $F_{\text{тр}}$ и реакции опоры N и N' . Условия статического равновесия будут выполняться в двух случаях:

- алгебраическая сумма векторов сил, действующих на семя, равна нулю;
- алгебраическая сумма моментов сил относительно произвольной точки равна нулю [44].

Принимаем за точку приложения моментов сил точку O , через которую проходят линии действия сил реакции опоры N' и трения $F_{\text{тр}}$, поэтому крутящий момент они не создают. Получаем, что сумма моментов, создаваемых силой тяжести и реакции опоры, станет равной моменту используемой присасывающей силы. Отсюда, получим равенство следующего вида:

$$F_{\text{тяж}} \cdot l_2 + N \cdot d_{\text{отв}} = F_{\text{пр}} \cdot l_1, \quad (3.16)$$

где l_1 и l_2 – плечи присасывающей силы и силы тяжести, т.е. кратчайшие расстояния от линий действия сил до точки O , м;
 $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия, м.

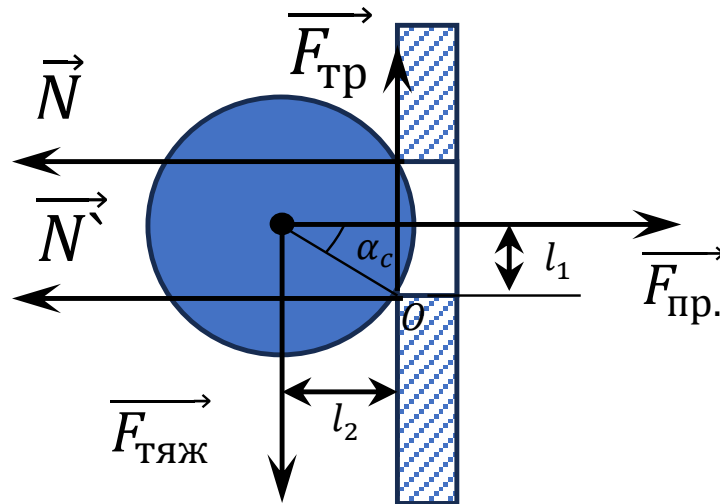


Рисунок 3.8 – Схема сил, действующих на семя, в верхнем положении высевающего диска при отсутствии вращательного движения

На рисунке 3.8 видим, что длина плеча l_1 равна радиусу отверстия высевающего диска. Плечо l_2 находится через произведение радиуса семени на косинус угла α_c , который найдем из соотношения

$$\alpha_c = \arcsin\left(\frac{d_{\text{отв}}}{d_{\text{сем}}}\right), \quad (3.17)$$

где $d_{\text{сем}}$ – диаметр семени, м.

В случае, когда будет подобрано минимальное значение разрежения, при котором семя еще может удерживаться на диске, момент $N \cdot d_{\text{отв}}$ стремится к нулю, поэтому в расчетах его учитывать не будем. Подставим в формулу 3.16 значения силы тяжести, присасывающей силы из формулы 2.2, длины плеч $l_1 = 0,5d_{\text{отв}}$ и $l_2 = 0,5d_{\text{сем}} \cos \alpha_c$. В результате соотношение будет иметь следующий вид:

$$m_{\text{сем}} \cdot g \cdot d_{\text{сем}} \cdot \cos \alpha_c = \frac{1}{2} \eta_{\text{п}} \cdot \Delta H \cdot \pi d_{\text{сем}} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{отв}}^2} \right) \cdot d_{\text{отв}}, \quad (3.18)$$

где $\eta_{\text{п}}$ – коэффициент присасывания;

$m_{\text{сем}}$ – масса семени, кг.

Выражение для определения значение коэффициента присасывания получим из формулы 3.18:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{2g \cdot m_{\text{сем}} \cdot \cos \alpha_c}{\Delta H \cdot \pi d_{\text{отв}} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{отв}}^2} \right)}. \quad (3.19)$$

Для определения его значения экспериментально необходимо было определить разрежение ΔH , при котором вероятность удержания семян на диске близка к 1, что соответствует агротехническим требованиям удержания посевного материала на диске.

3.4.3 Методика определения качественных показателей работы высевающего аппарата

Определение вероятности заполнения отверстий диска осуществляли в программе системы компьютерного моделирования Maple [125]. В первую очередь была проведена обработка полученных экспериментальных данных, проведена оценка абсолютной и относительной погрешности по методике, описанной в работах [130, 142, 148] и приложении А.

Для каждой повторности эксперимента находили среднюю арифметическую массу семян, высеваемых диском за минуту.

$$m_t^{\text{эксп.}} = \frac{1}{n_{\text{э}}} \sum_{i=1}^n m_i^{\text{эксп.}}, \quad (3.20)$$

где $m_t^{\text{эксп.}}$ – средняя масса семян за время эксперимента, г;

$m_i^{\text{эксп.}}$ – масса i -й повторности;

n_3 – количество повторностей эксперимента, в нашем опыте $n_3 = 3$.

После определения погрешности эксперимента перешли к расчету вероятности заполнения отверстий диска семенами. Для этого определили теоретически возможную массу высеваемых семян $m_t^{\text{теор.}}$ по формуле

$$m_t^{\text{теор.}} = \frac{t_{\text{эксп.}} \cdot \omega}{\pi \cdot D_{\text{от.}}} \cdot N_{\text{от.}} \cdot m_{\text{сем}}, \quad (3.21)$$

где $t_{\text{эксп.}}$ – время экспериментального замера, с;

ω – угловая скорость диска, рад/с;

$N_{\text{от.}}$ – количество отверстий в диске;

$m_{\text{сем}}$ – масса одного семени, г.

Для определения вероятности заполнения отверстий диска ψ нашли отношение фактической массы высеваемых семян $m_t^{\text{эксп.}}$ к теоретической $m_t^{\text{теор.}}$:

$$\psi = \frac{m_t^{\text{эксп.}}}{m_t^{\text{теор.}}} \cdot 100\%. \quad (3.22)$$

Полученные значения вероятности заполнения отверстий диска в зависимости от угловой скорости и разрежения были представлены в виде графика и аппроксимированы.

3.4.4 Методика обработки экспериментальных данных по разделению семян сахарной свеклы воздушным потоком

Полученные в ходе опыта с моделью делителя к высеваящему аппарату сеялки точного высева экспериментальные данные представили в виде таблицы. Первый столбец – класс давления в Па, второй – количество семян в левом лотке, третий – в правом. Для каждого класса давления провели три повторности эксперимента, чтобы снизить влияние случайной погрешности. В первую очередь находим вероятность попадания семян в правый лоток $p_{\text{раз}}$ по формуле

$$p_{\text{раз}} = \frac{n_{\text{см}}}{n_{\text{см}} + n_{\text{нсм}}}, \quad (3.23)$$

где $n_{\text{см}}$ – количество семян в лотке со смещением, шт.;

$n_{\text{нсм}}$ – количество семян в лотке без смещения, шт.

Полученные данные представляем в виде полигона частот, где по оси абсцисс расположены значения создаваемого давления, а по оси ординат – частота появления семян. Получили две кривые распределения, для которых провели аппроксимацию и вывели эмпирическую зависимость.

Результаты исследования по оценке качества разделения семян воздушным потоком в зависимости от скорости вращения диска занесли в таблицу, где первый столбец – класс частоты вращения, второй – масса семян в левом лотке, третий – в правом.

Для оценки качества разделения η_p семян необходимо разделить количество семян, смещенных делителем, на половину количества посевного материала, подаваемого на лоток:

$$\eta_p = \frac{n_{\text{см}}}{0,5 \cdot (n_{\text{см}} + n_{\text{нсм}})}. \quad (3.24)$$

Результаты эксперимента, полученные с помощью видеоаппаратуры, просматривали кадрowym методом, а затем представляли в виде таблицы, где первый столбец – момент времени в миллисекундах, второй столбец – левый сошник, третий – правый. При просмотре видеоматериала момент падения фиксировали в таблице, в которой указывали и отвод, из которого падало семя. Затем, используя логическую функцию *если()*, задавали параметр 1, если семя попало в правый отвод; если в левый, то -1 . В результате построили график ломанной линии, визуализирующей процесс дискретного срабатывания делителя потока. Для определения периодичности срабатывания механизма делителя, использовали следующую формулу:

$$\Delta t_{\text{сем}} = t_i^{\text{сем}} - t_{i-1}^{\text{сем}}, \quad (3.25)$$

где $t_i^{\text{сем}}$ – момент времени падения i -го семени, с;

$t_{i-1}^{\text{сем}}$ – момент времени падения $(i - 1)$ -го семени, с.

Для перевода периодичности срабатывания в интервал между семенами Δl , нами использована следующая формула:

$$\Delta l = \frac{N_{\text{от.}} \cdot \omega_{\text{диска}}}{2\pi \cdot \lambda_c} \cdot \Delta t_{\text{сем.}}, \quad (3.26)$$

где λ_c – норма высева, шт./м.

Определили средний интервал между семенами $\Delta l_{\text{ср}}$ по формуле определения математического ожидания

$$\Delta l_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^n p_j \cdot \Delta l_j, \quad (3.27)$$

где Δl_j – j -интервал между семенами, м;

p_j – вероятность появления j -го интервала между семенами.

Для оценки отклонения интервалов между семенами от среднего значения определяли дисперсию, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации. Затем по формуле Стерджеса [148] нашли необходимое количество классов интервалов и построили полигон распределения частот значений интервалов между семенами.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Физико-механические характеристики семян сахарной свеклы

Полученные обработанные результаты эксперимента были использованы нами для расчета показателей среднего диаметра, дисперсии и среднего квадратичного отклонения на каждом из решет. После интервального разбиения вариационного ряда, осуществленного по формуле Стерджеса [111, 148], получили матрицу количества семян и вероятности появления для размерного класса семян (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Разделение семян по размерам на классы

Размер семян, мм	Количество семян, шт.	Частота появления, %
3,0	0	0
3,3	1	0,7
3,6	2	1,3
3,9	18	12,0
4,2	31	20,7
4,5	65	43,3
4,8	31	20,7
5,1	0	0
5,4	0	0
5,7	2	1,3

На основании представленных в таблице 4.1. данных рассчитали статистические характеристики вариационного ряда. В таблице 4.2 мы сможем наглядно увидеть свойства выборки семян, необходимые для дальнейших расчетов.

После проведенного размерного анализа получили график частоты распределения размерных интервалов семян (рисунок 4.1), представленный в виде гистограммы размеров семян, полигона дискретного распределения случайной величины и кривой распределения Гаусса.

Таблица 4.2 – Статистические характеристики семенного ряда для всей фракции

Показатель	Значение, мм
Минимальный размер семян	3,1
Средний размер семян	4,07
Медиана ряда размеров семян	4,4
Максимальный размер семян	5,5
Размах выборки размеров семян	2,4
Математическое ожидание размера семян	4,42
Дисперсия распределения	0,11
Среднеквадратическое отклонение	0,34

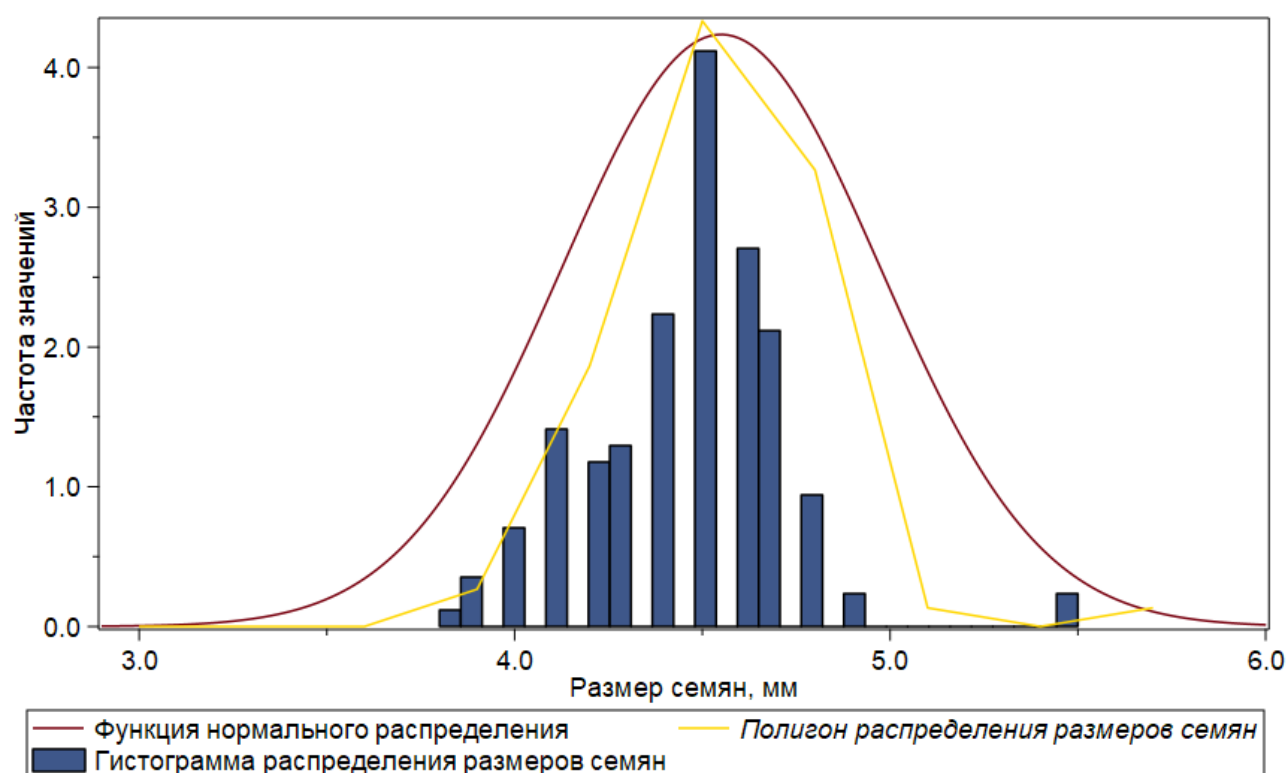


Рисунок 4.1 – График зависимости частот появления размера семян в выборке

Расчеты показывают, что самый часто встречаемый диаметр семени находится на решетке 4 мм и составляет 4,4 мм, что является медианой и математическим ожиданием. Дисперсия представленного распределения 0,11 мм, а коэффициент вариации составляет 7,7%, поэтому использование функции нормального распределения применительно к распределению на решетках допустимо. Полученные физико-механические характеристики можем наблюдать в матрице (таблицы 4.3-4.4).

Таблица 4.3 – Физико-механические характеристики семенного материала по классам

Показатели	Класс семян, мм		
	$d_i \geq 4,5$	$4,0 \leq d_i < 4,5$	$3,1 \leq d_i < 4,0$
Средний диаметр семени, мм	4,59	4,19	3,67
Дисперсия, мм	0,0007	0,0006	0,0009
Среднеквадратическое отклонение, мм	0,185	0,175	0,221
Масса семени, г	0,029	0,032	0,025
Объем семени, мм ³	46,33	35,20	25,67
Плотность семени, г/см ³	0,820	0,909	0,935
Количество семян класса	368	4281	1563
Доля семян по классам, %	7,5	72,6	19,9

Таблица 4.4 – Средние значения физико-механических характеристик

Показатель	Значение
Масса 1000 семян, кг	0,0286
Плотность семян, кг/м ³	888,0
Объемная масса семян, кг/м ³	542,11
Отношение плотности к объемной массе	1,64
Угол укладки семян, град.	48,9
Угол внутреннего трения семян, град.	21,6

Полученные результаты использованы в дальнейших расчетах. Связано это с тем, что усредненные данные, приведенные в справочных таблицах, не учитывают сорт семян, состав драже и место их производства. Предложенная программа расчета физико-механических характеристик [123] может быть использована для аналогичных опытов с шарообразными или близкими к ним по форме семенами.

В результате экспериментального определения скорости витания семян и их коэффициента парусности мы получили таблицу 4.5 динамических напоров и скоростей витания для каждого размерного класса семян сахарной свеклы, из которой видно, что каждому размерному классу семян соответствует своя скорость витания. Представим результаты в виде графика (рисунок 4.2), на котором видим, что распределение скоростей витания подчиняется закономерности, близкой к нормальному распределению Гаусса.

Таблица 4.5 – Распределение вероятности скоростей витания семян свеклы

Динамический напор, гПа	Скорость, м/с	Вероятность появления семян по классам		
		$d_i \geq 4,5$	$4,0 \leq d_i < 4,5$	$3,1 \leq d_i < 4,0$
0,5	8,8	0,138	0,020	0,438
0,6	9,9	0,498	0,500	0,488
0,65	10	0,340	0,347	0,049
0,68	10,5	0,025	0,121	0,025
0,7	10,9	0,000	0,012	0,000

После проведения статистической обработки результатов по методике, приведённой в главе 3, определили, что для класса $d_i \geq 4,5$ мм коэффициент парусности составляет $k_{\pi} = 0,102$, скорость витания $v_{\text{сем}} = 9,79$ м/с. Для класса $4,0 \leq d_i < 4,5$ мм – $k_{\pi} = 0,098$, $v_{\text{сем}} = 9,99$ м/с; для класса $3,1 \leq d_i < 4,0$ мм – $k_{\pi} = 0,110$, $v_{\text{сем}} = 9,43$ м/с. Среднее значение скорости витания для всей фракции семян сахарной свеклы составляет $\overline{v_{\text{сем}}} = 9,74$ м/с, а коэффициент парусности – $k_{\pi} = 0,103$.

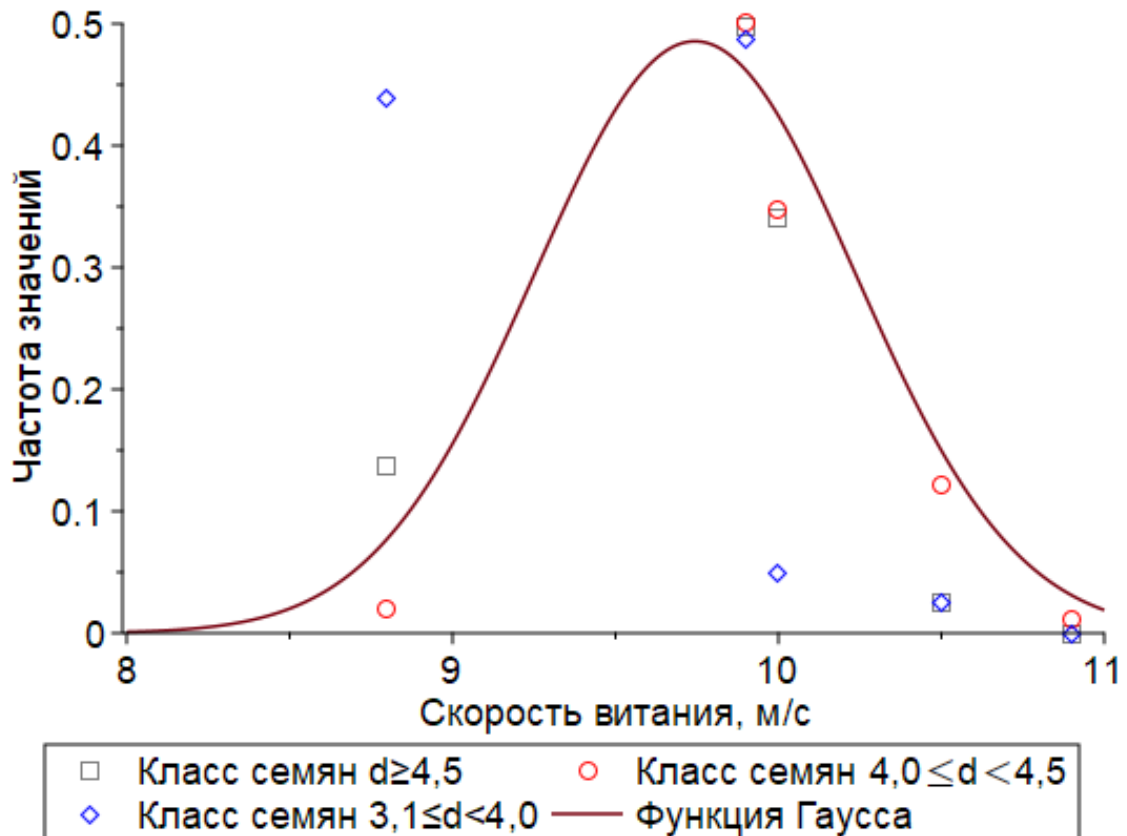


Рисунок 4.2 – График вероятности распределения семян при разных скоростях витания

Полученные результаты не противоречат данным, представленными в работе [32]. Определили, что коэффициент парусности для класса фракции $d_i \geq 4,5$ мм составляет $k_{\pi} = 0,102$, для фракции $4,0 \leq d_i < 4,5$ мм – $k_{\pi} = 0,098$, для фракции $3,1 \leq d_i < 4,0$ мм – $k_{\pi} = 0,110$, на основании чего можем сделать вывод, что незначительное различие аэродинамических свойств семян в зависимости от их размеров не окажет существенного влияния на процесс разделения воздушным потоком.

4.2 Определение коэффициента присасывания семян к высевающему диску

Коэффициент присасывания определялся в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.4.2. На лабораторной установке давали разрежение

3000 Па, которое обеспечивало устойчивую работу высевающего аппарата. После выключения привода высевающего диска установленное разрежение снижали до начала падения семян от отверстий в соответствии с методикой. По результатам исследований получили зависимость вероятности удержания семян у отверстий диска от разрежения. Графическая зависимость средних значений вероятности удержания семян от разрежения приведена на рисунке 4.3.

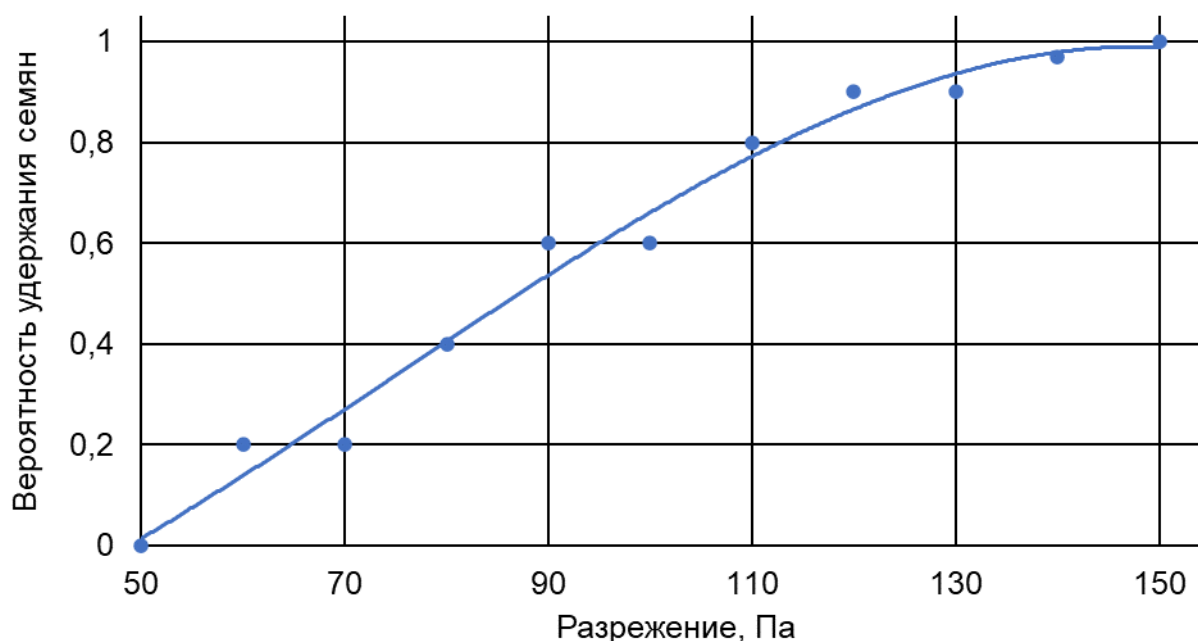


Рисунок 4.3 – График зависимости вероятности удержания семян от разрежения в вакуумной камере

Из рисунка 4.3 видно, что при постепенном уменьшении разрежения вероятность удержания семени снижается по полиномиальной зависимости. При разрежении 150 Па вероятность удержания семян равна 1, что говорит о полном удержании посевного материала. При снижении глубины вакуума до 130 Па начинается отрыв семян, поэтому было взято среднее значение между этими двумя показателями.

Значения коэффициента присасывания и экспериментальные данные, использованные для его расчета, приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Сводная таблица показателей для сахарной свеклы

Показатель	Свекла
Масса, г	0,0286
Приведенный диаметр семени, м	$4,42 \cdot 10^{-3}$
Разрежение присасывания, при котором возникает вероятное падение семян, Па	140
Площадь присасываемой поверхности семени, м ²	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Отношение площадей поверхности семени к площади отверстия	1,10
Отношение диаметра отверстия к диаметру семян	0,56
Коэффициент присасывания	0,92

Из представленных результатов можно сделать вывод, что для дражированных семян сахарной свеклы, используемых в исследованиях, коэффициент присасывания можно принять равным 0,92. Однако он может изменяться в меньшую или большую сторону за счет состава драже, изменения формы и состояния поверхности семян при хранении и транспортировке. Поэтому для использования в расчетах его значение может принято от 0,85 до 0,95.

Увеличение коэффициента присасывания, значение которого определено экспериментально, по сравнению со справочными данными, можно объяснить изменением формы дражированных семян и состоянием их поверхности.

4.3 Исследование качественных показателей работы высевающего аппарата в зависимости от скорости вращения диска и глубины разрежения

Результаты эксперимента по выявлению закономерности зависимости вероятности заполнения отверстий диска от окружной скорости и создаваемого разрежения в вакуумной камере [125] представлены в виде таблицы со значениями массы высеваемых семян в течение минуты при определенной скорости диска. Результаты эксперимента для разрежения 10 мбар для трех повторностей представлены в таблице 4.7. Графические зависимости средних

значений вероятности заполнения от скорости вращения диска для разрежений 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 мбар приведены на рисунке 4.4.

На рисунке 4.4 точками обозначены экспериментальные данные, а линиями – их аппроксимации. Из графических зависимостей видно, что одна и та же вероятность заполнения может быть достигнута при различном сочетании разрежения и скорости вращения диска.

Таблица 4.7 – Масса высеваемых семян за минуту при разных скоростях вращения диска для разрежения в 10 мбар

Скорость, рад/с	Масса семян, г		
	1	2	3
1	5,1	4,9	5
1,5	7,5	7,6	7,5
2	9,8	9,7	9,5
2,5	11,4	10,5	11
3	10,6	11,7	10,9
3,5	10,2	9,2	10,2
4	7	6,8	7
4,5	4,7	3,8	4,6
5	2,7	2,6	3
5,5	1,4	2	2,2
6	1,4	1,2	1,3

Так, для соблюдения агротехнических требований по вероятности заполнения отверстий диска не ниже 0,97 при разрежении в 10 мбар скорость не должна превышать 1 рад/с. Такое же значение вероятности заполнения может быть достигнуто при разрежении в 20 мбар и скорости диска не более 2 рад/с. Увеличение скорости вращения диска до 3 рад/с потребует разрежения не менее 30 мбар. Повышение разрежения до 50 мбар для вероятности заполнения более 0,97 уже позволит увеличить скорость до 6 рад/с. Для скорости вращения диска более 6 рад/с агротехнические требования по заполнению отверстий могут соблюдаться при разрежении не менее 60 мбар. Поэтому при высеве семян сахарной свеклы с большой скоростью вращения высевающего диска необходимо увеличивать значение разрежения.

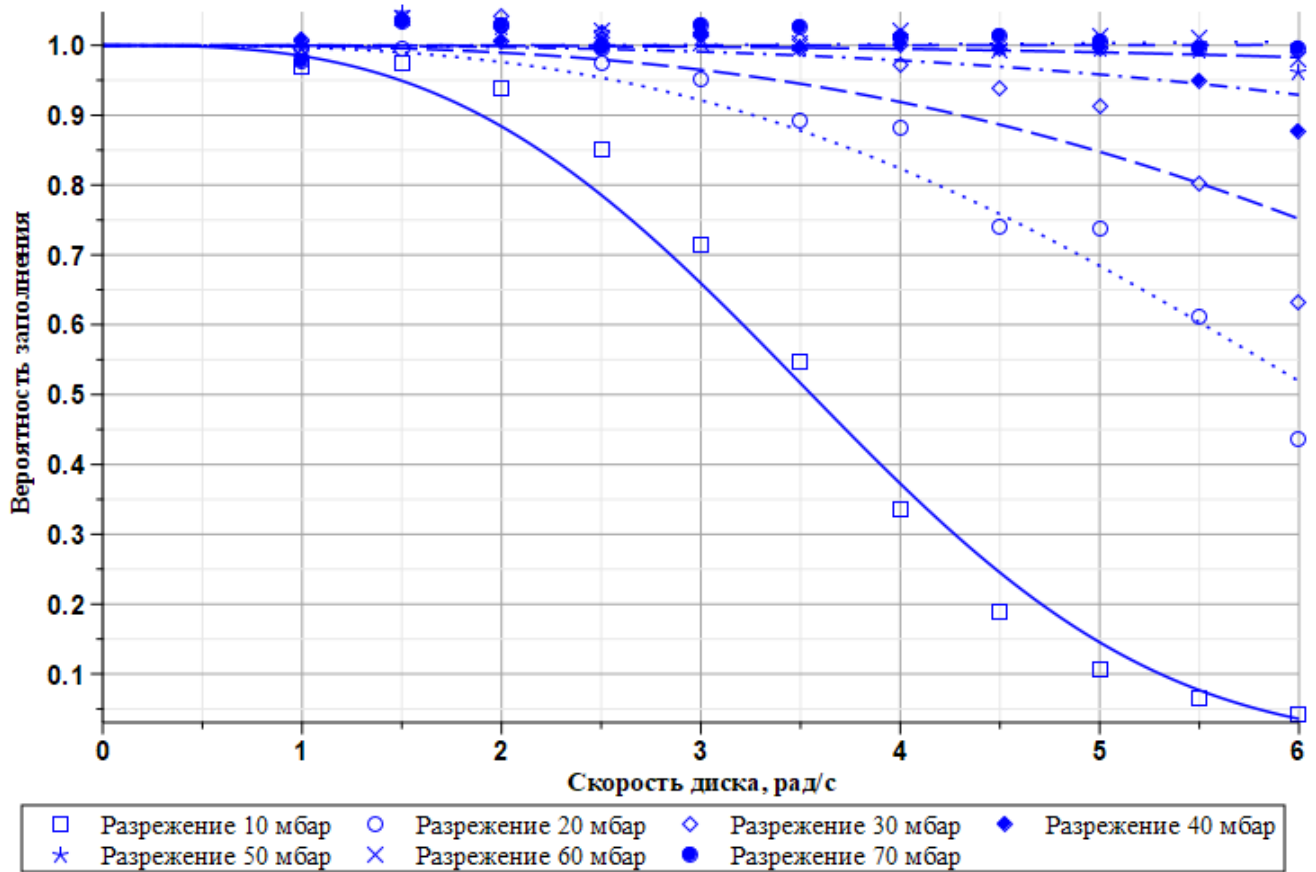


Рисунок 4.4 – Экспериментальная зависимость вероятности заполнения отверстий высевающего диска от скорости вращения диска и глубины разрежения

Поскольку вероятность заполнения отверстий близка к экспоненциальной, можем выдвинуть гипотезу, что вероятность заполнения отверстий ψ может быть описана дифференциальным уравнением колебаний для апериодического режима. Такой режим описывается экспоненциальной зависимостью

$$\psi = e^{-b_p x_n} (C_1 x_n + C_2), \quad (4.1)$$

где b_p – коэффициент, описывающий упругие свойства среды;

x_n – независимый аргумент;

C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования, согласно теории колебаний, определяются из выражений $C_1 = \psi_0 \cos \varphi$, $C_2 = \psi_0 \sin \varphi$, где $\psi_0 = 1$ – начальная амплитуда для вероятности, φ – начальная фаза колебаний вероятности. С учетом подстановки

вместо постоянных интегрирования их значений, выраженных через начальную амплитуду и начальную фазу, выражение 4.1 примет вид

$$\psi = \psi_0 e^{-b_p x_n} (x_n \cos \varphi + \sin \varphi). \quad (4.2)$$

Для получения эмпирической формулы воспользовались командой аппроксимации экспериментальных данных в математическую зависимость **Fit** в пакете статистических вычислений **Statistics** в среде прикладного программирования Maple 2021.

Для того, чтобы перейти от b_p в уравнении 4.2, сделали предположение, что он зависит от создаваемого разрежения. В результате чего получили зависимость, связывающую значение коэффициента b_p от разрежения в вакуумной камере, описываемую следующим уравнением:

$$b_p = \frac{0,1049}{\Delta H^{2,5}}, \quad (4.3)$$

где ΔH – глубина разрежения в вакуумной камере, Па.

С увеличением разрежения в вакуумной камере коэффициент b_p уменьшается по гиперболической зависимости. Для разрежения 10 мбар коэффициент равен 0,1049. С увеличением до 20 мбар снижается до 0,02. При глубине вакуума выше 50 мбар коэффициент становится меньше 0,002.

Затем в результате подбора показателей методом итерации определили, что значение x_n прямо пропорционально угловой скорости ω^3 , а также пропорционально количеству отверстий на диске $N_{от.}$. Поскольку на режим движения воздушного потока влияет разрежение и скорость вращения диска, которая с ростом значения может способствовать созданию завихрений [99], то объединим вышеназванные показатели в коэффициент, оценивающий упругость среды μ , который определим из выражения

$$\mu = \frac{\omega^2 N_{от.} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^2}, \quad (4.4)$$

где $N_{от.}$ – количество отверстий, шт.;

ω – частота вращения высевающего диска, рад/с.

Полученный коэффициент μ подставили в уравнение 4.2, и после замены произведения угловой скорости диска и разрежения $\omega\Delta H^{-0,5}$ на переменную s получили универсальное решение дифференциального уравнения вероятности заполнения отверстий высевающего диска ψ в следующем виде:

$$\psi = \psi_0 e^{-\mu s} (s \cos \varphi + \sin \varphi), \quad (4.5)$$

где ψ_0 – начальная амплитуда вероятности, $\psi_0 = 1$;

μ – коэффициент, описывающий упругость среды;

s – независимая переменная связи скорости диска и создаваемого разрежения,

$$s = \omega\Delta H^{-0,5}.$$

Поскольку вероятность заполнения стремится к 1 при приближении угловой скорости вращения диска к 0, то начальную фазу колебаний вероятности примем $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Полученное выражение является решением дифференциального уравнения колебаний вероятности, которое выглядит следующим образом:

$$\frac{d^2\psi}{ds^2} + 2\mu \frac{d\psi}{ds} + \mu^2\psi = 0. \quad (4.6)$$

Для того, чтобы подобрать рациональное значение скорости диска и разрежения, необходимо решить это дифференциальное уравнение. Его решением является формула 4.5, в которую необходимо подставить значения $s = \omega\Delta H^{-0,5}$ и коэффициента μ из формулы 4.4. Зависимость вероятности заполнения отверстий диска примет следующий вид:

$$\psi = \psi_0 e^{-\frac{\omega^3 N_{от.} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^{2,5}}} (\omega\Delta H^{-0,5} \cos \varphi + \sin \varphi). \quad (4.7)$$

Графическое представление дифференциального уравнения колебаний вероятности присасывания для диска 2,2×48 представлено на рисунке 4.5. Для диска 2,5×18 результат аппроксимации можем видеть на рисунке 4.6. На представленных рисунках, помимо графической зависимости, приведена универсальная формула расчета вероятности заполнения отверстий 4.7.

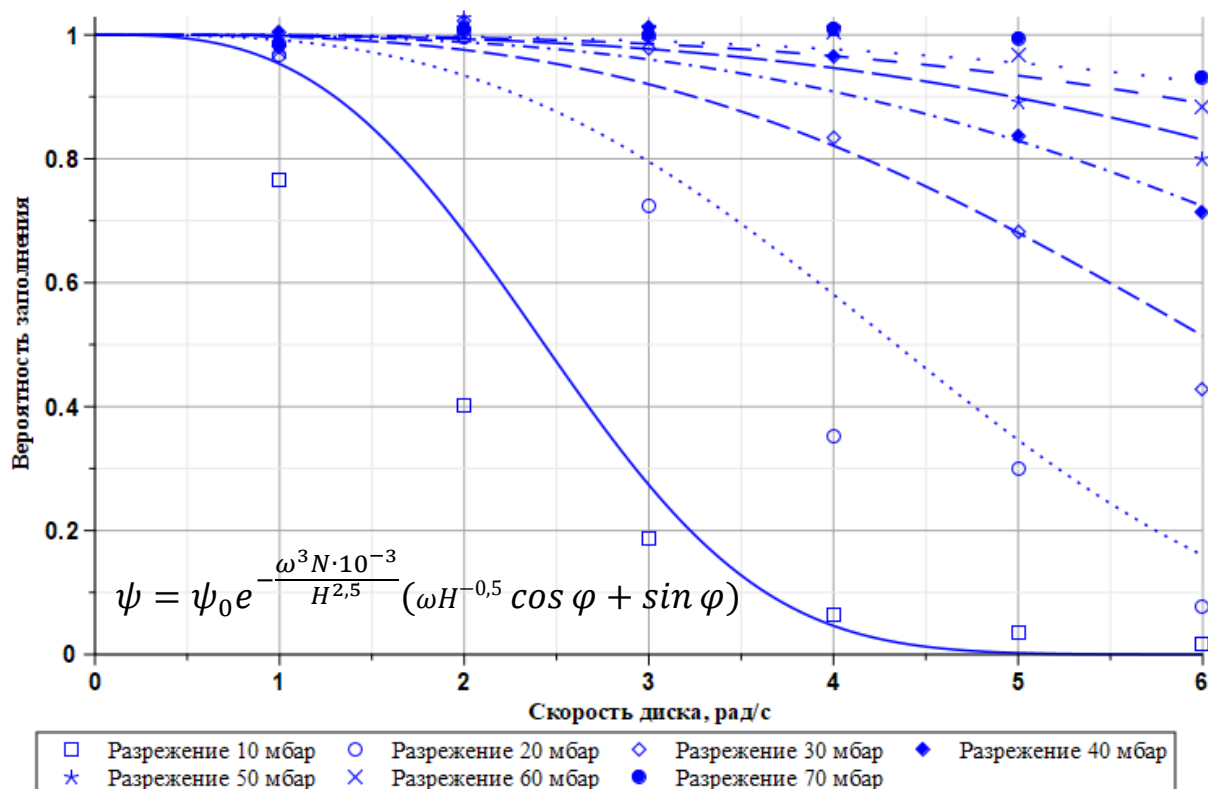


Рисунок 4.5 – Зависимость вероятности заполнения отверстий диска от скорости вращения и глубины разрежения для диска 2,2×48

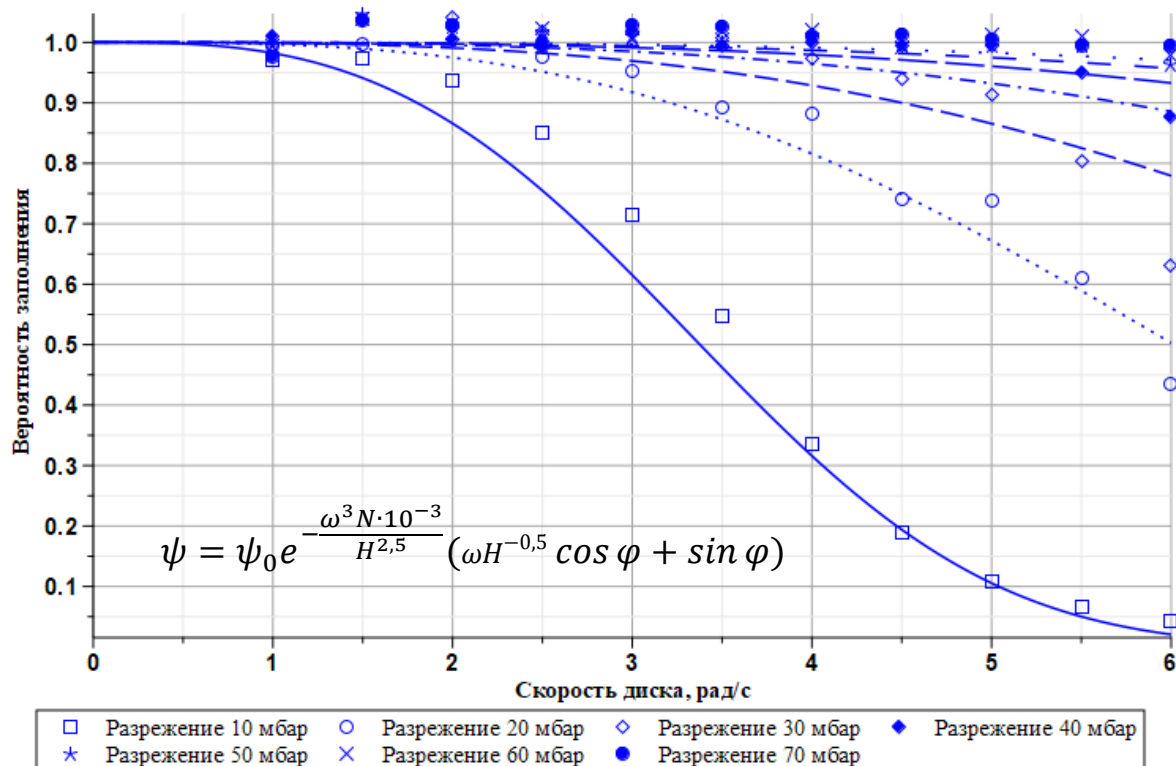


Рисунок 4.6 – Зависимость вероятности заполнения отверстий диска от скорости вращения и глубины разрежения для диска 2,5×18

Для нахождения рациональных соотношений значений угловой скорости диска ω и разрежения H в уравнении 4.7 значение вероятности принимается равным $\psi = 1$, для нахождения предельного соотношения показателей, при котором выполняются требования по заполнению отверстий диска, принимается $\psi = 0,97$.

Оценка достоверности нелинейной регрессии в современных прикладных программах математического моделирования затруднительна, поэтому мы привели нелинейную зависимость путем логарифмирования значений вероятности заполнения отверстий к линейной. Для проверки адекватности уравнения регрессии для каждого значения разрежения был использован критерий Фишера. Более подробно регрессионный анализ описан в приложении Е, на основании которого можно сделать вывод, что модель аппроксимации адекватно описывает вероятность заполнения отверстий диска дифференциальным волновым уравнением.

Для оценки процесса присасывания коэффициентом запаса присасывающей силы приведены экспериментальные данные изменения вероятности заполнения отверстий диска и этого коэффициента в зависимости от угловой скорости диска при различном разрежении на рисунке 4.7.

На рисунке 4.7 видим, что при низких значениях разрежения экспериментальные значения вероятности находятся и выше, и ниже графика коэффициента запаса присасывания, что говорит о низкой вероятности заполнения отверстий диска [157, 159]. При значении разрежения в 30 мбар кривая коэффициента запаса присасывания будет находиться выше экспериментальных значений и больше 1 при скоростях диска менее 3,5 рад/с. При значениях выше 40 мбар кривая коэффициента запаса присасывающей силы лежит выше экспериментальных значений вероятности заполнения, и даже при угловых скоростях высевающего диска до 5 рад/с значение коэффициента больше единицы. Для обеспечения скорости высевающего диска 5...6 рад/с разрежение должно составлять 50 мбар и выше, что будет соответствовать коэффициенту запаса больше 1.

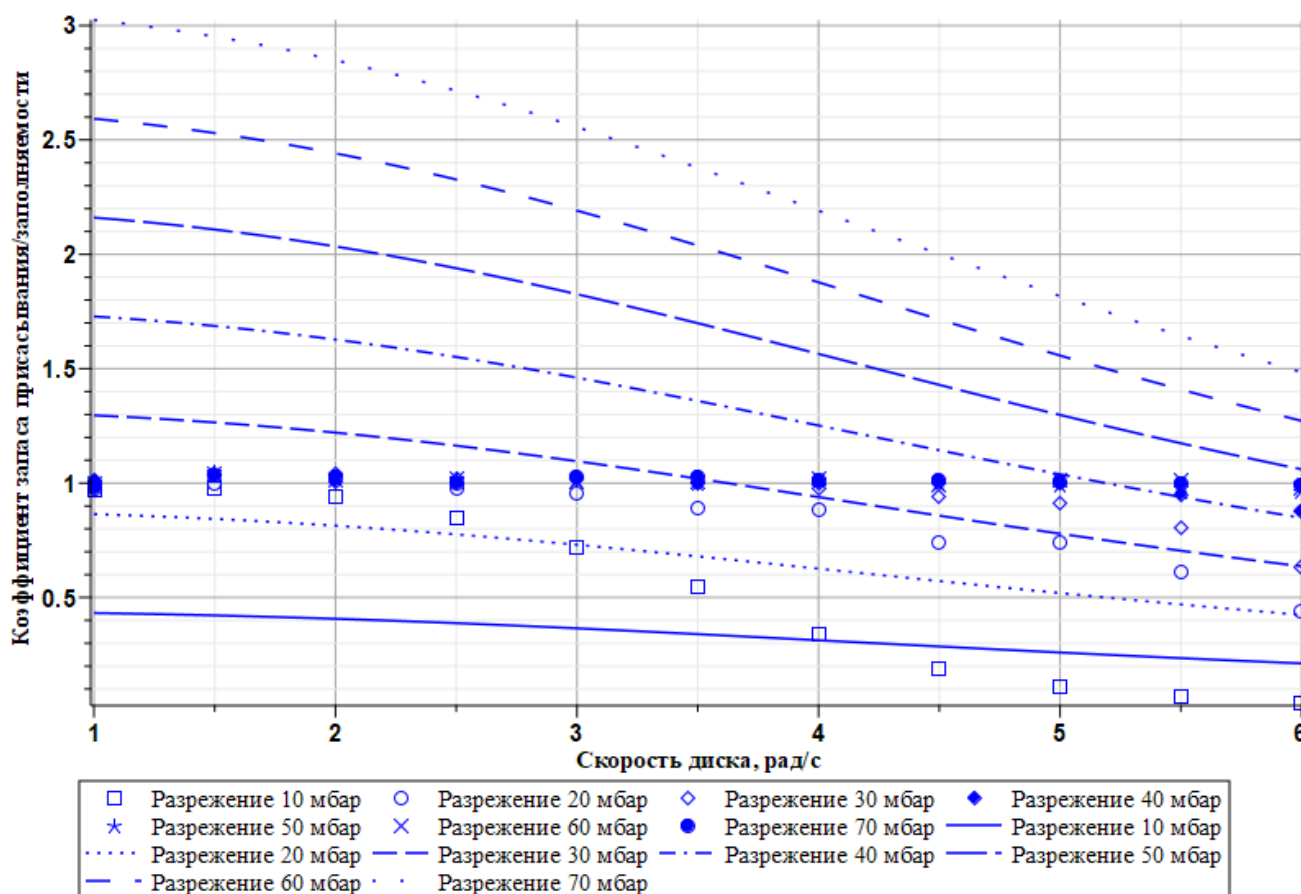


Рисунок 4.7 – Зависимости коэффициента запаса присасывания и вероятности заполнения отверстий диска от скорости вращения диска и разрежения

Таким образом, с увеличением коэффициента запаса присасывающей силы вероятность присасывания семян к отверстиям в меньшей степени будет зависеть от сил сопротивления, возникающих случайным образом, и, как следствие, – от угловой скорости высевающего диска.

Подробный расчет зависимостей коэффициентов запаса присасывающей силы, определенных по предложенной и общепринятой методиках, а также вероятности заполнения отверстий диска от частоты его вращения представлен в приложении Ж. Графические зависимости изменения отношения коэффициентов запаса присасывающей силы к вероятности заполнения отверстий от скорости диска приведены на рисунке 4.8.

Из рисунка 4.8 видим, что отношение коэффициента запаса присасывающей силы к вероятности заполнения по предложенной методике принимает значение, близкое к 1, свидетельствующее о том, что предложенный математический

аппарат может с определенной точностью предсказывать вероятность заполнения отверстий диска. Аналогичное отношение для общепринятой методики принимает значения от 0,8 до 4,5. Сравнительно большое отношение равнодействующей сил сопротивления по предложенной методике к аналогичной силе, определяемой по общепринятой методике, при низких скоростях связано с тем, что в последней не учитываются силы лобового сопротивления.

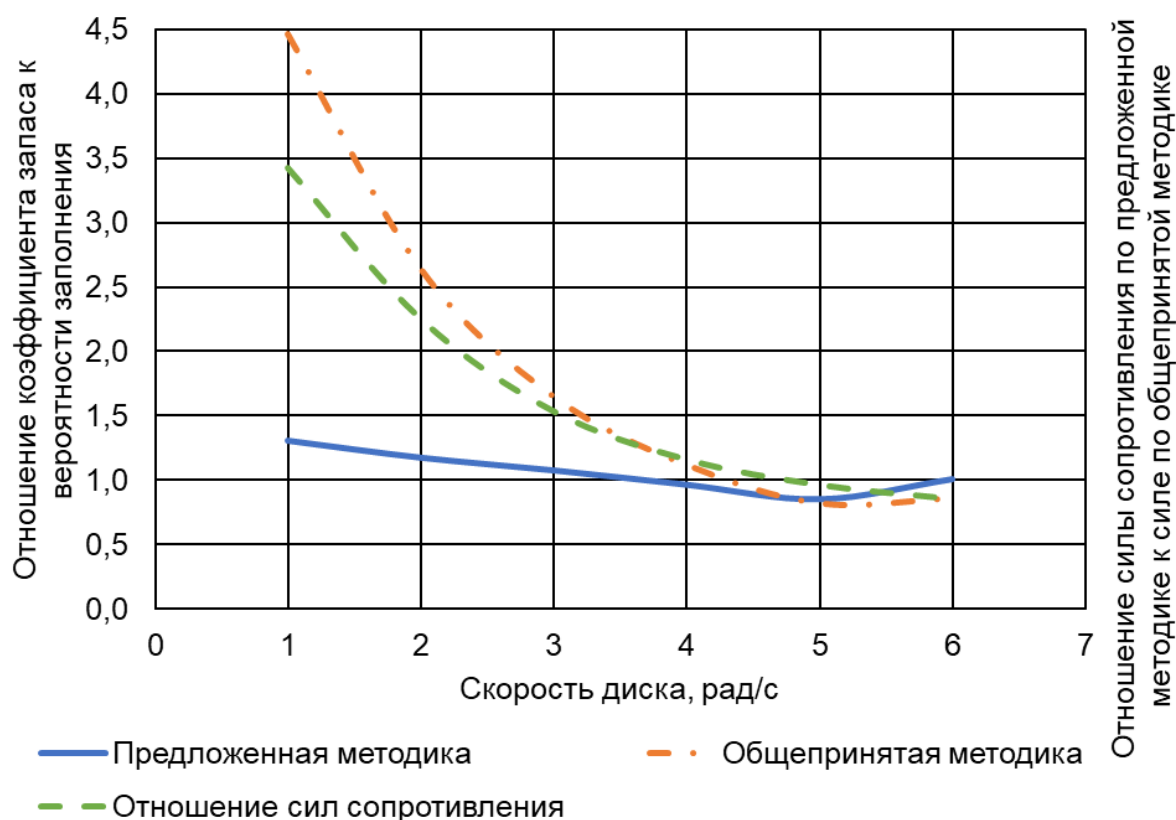


Рисунок 4.8 – Сравнительный анализ методик расчета

Следовательно, предложенный математический аппарат может адекватно описывать процесс присасывания дражированных семян сахарной свеклы и с определенной точностью предсказывать вероятность заполнения отверстий диска, устанавливаемую экспериментальной зависимостью.

Экспериментальное значение вероятности заполнения отверстий диска в зависимости от скорости вращения диска и разрежения удовлетворительно описывается уравнением вида $\frac{d^2\psi}{ds^2} + 2\mu \frac{d\psi}{ds} + \mu^2\psi = 0$, где $\mu = \frac{\omega^2 N_{от.} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^2}$ и $s = \omega \Delta H^{-0,5}$. При использовании дражированных семян сахарной свеклы

возможна установка разрежения в 30 мбар в случае, если угловая скорость диска не будет превышать 4 рад/с. При увеличении скорости до 5 рад/с необходимо увеличение разрежения до 40 мбар. Если 6 рад/с – 50 мбар. В таком случае коэффициент запаса присасывания при низких скоростях будет составлять $2,0 \pm 0,5$, что соответствует значению разрежения 50 ± 10 мбар.

4.4 Экспериментальные исследования по разделению семян сахарной свеклы делителем потока к высеваящему аппарату

При проведении эксперимента режим работы высеваящего аппарата устанавливали следующий: угловая скорость диска 1 рад/с, разрежение 30 мбар. Давление в пневмосистеме делителя устанавливали 0,05; 0,10; 0,15; 0,17 МПа с помощью редукционного клапана. Для исключения возможных случаев, связанных с нестабильной работой управляющего механизма и клапана подачи воздуха в делителе, воздействию воздушного потока подвергались все семена, подаваемые отверстиями высеваящего диска. Вероятность смещения оценивалась как отношение количества смещенных семян к общему количеству, поданному в делитель. Результаты исследования представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты эксперимента по исследованию разделения семян

Давление, 10^5 Па	Вероятность смещения семян воздушным потоком			
	Повторности			Среднее
	1	2	3	
0,5	0,84	0,94	0,86	0,88
1,0	0,96	0,90	0,96	0,94
1,5	0,96	1,00	1,00	0,99
1,7	0,98	0,97	0,99	0,98

Из данных, приведенных в таблице 4.8, видно, что более полное смещение семян воздушным потоком происходит при давлении 0,1...0,15 МПа. При давлении 0,15...0,17 МПа смещается 98...99% подаваемых семян. По результатам теоретических исследований давление в пневмосистеме должно составлять

0,12...0,14 МПа. Учитывая небольшую разницу между теоретическими и экспериментальными значениями, рациональным режимом можно считать давление 0,15...0,17 МПа.

Полученное рациональное значение давления было использовано в дальнейших исследованиях при оценке качества разделения семян в зависимости от частоты вращения высевающего диска. Обработанные результаты эксперимента представлены в таблице 4.9 и отображены на рисунках 4.9-4.10.

Таблица 4.9 – Результаты эксперимента по изучению качества разделения семян делителем в зависимости от частоты вращения высевающего диска

Частота вращения диска, рад/с	Относительная масса семян		Качество разделения, %	Вероятность заполнения, %
	в левом сошнике	в правом сошнике		
1,0	0,500	0,500	100,0%	100,0%
1,5	0,506	0,494	98,7%	99,7%
2,0	0,509	0,491	98,0%	99,4%
2,5	0,516	0,484	96,8%	98,2%

Анализ результатов показывает, что закономерность снижения качества разделения при увеличении окружной скорости диска близка к линейной, в границах выполнения эксперимента 0,5...2,5 рад/с. Также заметим, что уравнения регрессии для относительных масс в левом и правом рядке описываются линейной зависимостью, в которых тангенс угла наклона прямой для относительной массы в правом рядке равен – 0,007, а в левом составляет 0,007. На качество разделения семян делителем оказывает влияние и вероятность заполнения отверстий диска, которая должна быть близка к 100%. При угловой скорости диска до 1,7 рад/с вероятность заполнения отверстий диска выше 99%, а качество разделения выше 97,5%. Качество разделения меньше 97% наблюдается при повышении угловой скорости диска выше 2,2 рад/с, при этом вероятность заполнения остается выше 98%.

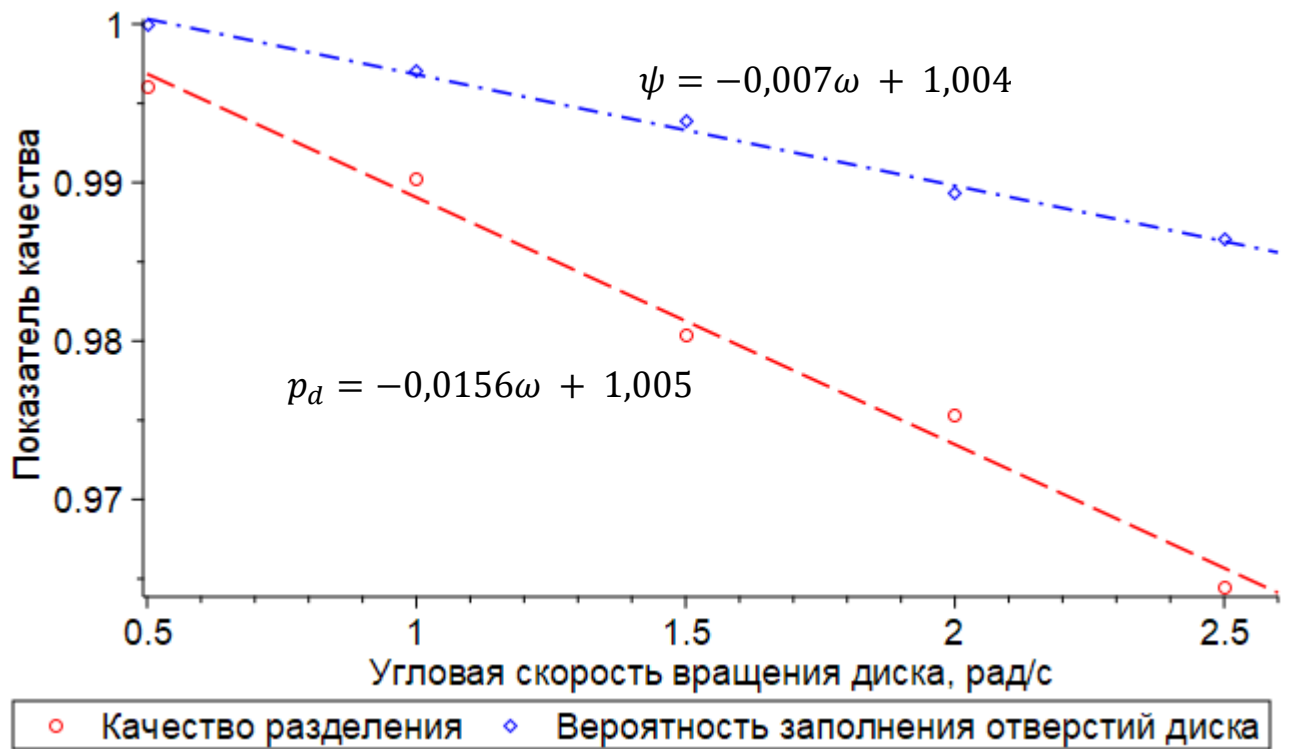


Рисунок 4.9 – Зависимость показателей качества разделения семян от частоты вращения высевающего диска

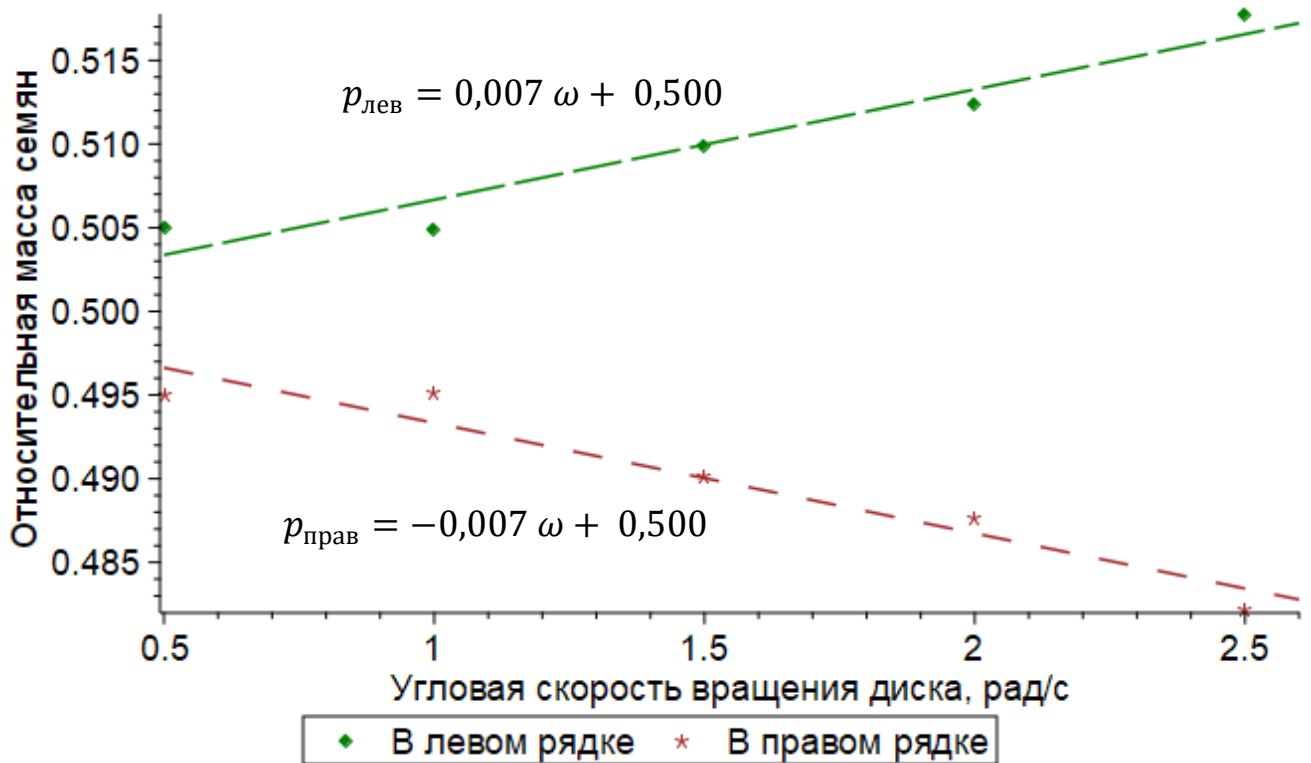


Рисунок 4.10 – Зависимости относительной массы семян в левом и правом рядках от частоты вращения диска

Распределение семян между строчками, образуемое делителем с одного высевающего аппарата, приведено на рисунке 4.10. Из приведенных графических зависимостей видно, что несрабатывание механизма разделения ведет к уменьшению показателя относительной массы семян для правой строчки и соответственно к увеличению аналогичного показателя для левой строчки.

После видеохронометража была сформирована виртуальная лента распределения семян, сходящих с делителя (рисунок 4.11).

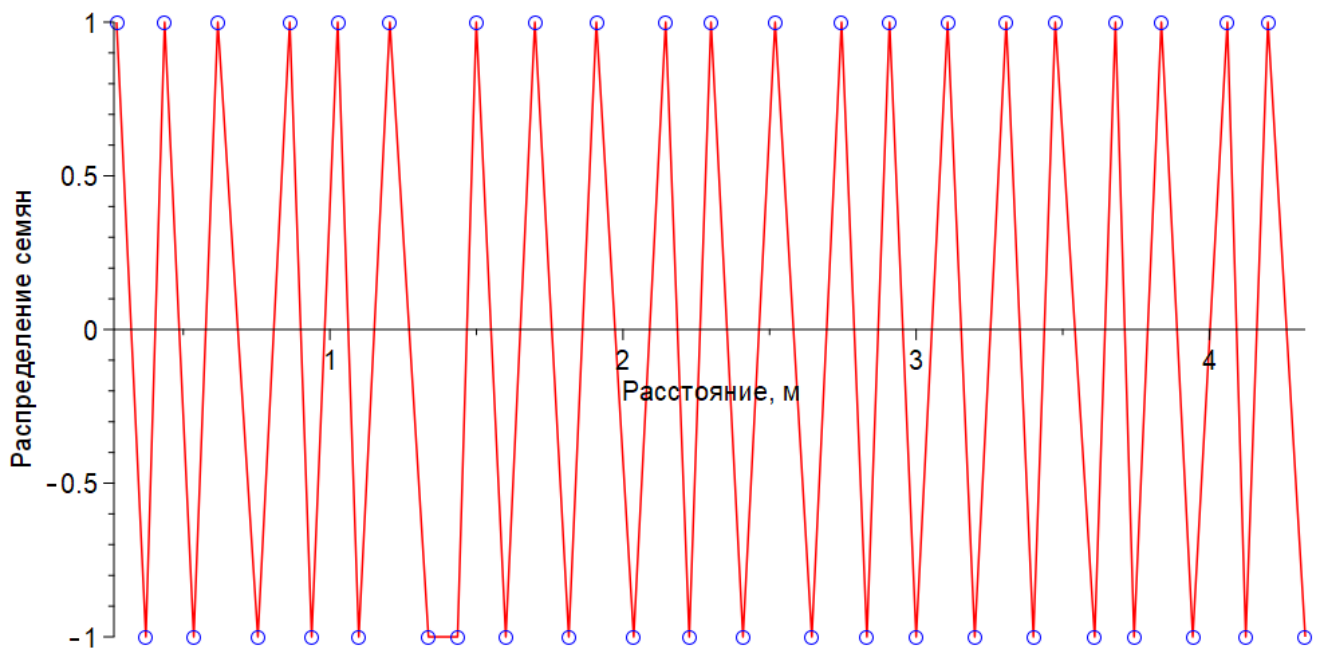


Рисунок 4.11 – Распределение семян в две строчки одним высевающим аппаратом

На ее графической интерпретации видим, что семена, смещаемые пневмосистемой, условно представлены выше оси абсцисс, не смещаемые – ниже. Ломанной линией на графике обозначена очередность распределения семян в строчках в зависимости от перемещения высевающего аппарата с делителем. Расстояния между семенами выше и ниже оси показывают разброс между интервалами их размещения в строчках. Наличие горизонтальной линии, соединяющей два соседних семени без пересечения осевой линии, говорит о том, что семена не были перемещены делителем или подано два семени одним отверстием. Наличие горизонтальной линии, соединяющей два соседних семени в одной строчке, одновременно с отсутствием семени напротив на другой стороне

оси и удлиненным интервалом между соседними семенами является признаком прохождения отверстия диска без семени.

Полученное размещение семян на виртуальной ленте было обработано статистическими методами, в результате были определены для каждой строчки математическое ожидание, характеризующее средний интервал размещения семян в борозде, дисперсия, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации. Распределение интервалов размещения семян, сходящих с делителя, в левой и правой строчке приведено на рисунке 4.12. На рисунке, наряду с экспериментальными значениями, приведены кривые плотности распределения Гаусса, построенные с учетом статистических характеристик, приведенных в таблице 4.10.

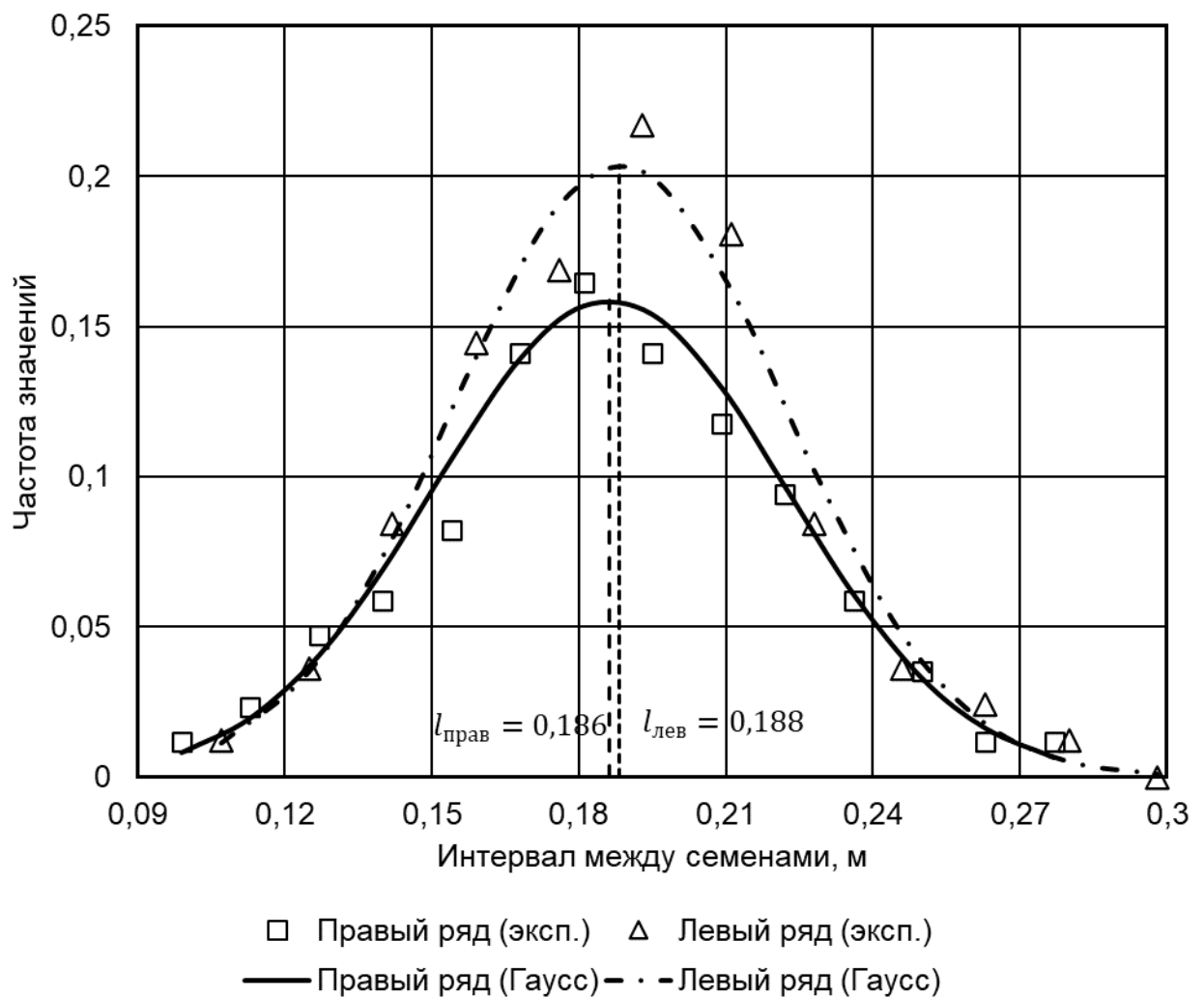


Рисунок 4.12 – Распределение интервалов между семенами в строчках

Таблица 4.10 – Статистические характеристики распределения интервалов в рядах, сформированных делителем

Показатели	Математическое ожидание, $\Delta l_{\text{ср}}$	Среднее квадратичное отклонение, σ_l	Коэффициент вариации, ν_l
Левый ряд	0,1883	0,033	0,1794
Правый ряд	0,1863	0,036	0,1929

При анализе результатов обработки экспериментальных данных определили, что средний интервал размещения семян в левой и правой строчках составляет в среднем 18,5 см. Это свидетельствует о том, что рекомендуемый интервал от 13 до 19 см соблюдается, норма высева в таком случае составляет 5...6 шт. семян на метре в строчке ленты. Коэффициент вариации размещения семян для левого и правого ряда составляет меньше 0,33 (33%). Это говорит о том, что представленное распределение близко к распределению Гаусса. Доля интервалов между семенами меньше 0,13 и больше 0,26 м, возникающих из-за отсутствия семени либо при присасывании больше одного семени к отверстию, составляет около 3%, что при вероятности заполнения в 97% вполне приемлемо.

Следовательно, разработанный делитель потока семян к высевающему аппарату секции сеялки точного высева, предназначенный для посева семян сахарной свеклы по схеме 45+15 см, не требует внесения изменений в конструкцию высевающего аппарата [106] и выполняет свою задачу удовлетворительно, а значит, он может быть использован в семеноводческих хозяйствах, специализирующихся на производстве штеклингов. Повышение точности работы устройства возможно за счет совершенствования конструкции инжекторной пневмосистемы, в частности формы и размеров воздушной камеры. Также следует рассмотреть возможность замены избыточного давления на разрежение.

4.5 Выводы

1. В результате экспериментальных исследований определили физико-механические свойства фракции: средний диаметр семени составил 4,42 мм, масса

1000 семян – 28,6 г, плотность – 888 кг/м³, объемная масса – 542 кг/м³, угол внутреннего трения – 22°. Среднее значение скорости витания для всей фракции семян сахарной свеклы составляет $\overline{v_{\text{сем}}} = 9,74$ м/с, коэффициент парусности – $k_{\text{п}} = 0,103$. Для размерного класса $3,1 \leq d_i < 4,0$ мм скорость витания принимает минимальное значение (9,43 м/с), для класса $4,0 \leq d_i < 4,5$ мм – максимальное (9,99 м/с). Незначительное различие скоростей витания внутри фракции (0,56 м/с) не оказало влияния на процесс разделения семян нагнетательным воздушным потоком.

2. Коэффициент присасывания, показывающий отношение присасывающей силы, действующей на семя, к создаваемой, для дражированных семян, используемых в исследованиях, составил 0,92. С учетом его изменения за счет состава драже, формы и состояния поверхности при хранении и транспортировке в расчетах может принимать значение от 0,85 до 0,95.

3. Изменение вероятности заполнения отверстий высевающего диска описывается уравнением $\frac{d^2\psi}{ds^2} + 2\mu \frac{d\psi}{ds} + \mu^2\psi = 0$, где $\mu = \frac{\omega^2 N_{\text{от.}} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^2}$ и $s = \omega \Delta H^{-0,5}$. Выполнение агротехнических требований (вероятность заполнения >97%) для дражированных семян сахарной свеклы при установке разрежения в 30 мбар обеспечивается при угловой скорости диска до 4 рад/с. С увеличением скорости до 5 рад/с необходимо устанавливать разрежение 40 мбар, до 6 рад/с – 50 мбар. В этом случае коэффициент запаса присасывающей силы при меньших скоростях будет составлять $2,0 \pm 0,5$.

4. Качественная работа делителя обеспечивается нагнетательным воздушным потоком в воздушной камере диаметром 0,01 м при давлении 0,15...0,17 МПа. Разработанный делитель обеспечивает разделение семян на две строчки со средним интервалом размещения в левой и правой строчках соответственно 18,8 и 18,6 см, при расчетном интервале 18,2 см. Коэффициент вариации размещения семян для левого и правого ряда составляет 17,9 и 19,2 %. Это подтверждает наличие в ленте нормального распределения.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЯ ПОТОКА СЕМЯН НА ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ

Разработанный делитель потока позволяет осуществлять ленточный посев дражированных семян сахарной свеклы в две строчки по схеме 45+15 см одним высевальным аппаратом секции сеялки точного высева ТС-М-4150А. Устройство было апробировано в лабораторных условиях кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ВГАУ.

Целью экономического обоснования проектируемых мероприятий является определение экономической эффективности установки делителя на пневматический высевальный аппарат. Переоборудование высевального аппарата даст нам экономический эффект за счет повышения урожайности семян сахарной свеклы с маточников, полученных в первый год вегетации сахарной свеклы. Установлено, что выход семян с маточников нелинейно коррелирует с массой корнеплодов. Поэтому нам необходимо вырастить штеклинги (корнеплоды массой 100...300 г), которые согласно исследованиям [53] дают больший выход семян, чем маточники большей массы.

Критерием оценки экономического эффекта в предложенном проекте является дополнительный чистый доход. Для экономической оценки выбрали следующие показатели сравнительной эффективности:

- коэффициент эффективности инвестиционных вложений;
- срок окупаемости инвестиционных вложений;
- цена спроса на совокупные ресурсы для реализации проекта.

5.1 Затраты на изготовление делителя потока семян на высевальный аппарат сеялки точного высева ТС-М-4150А

Для определения экономической эффективности применения разработанного делителя необходимо рассчитать сумму всех возможных затрат

при изготовлении предлагаемой конструкции. При расчете стоимости капитальных вложений (стоимости конструкции) следует учитывать затраты на используемые материалы и детали, оплату труда работников для изготовления проектной разработки, накладные расходы [45].

Полная стоимость переоборудования сеялки точного высева ТС-М-4150А определяется по формуле:

$$C_{\text{пс}} = Z_{\text{р}} + C_{\text{пм}} + C_{\text{нр}}, \quad (5.1)$$

где $Z_{\text{р}}$ – затраты на оплату труда работников, выполняющих работы по изготовлению комплектующих делителя и переоборудованию сеялки, руб.;

$C_{\text{пм}}$ – стоимость покупных материалов и деталей, руб.;

$C_{\text{нр}}$ – накладные расходы, составляющие 14,5% от прямых затрат, руб.

Смета расходов на переоборудование сеялки ТС-М-4150А представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сводная таблица расчета стоимости капвложений на изготовление конструкции

Показатели	Значения
Расходы на сырье, материалы и комплектующие детали, руб.	247540,0
Оплата труда работников, руб.	6239,0
ИТОГО прямых затрат на изготовление и монтаж, руб.	253779,0
Накладные расходы, руб.	36798,0
ВСЕГО капитальных затрат (вложений), руб.	290577,0

По нашим расчетам, затраты на переоборудование сеялки точного высева для высева по схеме размещения междурядий 45+15 см составят 290 577 руб. Стоимость базового варианта сеялки – 950 000 руб., а стоимость сеялки после переоборудования составит 1 240 577 руб.

5.2 Расчет экономической эффективности использования предлагаемого делителя потока семян

Экономическая эффективность определялась в зависимости от сравнения параметров серийной сеялки с переоборудованным экземпляром. В процессе оценки целесообразности внедрения предлагаемого устройства производилось определение затрат на выполнение посевных работ по базовому и проектному вариантам, себестоимости валовой продукции, дополнительного чистого дохода, годового инвестиционного эффекта, эффекта за весь срок эксплуатации проекта, рассчитывались показатели сравнительной эффективности проекта. Данные, необходимые для расчета, представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Площадь посева, га	350	350
Агротехнический срок сева, дней	5	5
Продолжительность работ в смену, ч.	7	7
Коэффициент сменности	1,5	1,5
Норма высева семян, кг/га	5,0	5,0
Урожайность семян, ц/га	78	82,8
Удельный вес затрат на уборку семян, %	30	30
Себестоимость продукции, руб./ц	850	-
Цена реализации семян сахарной свеклы, руб./ц	1000	1000
Силовые машины		
Марка силовой машины	МТЗ-82.1	МТЗ-82.1
Количество силовых машин	1	1
Цена машины, руб.	2270000	2270000
Норма амортизационных отчислений, %	11,1	11,1
Норма отчислений на текущий ремонт, %	9,9	9,9
Годовая загрузка в часах	1350	1350

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Рабочие машины		
Марка машины	ТСМ-4150А	ТСМ-4150А(М)
Количество машин	1	1
Цена оборудования, руб.	950000	1240577
Норма амортизационных отчислений, %	12,5	12,5
Норма отчислений на текущий ремонт, %	7	7
Годовая загрузка в часах	110	110
Норма выработки, га/ч	3,3	2,9
Норма расхода топлива, кг/га	3,1	3,4
Комплексная цена топлива, руб./кг	62,73	62,73

В соответствии с агротехническими требованиями по срокам посевных работ требуется использование двух агрегатов по базовому и проектному вариантам. В обоих вариантах сеялка агрегируется с трактором МТЗ-82.1. Каждый агрегат по базовому и проектному варианту обслуживается 1 трактористом-машинистом и работником ручного труда (сеяльщиком).

Снижение выработки агрегата по проекту в связи с низкой технологически допустимой скоростью по сравнению с базовым вариантом на 12,1% увеличивает затраты труда при проведении посевных работ на 29,3 чел.-ч. В результате дополнительные затраты при проведении посевных работ по проекту на примере семеноводческого хозяйства ООО «Дубовицкое» составили около 120 тыс. руб., на 1 га посева – 338,6 руб. [86].

Производительность посевного агрегата за единицу времени W_q (га/ч) найдем по формуле

$$W_q = 0,001 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau_{вс}, \quad (5.2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата, м;

v_p – скорость выполнения операции, км/ч;

$\tau_{вс}$ – коэффициент использования времени смены.

Количество требуемых агрегатов N_a определим из соотношения

$$N_a = \frac{S}{T_a \cdot t_{см} \cdot \tau_{см} \cdot W_{ч}}, \quad (5.3)$$

где S – площадь посева, га.

T_a – агротехнический срок посева семян, дней;

$t_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$\tau_{см}$ – коэффициент сменности.

Валовой сбор V_c определяем следующим образом:

$$V_c = Y \cdot S, \quad (5.4)$$

где Y – урожайность семян, ц/га.

Себестоимость семян по проекту C_c (руб./ц) определим исходя из

$$C_c = \frac{C_{п}}{V_c}, \quad (5.5)$$

где $C_{п}$ – себестоимость валового сбора, руб.

Себестоимость валового сбора $C_{вс}$ определим по формуле

$$C_{вс} = C_c \cdot V_c. \quad (5.6)$$

В свою очередь, себестоимость валового сбора состоит из следующих затрат:

$$C_{вс} = C_t + Z_y + Z_{проч}, \quad (5.7)$$

где C_t – затраты на посевных работах, руб.;

Z_y – затраты на уборку, руб.;

$Z_{проч}$ – прочие затраты (все остальные затраты), руб.

Затраты на посевных работах определим по формуле

$$C_t = Z_{о.т.} + Z_{тсм} + Z_a + Z_{тор} + C_{нр}, \quad (5.8)$$

где $Z_{о.т.}$ – затраты на оплату труда работников, руб.;

$Z_{тсм}$ – затраты на топливо-смазочные материалы при посеве сеялкой, руб.;

Z_a – амортизационные отчисления при посеве серийной или экспериментальной сеялкой, руб.;

$Z_{\text{тор}}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт сеялки, руб.;

$C_{\text{нр}}$ – накладные расходы, руб.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле

$$Z_a = \frac{C_{\text{перв.}} \cdot N_a \cdot t_p}{100 \cdot T_r}, \quad (5.9)$$

где $C_{\text{перв.}}$ – закупочная стоимость агрегата, руб.;

N_a – норма амортизационных отчислений, %;

T_r – годовая загрузка, ч;

t_p – время работ на посеве, ч.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт

$$Z_{\text{тор}} = \frac{C_{\text{перв.}} \cdot N_{\text{тор}} \cdot t_p}{100 \cdot T_r}, \quad (5.10)$$

где $N_{\text{тор}}$ – норма затрат на техническое обслуживание и ремонт, %.

Затраты на топливо-смазочные материалы определим из выражения

$$Z_{\text{тсм}} = Q \cdot C_{\text{тсм}} \cdot A, \quad (5.11)$$

где Q – расход топлива на единицу работы, кг/га;

$C_{\text{тсм}}$ – комплексная цена топливо-смазочных материалов, руб.;

A – объем выполняемых работ, га.

Чистый доход ЧД рассчитывается следующим образом:

$$\text{ЧД} = C_{\text{твп}} - C_{\text{вс}}, \quad (5.12)$$

где $C_{\text{твп}}$ – стоимость валовой продукции, определяемая по формуле

$$C_{\text{твп}} = B_c \cdot C_p, \quad (5.13)$$

где C_p – цена реализации продукции, руб.

Годовой инвестиционный эффект D_p рассчитаем по формуле

$$D_p = \Delta \text{ЧД} + \Delta \text{Ам}, \quad (5.14)$$

где $\Delta \text{ЧД}$ – прирост чистого дохода, определяемый разностью между чистым доходом по проекту и чистым доходом по базовому варианту, руб.;

$\Delta\text{Ам}$ – прирост амортизации капвложений, руб.

Годовой экономический эффект K_t за срок эксплуатации проекта рассчитаем по формуле

$$K_t = \frac{D_t \cdot [(1 + NS)^T - 1]}{NS}, \quad (5.15)$$

где NS – ставка банковского процента по кредиту, %;

T – срок эксплуатации проекта, лет.

Результаты расчета инвестиционного эффекта от использования делителя потока семян на два с одного высевающего аппарата секции сеялки точного высева представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Инвестиционный эффект от модернизации сеялки ТС-М-4150А

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Площадь, га	350	350
Урожайность семян, ц/га	78	83
Валовой сбор семян, ц	27300	28980
Себестоимость продукции, руб./ц	850,00	819,60
Себестоимость валового сбора, руб.	23205000,0	23751893,6
в т.ч. затраты на посев, руб.	366252,7	484746,3
затраты на уборку, руб.	6961500,0	7389900,0
прочие затраты, руб.	15877247,3	15877247,3
Цена продукции, руб./ц	1000	1000
Стоимость валового сбора, руб.	27300000	28980000
Чистый доход, руб.	4095000,0	5228106,4
Уровень рентабельности по чистому доходу, %	17,6	22,0
Дополнительный чистый доход, руб.		1133106,4
Амортизация дополнительных капитальных вложений, руб.		58375,0
Инвестиционный эффект за год, руб.		1191481,4

Коэффициент эффективности вложений, он же модифицируемая норма внутренней доходности $MIRR$ [112], рассчитывается по формуле

$$MIRR = \sqrt[t]{\frac{K_t}{K_0 + C_0}} - 1, \quad (5.16)$$

где K_0 – размер начальных капитальных вложений (стоимость конструкции, установленной на две сеялки), руб. (таблица 5.1);

C_0 – начальные текущие вложения, определяемые как разница между себестоимостью валовой продукции по проекту и по базовому варианту, руб.

Срок окупаемости проекта $T_{ок}$, или дисконтируемый срок окупаемости, определим из уравнения

$$T_{ок} = - \frac{\ln \left(1 - (K_0 + C_0) \cdot \frac{NS}{K_t} \right)}{\ln(1 + NS)}. \quad (5.17)$$

Технико-экономические показатели по установке на сеялку делителя потока семян на два с одной высевальной секции представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Технико-экономические показатели модернизации сеялки точного высева ТС-М-4150А при ставке банковского кредита 12% годовых

Показатели	Варианты	
	Базовый	По проекту
Срок эксплуатации проекта (Т), лет	8	8
Площадь посева, га	350	350
Количество агрегатов в расчетах	2	2
Норма выработки, га/ч	3,3	2,9
Инвестиционные вложения, всего (Sp), тыс. руб.		1128,0
в т.ч. капитальные вложения (K_0), тыс. руб.		581,1
текущие вложения (T_0), тыс. руб.		546,9
Урожайность семян, ц/га	78	82,8
Себестоимость продукции, руб./ц	850,00	819,60
Уровень рентабельности по чистому доходу, %	17,6	22,0
Годовой инвестиционный эффект, тыс. руб.		1191,5
Экономический эффект за срок реализации проекта (E_T), тыс. руб.		14654,9
Цена спроса на инвестиционные вложения (D_p), тыс. руб.		5918,9
Коэффициент эффективности вложений (E_T)		0,38
Срок окупаемости ($T_{ок}$), год		2,2

Посев дражированных семян сахарной свеклы со схемой размещения междурядий 45+15 см с установкой делителя на 8 высевающих аппаратов сеялки точного высева ТС-М-4150А позволит увеличить урожайность семян на второй год вегетации корнеплодов на 6%. Это даст годовой экономический эффект в размере 1,19 млн руб. на второй год вегетации сахарной свеклы, за весь срок эксплуатации экономический эффект составит 14,65 млн руб. При этом стоимость переоборудования одного аппарата составляет 36 350 руб., всей сеялки – 290 600 руб. Срок окупаемости составит 2,2 года. Модифицируемая внутренняя норма доходности в 38% годовых дает нам понятие о том, что при ставке банковского процента или инвестиции в государственные облигации под 10% годовых мы получаем премию за риск в 28% за год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При благоприятных погодных условиях и интервале между семенами в рядке в первый год посева от 13 до 19 см использование схемы междурядий 45+15 см по сравнению с междурядьем 45 см приводит к увеличению средней урожайности семян на второй год вегетации на 30 ц/га.

2. В результате моделирования процесса захвата дражированных семян сахарной свеклы с учетом сил лобового сопротивления и инерции семени в момент присасывания определено необходимое разрежение в высевальном аппарате 30 мбар при угловой скорости диска не более 4 рад/с. Повышение скорости до 5 рад/с требует увеличения разрежения до 40 мбар, а до 6 рад/с – 50 мбар; коэффициент запаса присасывающей силы, оценивающий способность присасывающей силы противостоять неустойчивости сил сопротивления и определяемый как отношение присасывающей силы к результирующей силе сопротивления, должен составлять $2,0 \pm 0,5$.

3. Делитель семян на два потока с одного высевального аппарата необходимо оборудовать сборочным лотком подачи семян в воздушную камеру с формой, описываемой уравнением $f(x) = 100x^2 - 6x + 0,09$, длиной 0,035 м, высотой 0,1 м, с его смещением в продольной вертикальной плоскости на 0,005 м от места выхода семян. Выходные отводы делителя с наклоном относительно линии горизонта в поперечном направлении 45° устанавливаются со смещением относительно центра высевального аппарата на 0,075 м; при этом совокупное время движения семян в делителе с момента отрыва от диска до выхода из отводов левого и правого делителя составляет соответственно 0,404 и 0,398 с.

4. Качественная работа делителя обеспечивается нагнетательным воздушным потоком в воздушной камере диаметром 0,01 м при давлении 0,15...0,17 МПа, при этом угловая скорость диска не должна превышать 2 рад/с. Разработанный делитель обеспечивает разделение семян на две строчки со средним интервалом размещения в левой и правой строчках соответственно 18,8 и 18,6 см, при расчетном интервале 18,2 см. Коэффициент вариации размещения семян для левого и правого ряда составляет 17,9 и 19,2 %. Это подтверждает наличие в ленте нормального распределения.

5. Экспериментально определен коэффициент присасывания, показывающий степень использования присасывающей силы, который для дражированных семян сахарной свеклы может изменяться в пределах от 0,85 до 0,95. Для оценки вероятности заполнения отверстий высевающего диска в зависимости от угловой скорости и разрежения получена экспериментальная регрессионная зависимость: $\psi = \psi_0 e^{-\frac{\omega^3 N_{от.} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^{2,5}}} (\omega \Delta H^{-0,5} \cos \varphi + \sin \varphi)$.

6. При стоимости переоборудования одного высевающего аппарата для размещения семян со схемой 45+15 см 36 350 руб., урожайность семян на второй год вегетации повысится на 6 % по сравнению с посевом с междурядьем 45 см. Посев дражированных семян сахарной свеклы с установкой делителя на 8 высевающих аппаратов сеялки точного высева ТС-М-4150А позволит получить годовой экономический эффект на второй год вегетации сахарной свеклы в размере 1,19 млн руб., при стоимости переоборудования всей сеялки 290 600 руб. За весь срок эксплуатации экономический эффект составит 14,65 млн руб. при сроке окупаемости 2,2 года.

7. Предприятиям, выпускающим посевную технику, можно рекомендовать изготовление разработанного делителя (патент РФ № 212300) в качестве приспособления на пневматические высевающие аппараты сеялок точного высева для реализации схемы междурядий 45+15 см, что не требует существенного изменения конструкции базовых узлов сеялки. Разделение семян на две строчки с междурядьем 15 см производится с помощью нагнетательного воздушного потока, создаваемого пневмосистемой делителя при давлении 0,15...0,17 МПа, при этом угловая скорость диска не должна превышать 2 рад/с.

8. В качестве перспективы дальнейшей разработки темы стоит отметить следующие пункты: повышение точности работы делителя, реализуемое за счет совершенствования конструкции инжекторной пневмосистемы, в частности формы и размеров воздушной камеры; изучение возможности замены избыточного давления в форсунке делителя на разрежение, в результате которого возможно использование пневматической системы, установленной на сеялках точного высева; изучение возможности разделения разработанным делителем потока семян других технических культур, которые могут высеваться ленточным способом с аналогичной схемой междурядий.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АПК – агропромышленный комплекс;

ФГБОУ ВО – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования;

ГАУ – государственный аграрный университет;

ГОСТ – государственный стандарт (государственный общесоюзный стандарт);

ГОСТ РФ – государственный стандарт Российской Федерации;

ВНИИСС – Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара;

ООН – Организация Объединенных Наций;

ИКАР – Институт конъюнктуры аграрного рынка;

МТА – машинно-тракторный агрегат;

КПД – коэффициент полезного действия;

$\bar{H}_c$ – средняя высота конуса семян, м;

$\overrightarrow{M}_{\text{тр}}$ – момент силы трения качения, Н·м;

$\bar{R}_c$ – средний радиус основания конуса, м;

$\overline{m}_V$ – средняя масса семян объема $\bar{V}$, кг;

$\overline{m}_l$ – масса семян на решете, кг;

h_d – динамический напор, Па;

Δl_j – j -интервал между семенами, м;

M_c – масса 1000 семян, г;

C_1 и C_2 – постоянные интегрирования;

$F_{\text{п}}$ – присасывающая сила, Н;

$F_{\text{тр.к.}}$ – сила трения качения, Н

$F_{\text{тяж.}}$ – сила тяжести, Н;

$F_{\text{цб}}$ – центробежная сила, Н;

$G_l(x_{\text{и}})$ – относительная масса одного корнеплода с учетом ленточного посева;

$G_n(x_{\text{и}})$ – относительная масса одного корнеплода;

J_0 – момент инерции семени, кг/м²;

$N_{от.}$ – количество отверстий в диске;

P_{sm} – вероятность появления малых интервалов;

$R_{в}$ – радиус расположения ворошилок, м;

$R_{отв}$ – радиус расположения отверстий, м;

$R_{сопр}$ – равнодействующая сил сопротивления, Н;

$R_T(x)$ – радиус кривизны траектории, м;

$R_{ф}$ – радиус сопла, м;

R_x – реакции вдоль оси x , Н;

R_y – реакции вдоль оси y , Н;

$S_{п.с.}$ – площадь миделева сечения семени, м²;

$S_{сем}$ – величина площади поверхности присасывания семени, м²;

U_c – средний выход семян с одного маточника, г;

$\bar{V}$ – объем семян в мензурке, м³;

$V_{сем}$ – объем одного семени, м³;

b_p – коэффициент, описывающий упругие свойства среды;

$b_{ср}$ – средняя ширина междурядья, м;

$d_{отв}$ – диаметр отверстия, м;

$d_{сем.}$ – диаметр семени, м;

d_i – диаметры случайно выбранных семян, м;

$f_{тр}$ – коэффициент трения семени по диску;

g_i – расчетная масса маточника, г;

k_3 – коэффициент запаса присасывающей силы;

$k_{пс}$ – эмпирический коэффициент просасывания [147];

$k_{ф}$ – коэффициент искажения формы;

k_u – тангенс угла наклона касательной к траектории;

l_1 и l_2 – плечи присасывающей силы и силы тяжести, т.е. кратчайшие расстояния от линий действия сил до точки O , м;

$l_{\text{сем}}$ – высота слоя семян над присасываемой частицей, м;

$m_{\text{сем}}$ – масса одного семени, г;

$m_{\text{сп}}$ – средний интервал между всходами, м;

$m_{\text{сн}}$ – математическое ожидание интервалов между растениями;

m_i – масса семян, попавших в отстойник классификатора при i -й скорости витания, кг;

$m_i^{\text{эксп.}}$ – масса i -й повторности;

$m_t^{\text{эксп.}}$ – средняя масса семян за время эксперимента, г;

$n_{\text{с}}$ – количество семян в опыте, шт.;

$n_{\text{нсм}}$ – количество семян в лотке без смещения, шт.;

$n_{\text{см}}$ – количество семян в лотке со смещением, шт.;

p_j – вероятность появления j -го интервала между семенами;

$s_{\text{с}}(x_{\text{и}})$ – функция распределения интервалов между семенами с учетом корректирующей функции;

$s_i(x_{\text{и}})$ – функция распределения интервалов между семенами;

$s_r(x_{\text{и}})$ – окончательная плотность распределения интервалов между всходами;

t_1 – временной интервал от момента отрыва семени до приземления на параболическую поверхность, с;

t_2 – промежуток времени от момента отрыва семени от высевającego диска до попадания в воздушную камеру, с;

$t_{\text{эксп.}}$ – время экспериментального замера, с;

$t_{i-1}^{\text{сем}}$ – момент времени падения $(i - 1)$ -го семени, с;

$t_i^{\text{сем}}$ – момент времени падения i -го семени, с;

$\vec{u}$ – скорость воздушного потока, м/с;

$v_{\text{п}}$ – скорость скатывания семени вдоль наклонной поверхности, м/с;

v_i – скорость витания семян свеклы по классам, м/с;

v_{x1} – проекция вектора скорости в момент приземления на ось x , м/с;

v_{y1} – проекция вектора скорости в момент приземления на ось y , м/с;

v_{y1} – скорость полета семени в момент попадания в воздушную камеру по оси ординат, $v_{y1} = -0,87$ м/с, знак минус дает нам понимание о том, что вектор скорости направлен в противоположную сторону от оси y ;

x_1 – координата приземления семени по оси абсцисс, м;

$x_{и}$ – значения интервалов между корнеплодами, м;

$x_{л}$ и $x_{п}$ – расстояния, прилегающие к растению слева и справа, м;

x_n – независимый аргумент;

x_p – координата параболы вдоль оси абсцисс, м;

y_1 – координата приземления семени по оси ординат, м;

y_2 – координата попадания семени в воздушную камеру по оси ординат, м;

α_c – угол между вертикальной осью и текущим радиусом в момент отрыва от отверстия, рад;

$\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение семени, рад/с;

$\eta_{п}$ – коэффициент присасывания;

λ_c – норма высева, шт./м;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³;

σ_2 – среднее квадратичное отклонение интервалов между всходами;

φ_c – угол наклона касательной к поверхности скатывания семени, рад;

ψ_0 – начальная амплитуда вероятности, $\psi_0 = 1$;

Δp_v – разность давлений на концах трубопровода, Па;

ΔH – величина разрежения, Па;

n_3 – количество повторностей эксперимента;

C – коэффициент сцепления семян, Н/м², примем $C = 0$ Н/м², т.к. дражированные семена сахарной свеклы не слипаются между собой;

L – длина трубопровода, м;

R_T – радиус кривизны траектории, м;

$U(g_i)$ – урожайность корнеплодов, ц/га;

b и c – числовые коэффициенты;

f – коэффициент внутреннего трения семян;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,806$ м/с²;

k – коэффициент парусности;

mc – математическое ожидание расстояния между семенами, м;

p – вероятность всхожести семян;

$p(x_p)$ – координата параболы вдоль оси ординат, м;

q – вероятность невсхожести семян, $q = 1 - p$;

r – радиус семени, м;

s – независимая переменная связи скорости диска и создаваемого разрежения, $s = \omega \Delta H^{-0,5}$;

$s(-x)$ – плотность вероятности появления отрицательных интервалов;

$s(x)$ – плотность распределения интервалов между семенами;

v – скорость полета семени, м/с;

α – угол поворота диска, на котором осуществляется присасывание, рад;

β – угол наклона площадки разрушения к направлению напряжения, рад;

γ – объемная масса семян, кг/м³;

η – динамическая вязкость, Па·с;

μ – коэффициент, описывающий упругость среды;

ρ – плотность семян, кг/м³;

σ – среднее квадратичное отклонение расстояния между семенами, м;

τ – угол внутреннего трения семян;

ω – угловая скорость вращения диска, рад/с;

Z_p – затраты на оплату труда работников, выполняющих работы по изготовлению комплектующих делителя и переоборудованию сеялки, руб.;

$C_{\text{пм}}$ – стоимость покупных материалов и деталей, руб.;

$C_{\text{нр}}$ – накладные расходы, составляющие 14,5% от прямых затрат, руб.;

B_p – рабочая ширина захвата, м;

v_p – скорость выполнения операции, км/ч;

$\tau_{\text{вс}}$ – коэффициент использования времени смены;

S – площадь посева, га;

T_a – агротехнический срок посева семян, дней;

$t_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч;

$\tau_{\text{см}}$ – коэффициент сменности;

Y – урожайность семян, ц/га;

$C_{\text{п}}$ – себестоимость валового сбора, руб.;

C_t – затраты на посевных работах, руб.;

Z_y – затраты на уборку, руб.;

$Z_{\text{проч}}$ – прочие затраты (все остальные затраты), руб.;

$Z_{\text{о.т.}}$ – затраты на оплату труда работников, руб.;

$Z_{\text{тсм}}$ – затраты на топливо-смазочные материалы при посеве сеялкой, руб.;

Z_a – амортизационные отчисления при посеве серийной или экспериментальной сеялкой, руб.;

$Z_{\text{тор}}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт сеялки, руб.;

$C_{\text{нр}}$ – накладные расходы, руб.;

$C_{\text{перв.}}$ – закупочная стоимость агрегата, руб.;

N_a – норма амортизационных отчислений, %;

T_r – годовая загрузка, ч;

t_p – время работ на посеве, ч;

$H_{\text{тор}}$ – норма затрат на техническое обслуживание и ремонт, %;

Q – расход топлива на единицу работы, кг/га;

$C_{\text{гсм}}$ – комплексная цена топливно-смазочных материалов, руб.;

A – объем выполняемых работ, га;

$CT_{\text{вп}}$ – стоимость валовой продукции;

C_p – цена реализации продукции, руб.;

$\Delta\text{ЧД}$ – прирост чистого дохода, определяемый разностью между чистым доходом по проекту и чистым доходом по базовому варианту, руб.;

$\Delta\text{Ам}$ – прирост амортизации капвложений, руб.;

NS – ставка банковского процента по кредиту, %;

T – срок эксплуатации проекта, лет;

$MIRR$ – коэффициент эффективности вложений, он же – модифицируемая норма внутренней доходности;

K_0 – размер начальных капитальных вложений (стоимость конструкции, установленной на две сеялки), руб.;

C_0 – начальные текущие вложения, определяемые как разница между себестоимостью валовой продукции по проекту и по базовому варианту, руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агротехника сахарной свеклы на семена / А. В. Добротворцева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Агропромиздат, 1986. – 189 с.
2. Адуов, М. А. Модель процесса взаимодействия клина с почвой / М. А. Адуов, С. Н. Капов, Е. Ж. Каспаков // Вестник науки Казахского аграрного университета имени С. Сейфуллина. – 2009. – № 4(55). – С. 238-245.
3. Айкель, Г. Погрузчик-очиститель Holmer Terra Felis 3 / Г. Айкель. – Текст : электронный // Журнал AgroReport : электронный журнал. – URL: <https://agroreport.ru/uborka/ovoshchim/pogruzchik-ochistitel-holmer-terra-felis-3> (дата публикации: 02.08.2018).
4. Айкель, Г. Сеялка Lemken Azurit 9/8.75 K D / Й.-М. Кюпер, Г. Айкель. – Текст : электронный // Журнал AgroReport : электронный журнал. – URL: https://agroreport.ru/posev/zernovye/seyalka-lemken-azurit-9-8-75-k-d/?sphrase_id=274358 (дата публикации: 27.01.2020).
5. Альшинайин, Х. Д. Д. Обоснование технологических режимов и параметров процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Альшинайин Хайдер Джамил Джабер ; ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ. – Тамбов, 2022. – 199 с.
6. Аммон, Ф. Кроши, ровняй, уплотняй! / Ф. Аммон // Новое сельское хозяйство. – 2020. – № 1. – С. 86-89.
7. Балан, В. Н. Оптимальные всходы и их сохранность при безвысадочном семеноводстве / В. Н. Балан // Сахарная свекла. – 1981. – № 4. – С. 33- 34.
8. Балашов, А. В. Совершенствование технологии возделывания и уборки сахарной свеклы агрегатами блочно-модульного построения на базе интегрального энергосредства : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени

доктора технических наук / А. В. Балашов ; ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ. – Тамбов, 2020. – 386 с.

9. Балашов, А. В. Характеристика сервисного обслуживания свеклоуборочных комбайнов Holmer / А. В. Балашов, Д. А. Гушин // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 6. – С. 13-14.

10. Балашов, А. В. Энергетический баланс самоходного свеклоуборочного комбайна Holmer / А. В. Балашов, Ю. А. Тырнов, Д. А. Гушин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 3. – С. 24-25.

11. Бертов, А. А. Обоснование рациональной конструкции ворошилки пневматического высевающего аппарата / А. А. Бертов // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 5. – С. 34–35.

12. Брокман, А. Многопрофильность – ее конек! / А. Брокман // Новое сельское хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 84-87.

13. Брокман, А. Разумные головорезы / А. Брокман // Новое сельское хозяйство. – 2019. – № 6. – С. 82-85.

14. Бузанов, И. Ф. Свекла / И. Ф. Бузанов, С. И. Кузмич // Большая Советская Энциклопедия (в 30 томах). – Т. 23. Сафлор–Соан. – Изд. 3-е. Москва : «Советская энциклопедия». 1976, 1976. – 713 с.

15. В помощь свекловоду / Под ред. В. Г. Яценко. – Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 1975. – 136 с.

16. Василенко, В. В. Моделирование прореживания всходов сахарной свеклы и расчет рабочего органа прореживателя / В. В. Василенко, К. Р. Казаров // Сельскохозяйственные машины : практикум. – Москва : "Колос", 2000. – С. 124-133.

17. Василенко, В. В. Обоснование предела точности дозирования семян ячеисто-дисковыми аппаратами / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 1. – С. 34-35.

18. Василенко, В. В. Развитие технологий и конструкций средств механизации сельского хозяйства : учебное пособие / В. В. Василенко. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – 181 с.

19. Василенко, В. В. Распределение семян и растений сахарной свёклы при пунктирном высеве / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Техника в сельском хозяйстве. – 1999. – № 1. – С. 6-9.

20. Василенко, В. В. Теория и расчёт рабочих органов сельскохозяйственных машин : учебное пособие / В. В. Василенко, А. М. Гиевский, А. В. Чернышов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – 194 с.

21. Василенко, С. В. Расчёт процесса дозирования семян пневматическим высевающим аппаратом / С. В. Василенко, В. В. Василенко, А. М. Гиевский // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – Ч.I. – С 15-22.

22. Василенко, С. В. Совершенствование процесса высева семян сахарной свеклы ячеисто-дисковым аппаратом : специальность 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С. В. Василенко; Воронежский государственный аграрный университет им. К. Д. Глинки. – Воронеж, 2000. – 16 с.

23. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1969. – 576 с.

24. Включение и выключение нагрузки одной кнопкой без фиксации. – Текст : электронный // Сайт Паяльник : [сайт]. – 2023. – URL: <https://cxem.net/house/1-353.php> (дата обращения: 15.07.2023).

25. Влияние неравномерности интервалов между семенами на урожай сахарной свеклы / В. В. Василенко, К. Р. Казаров, В. В. Труфанов, В. К. Астанин. // Научные труды / Воронежский сельскохозяйственный институт; ответственный редактор М. И. Комаров. Воронеж : Воронежский сельскохозяйственный институт, 1982. – Том 120. – С. 134-138.

26. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – Москва : Наука, 1977. – 970 с.

27. Гиевский, А. М. К обоснованию выбора типа высевашего аппарата для возделывания сахарной свёклы для семенных целей / А. М. Гиевский, Ю. И. Солдатов // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 648-654.

28. Гиевский, А. М. Обзор современных машин для уборки моркови теребильного типа / А. М. Гиевский, Ю. И. Солдатов // Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса : материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – С. 81-87.

29. Гиевский, А. М. Обоснование выбора высевашего диска для посева сахарной свёклы на семенные цели / А. М. Гиевский, Ю. И. Солдатов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14. – № 2(69). – С. 36-41.

30. Гиевский, А. М. Особенности присасывания семян сахарной свёклы к ячейке диска высевашего аппарата пневматической сеялки / А. М. Гиевский, Ю. И. Солдатов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 16, № 3(78). – С. 159-168.

31. Гиевский, А. М. Перспективы использования морковуборочных комбайнов при уборке штеклингов / А.М. Гиевский, Ю.И. Солдатов // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : сборник VI Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием. – Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2021. – С. 443-446.

32. Глуховский, В. С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свёклы без затрат ручного труда на формировании густоты насаждения. диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.01.14. - Киев, 1981. - 349 с.

33. ГОСТ 32066-2013. Семена сахарной свеклы. Посевные качества. Общие технические условия = Sugar beet seeds. Sowing qualities. General technical conditions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 июня 2013 г. № 262-ст : введен впервые : дата введения 2014-07-01 / подготовлен ГНУ «ВНИИСС» Россельхозакадемии совместно с ФГУ «Россельхозцентр». – Москва : Стандартинформ, 2013. – 16 с.

34. Гриднева, И. В. Прикладная математика : учебное пособие / И. В. Гриднева, Л. И. Федулова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 109 с.

35. Грипентрог, Х. Отключаем голову, включаем электронику? / Х. Грипентрог // Новое сельское хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 80-83.

36. Гулевский, В. А. Краткий курс теоретической механики : учебное пособие / Гулевский В. А., Шацкий В. П. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2009. — 178 с.

37. Гущин, Д. А. Влияние квалификации комбайнеров на показатели использования комбайнов Holmer Terra Dos / Д. А. Гущин // Повышение эффективности использования свеклоуборочных комбайнов зарубежного производства: сб. науч. тр. ГНУ ВИИТиН: Тамбов, 2009. – Вып.16. – С. 30-33.

38. Гячев, Л. В. О механической модели сыпучего тела / Л. В. Гячев // Механика сыпучих материалов: тезисы докладов Всесоюзной конференции. – Одесса, 1975. – С. 3–4.

39. Дубина, К. П. Совершенствование процесса высева семян кукурузы пневмовакuumным аппаратом с дозирующими элементами переменного сечения : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / К. П. Дубина; Донской ГАУ. – Зерноград, 2020. – 168 с.

40. Дьяконов, В. П. Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 720 с.

41. Евграфов, А. Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – Москва : МГИУ, 2010 – 356 с.
42. Еще умнее, еще мощнее! // Новое сельское хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 64-65.
43. Жерновой, В. А. Вспомним основы технологии / В. А. Жерновой [и др.] // Сахарная свекла. – 2003. – № 3. – С.8-10.
44. Зефирова, П. Сеялка точного высева Kverneland Monopill SE / П. Зефирова. – Текст : электронный // Журнал AgroReport : электронный журнал. – URL: <https://agroreport.ru/posev/propashnye/seyalka-tochnogo-vyseva-kverneland-monopill-se> (дата публикации: 27 марта 2018).
45. Зубов, В. Г. Механика / В. Г. Зубов. – Москва : Наука, 1978. - 352 с.
46. Зубрилина, Е. М. Пути совершенствования дозирующей системы в целях улучшения качества высева / Е. М. Зубрилина, И. А. Маркво // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : материалы 7-й Международной научно-практической конференции, в рамках 17-й Международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014». – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 167-168.
47. Зубрилина, Е. М. Управление качеством процесса высева семян пропашных культур пневматическим высевающим аппаратом с системой контроля / Е. М. Зубрилина // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции. – Курск, 2014. – С. 199-202.
48. Игошин, Д. Н. Разработка и обоснование тукозаделывающего рабочего органа для внесения минеральных удобрений при одновременном посеве сахарной свеклы : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. Н. Игошин; ГБОУ ВО НГИЭУ. – Княгинино, 2018. – 148 с.

49. История компании Holmer. – Текст : электронный // Компания Holmer: информационный портал : [сайт]. – 2022. – URL <https://www.holmer-maschinenbau.com/ru/firma/istorija.html> (дата обращения: 21.09.2022).
50. К вопросу механизации высева дражированных лесных семян / И.М. Бартенев, М.В. Драпалюк, Н.О. Ушаков, А.И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 1(37). – С. 161-172.
51. Казаров К. Р. Обоснование параметров формирования густоты насаждения сахарной свеклы/ К. Р. Казаров // Лесотехнический журнал. – 2014.– Т.4–№.1(13). – С.169-173.
52. Казаров, К. Р. Важный фактор повышения полевой всхожести / К. Р. Казаров, И. К. Лукина, В. А. Черников // Сахарная свекла. – 2002. – № 2. – С.13-14.
53. Казаров, К. Р. Вероятностная модель определения полевой всхожести семян / К. Р. Казаров // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем лесного комплекса: сб. науч. тр. – Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 1997. – С. 25-28.
54. Казаров, К. Р. Масса маточного корнеплода сахарной свеклы в зависимости от площади питания и схемы посева / К. Р. Казаров, В. А. Черников, И. Е. Павловский // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – Ч.II. – С. 10-16.
55. Казаров, К. Р. Методика расчета выхода семян от маточного посева сахарной свеклы / К. Р. Казаров, И. К. Лукина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – №. 2. – С. 49-50.
56. Казаров, К. Р. Методика расчета выхода семян от маточного посева сахарной свеклы / К. Р. Казаров, И. К. Лукина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 2. – С. 49-50.
57. Казаров, К. Р. Методика расчёта выхода семян сахарной свёклы / К. Р. Казаров, И. К. Лукина // Региональные проблемы повышения эффективности

агропромышленного комплекса: материалы всероссийской научно-практической конференции в 2-х ч. – Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. – Ч.2. – С. 69-73.

58. Казаров, К. Р. Механизированное прореживание всходов сахарной свеклы с повышенной точностью распределения : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / К. Р. Казаров; Воронежский СХИ им. К. Д. Глинки. – Воронеж, 1974. – 25 с.

59. Казаров, К. Р. Оценка числовых характеристик преобразования потока семян в поток растений / К. Р. Казаров, В. А. Черников // XIV международная научно-практическая конференция: «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке». - № 2 (14) – 2015. - С. 27-31.

60. Казаров, К. Р. Результаты моделирования формирования густоты насаждения сахарной свёклы с использованием ЭВМ / К. Р. Казаров, С. Н. Пиляев. Воронеж, 1990. – Деп. во ВНИИТЭИагропром 29.03.90, № 168 ВС-90. – 16 с.

61. Капов, С. Н. Определение тягового сопротивления сошника для подпочвенно-разбросного посева семян / С. Н. Капов, М. А. Адуов, С. А. Нукушева // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2012. – №. 1. – С. 72.

62. Клёнин, Н. И. Практикум по сельскохозяйственным машинам и орудиям. / Н. И. Клёнин, И. Ф. Попов [и др.]. – Москва : Сельхозиздат, – 1963. – 320 с.

63. Клёнин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчёт регулировочных параметров и режимов работы. / Н.И. Клёнин, В.А. Сакун. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1980. – 671 с.

64. Колесников, Н. П. Новое в технологии внесения дефеката / Н. П. Колесников // Обеспечение стабилизации АПК в условиях рыночных форм хозяйствования : тезисы докладов межрегиональной научно-практической

конференции молодых ученых и специалистов. — Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет, 1997. — Ч. 2. — С. 103-104.

65. Колчина, Л. М. Технологии и техника для возделывания и уборки сахарной свеклы : справочник / Л. М. Колчина. — Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2012. — 79 с.

66. Комбинация плантера Tempo R 18 с навесным баком FH 2200 // Журнал AgroReport. — 2016. — № 4-5. — С. 69.

67. Кравец, М. В. Особенности безвысадочного семеноводства сахарной свеклы в ЦЧР / М. В. Кравец // Аллея науки. — 2018. — Т. 4, №. 11. — С. 333-339.

68. Кулистикова, Т. Минсельхоз подвел итоги сбора урожая / Кулистикова Т. — Текст : электронный // Агроинвестор : электронный журнал. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/39503-minselkhoz-podvel-itogi-sbora-urozhaya> (дата публикации: 27 декабря 2022).

69. Лабыкин, А. Русской семечке не хватает науки / А. Лабыкин. — Текст: электронный // Эксперт : электронный журнал. — URL: <https://expert.ru/expert/2023/08/russkoy-semechke-ne-khvatayet-nauki> (дата публикации: 19 февраля 2023).

70. Лаврухин, В. А. Механико-технологические основы проектирования развертывающихся лемешно-отвальных поверхностей: дисс. ... докт.техн.наук. — Зерноград. 1991. С. 487.

71. Ландау, Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. / Л. Д. Ландау. А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. — 2-е изд., исправ. — Москва : Наука, 1969. — 400 с.

72. Ларионов, А. Н. Курс физики : учебное пособие / А. Н. Ларионов, В. П. Шацкий, Н. Н. Ларионова. — Воронеж: Воронежский ГАУ, 2018. — 360 с.

73. Майер, К. «Мелочность» на фоне гигантизма/ К. Майер // Новое сельское хозяйство. — 2021. — №. 3. — С. 92-96.

74. Максимова, Е. ИКАР: посевы сахарной свеклы будут увеличиваться / Е. Максимова. – Текст : электронный // Агроинвестор : электронный журнал. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/39528-ikar-posevy-sakharnoy-svekly-budut-uvlichivatsya> (дата публикации: 7 января 2023).
75. Маркво, И. А. Анализ тенденций развития и необходимых направлений модернизации в сфере производства сеялок точного высева с пневмосемяпроводами / И. А. Маркво, Е. М. Зубрилина, В. И. Новиков // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 4(34). – С. 18-25.
76. Маркушевич, А. И. Основные понятия сферической геометрии / А. И. Маркушевич, А. Я. Хинчин, П. С. Александров // Энциклопедия элементарной математики.— Москва : ГИФМЛ, 1963. – Книга 4: Геометрия. – 570 с.
77. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства / А. П. Тарасенко, В. Н. Солнцев, В. П. Гребнев [и др.]. – Москва : КолосС, 2006. – 552 с.
78. Механическая сеялка точного высева Monopill S, Kverneland. – Текст: электронный // Компания Kverneland : [сайт]. – 2020. – URL: <https://ru.kverneland.com/Posevnaya-tehnika/Seyalki-tochnogo-vyseva/Mehanicheskaya-seyalka-tochnogo-vyseva-Monopill-S-Monopill-e-drive-II> (дата обращения: 17.04.2020).
79. Моделирование выхода маточных корнеплодов при различных схемах посева / К. Р. Казаров, В. А. Черников, Ю. И. Солдатов, И. К. Лукина // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения», посвящённой 40-летию Белгородского ГАУ. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018 г. – С. 81 – 84.
80. Можейко, О. Памятка агроному: как выбрать семена сахарной свеклы / О. Можейко. – Текст: электронный // «ГлавАгроном» : [сайт]. – URL: <https://glavagronom.ru/articles/pamyatka-agronomu-kak-vybrat-semena-saharnoy-svekly>. – Дата публикации: 26 октября 2021.

81. Мощность всасывания: что это такое и как будем измерять. – Текст: электронный // Новости технологий, обзоры гаджетов, смартфонов, бытовой техники и автомобилей : [сайт]. – URL: https://www.ixbt.com/home/air-watt-method.shtml?ym_offers=1. – Дата публикации: 14 февраля 2015.

82. Мумме, М. Покорительница гектаров / М. Мумме // Новое сельское хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 78-83.

83. Несмиян, А. Ю. Синтез рациональных параметров пневмовакуумного высевающего аппарата пропашной сеялки / А. Ю. Несмиян, А. В. Яковец, В. В. Шумаков // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2012. – № 2 (27). – С. 71–76.

84. Несмиян, А. Ю. Обоснование модели сыпучих сред / А. Ю. Несмиян // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – № 3 (23). – С. 25-34.

85. Несмиян, А. Ю. Совершенствование технологического процесса высева семян тыквы аппаратом пневматической сеялки : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Азово-Черноморск. гос. агроинженер. акад. - Зерноград, 2003. - 18 с.

86. Несмиян, А. Ю. Теоретическое обоснование конструкции универсального дозирующего элемента высевающего аппарата вакуумной пропашной сеялки / А. Ю. Несмиян, В. В. Должиков // Вестник аграрной науки Дона. – 2011. – № 2(14). – С. 48-53.

87. Новикова, А. В. Урожайность и качество семян сахарной свеклы в зависимости от фунгицидных обработок и условий хранения маточных корнеплодов : специальность 06.01.01 «Общее земледелие – растениеводство» : диссертация на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук / А. Н. Новикова Алла ; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. – Воронеж, 2016. – 145 с.

88. О проблемах ламинарно-турбулентного перехода / Е. А. Лукашев, Н. Н. Яковлев, Е. В. Радкевич, О. А. Васильева // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 471, № 3. – С. 270-274.

89. Обзор редактора ISIS. – Текст: электронный // Всё для электроники! Портал радиолюбителей : [сайт]. – 2023. – URL: <http://radio-hobby.org/modules/instruction/proteus-redaktor-isis/obzor-redaktora-isis> (дата обращения: 15.07.2023).

90. Обзор самосвалов для сельского хозяйства / А. Н. Кузнецов, Ю. И. Солдатов, Н. С. Лымарь, Д. В. Юшко // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – Ч. II. – С. 308-315.

91. Обоснование нормы высева семян сахарной свёклы путём моделирования / К. Р. Казаров, В. А. Черников, И. К. Лукина, Ю. И. Солдатов // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – Ч. 1. – С. 94-101.

92. Обоснование параметров формирования густоты насаждения сахарной свеклы / К. Р. Казаров, В. А. Черников, И. К. Лукина, О. Н. Щербаков // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4, № 1(13). – С. 169-173.

93. Обоснование рациональной массы маточников сахарной свеклы путем моделирования / К. Р. Казаров, И. К. Лукина, В. А. Черников, Н. А. Суворин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2016. – № 6(63). – С. 58-66.

94. Обоснование схемы посева маточной сахарной свеклы / К. Р. Казаров, В. А. Черников, О. Н. Щербаков [и др.] // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 70-76.

95. Общество с ограниченной ответственностью "Техника Сервис Агро" : [сайт]. – URL: <https://tese.ru/> (дата обращения: 07.02.2023). – Текст: электронный.

96. Определение конструктивных показателей свекловичной сеялки для равномерного распределения семян / С. В. Соловьев, А. А. Завражнов, А. Г. Абросимов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – Т. 83, № 2(88). – С. 35-39.

97. Опыт выращивания семян сахарной свеклы безвысадочным способом с использованием внутрпочвенного орошения / Л. А. Радченко, В. И. Кременской, А. М. Джапарова [и др.] // Сахарная свекла. – 2021. – № 1. – С. 10-15.

98. Основные технологические приемы выращивания штеклингов компонентов гибридов сахарной свеклы в условиях ЦЧР / С. П. Борзенков, И. И. Бартенев, Л. Н. Путилина [и др.] // Сахарная свекла. – 2016. – № 7. – С. 26-29.

99. Оценка эффективности инвестиционных проектов в агроинженерии: учебное пособие / С. А. Горланов, З. П. Медеяева, Д. Н. Бойко [и др.]. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – 175 с.

100. Патент № 2014112894/13 Российская Федерация, МПК А01G 22/25 (2018.01). Способ посева сахарной свеклы : № 2014112894/13 : заявл. 02.04.2014 : опубл. 10.10.2015 / Горшенин В. И., Абросимов А. Г., Соловьев С. В., Дробышев И. А. ; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мичуринский государственный аграрный университет". – 2 с.

101. Патент № 2015156671 Российская Федерация, МПК А01В 79/02 (2006.01). Машина для ухода за растениями сахарной свеклы, высеянной по схеме 15+45 см : №2015156671 : заявл. 28.12.2015 : опубл. 28.12.2015 / Горшенин В. И., Абросимов А. Г., Соловьев С. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Мичуринский государственный аграрный университет". – 6 с.

102. Патент № 2016111819 Российская Федерация, МПК А01G 22/25 (2018.01). Машина для ухода за растениями сахарной свеклы: № 2016111819 : заявл. 29.03.2016 : опубл. 29.08.2017 / Горшенин В. И., Абросимов А. Г., Соловьев С. В., Дробышев И. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

профессионального образования "Мичуринский государственный аграрный университет". – 2 с.

103. Патент № 2019106399 Российская Федерация, МПК А01G 22/25 (2018.01). Способ выращивания маточных корнеплодов сахарной свеклы: № 2019106399 : заявл. 06.03.2019 : опубл. 22.11.2019 / Гаврин Д. С., Бартенев И. И., Путилина Л. Н. ; заявитель и патентообладатель ФГБНУ "ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова". – 5 с.

104. Патент № 203635 Российская Федерация, МПК А01С 7/00. Стенд для испытания высевających аппаратов однозернового посева : № 2020133549 : заявлено 12.10.2020 : опубл. 14.04.2021 / Лунев А. В., Баскаков И. В., Василенко В. В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 6 с.

105. Патент № 212300 Российская Федерация, МПК А01С 7/00 (2006.01). Высеваящая секция пневматической сеялки точного посева: № 2022110035 : заявл. 12.04.2022 : опубл. 14.07.2022 / Солдатов Ю. И., Гиевский А. М. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 6 с.

106. Патент № 234020 Российская Федерация, МПК А01В 41/04. Рабочий орган прореживателя всходов сахарной свеклы и других пропашных культур : № 1192407 : заявл. 16.10.1967 : опубл. 24.12.1968 / Василенко В. В., Казаров К. Р. ; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I.

107. Патент № 2743765 С1 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Устройство для дискретной подачи семян : № 2020126063 : заявл. 31.07.2020 : опубл. 25.02.2021 / Петрищев Е.П., Соколов С.В., Новиков А.И. ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 4 с.

108. Патент № 2747166 С1 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Устройство для аэросева семян : № 2020136888 : заявл. 09.11.2020 : опубл. 28.04.2021 / Демидов Д.Н., Соколов С.В., Новиков А.И. ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 5 с.

109. Патент № 2790664 Российская Федерация, МПК А01С 7/04 (2006.01). Пневматический аппарат для двустрочного посева пропашных культур :

№ 2022123687 : заявл. 06.09.2022 : опубл. 28.02.2023 / Василенко В. В., Василенко С. В., Солдатов Ю. И. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 6 с.

110. Патент № 94010146/13 Российская Федерация, МПК А01В 79/02 (1995.01). Способ выращивания маточных корнеплодов сахарной свеклы : № 94010146/13 : заявл. 22.03.1994 : опубл. 27.09.1996 / Токарев В. А., Никифоров А. Н., Борзенков В. А. ; заявитель и патентообладатель Всероссийский НИИ механизации сельского хозяйства. – 2 с.

111. Плотность воздуха, его удельная теплоёмкость, вязкость и другие физические свойства: таблицы при различных температурах. – Текст : электронный // Thermalinfo.ru - справочник по тепловым и физическим свойствам веществ и материалов в зависимости от температуры и давления: плотность, теплопроводность. – 2023. – URL: <http://thermalinfo.ru/svojstva-gazov/gazovye-smesi/fizicheskie-svojstva-vozduha-plotnost-vyazkost-teploemkost-entropiya> (дата обращения: 04.02.2023).

112. Повышение эффективности процесса высева семян сельскохозяйственных культур и улучшение их посевных качеств: монография / В. И. Оробинский, В. П. Евсюкова, И. В. Баскаков [и др.]. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – 174 с.

113. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН : [сайт]. – Рим, Италия, 1945 – . – URL: <https://www.fao.org/home/ru> (дата обращения: 05.02.2023). – Текст: электронный.

114. Разработка имитационной модели производства семян сахарной свеклы / К. Р. Казаров, В. А. Черников, И. К. Лукина [и др.] // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. - С. 381-392.

115. Распределение семян при двустрочном высеве вертикальнодисковым аппаратом / С. В. Василенко, В. В. Василенко, Ю. И. Солдатов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и

обществе: материалы международной научно- практической конференции (6 - 7 июня 2023 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – с. 105-114.

116. Распределение семян сахарной свеклы на ленте при посеве одним высевальным аппаратом с междурядьем 15 см / К. Р. Казаров, В. А. Черников, Н. А. Суворин, С. Н. Гусев // Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 115 годовщине со дня рождения профессора Харитончика Ефима Мироновича. - Воронеж : Воронежский ГАУ, 2017. – Часть I. – С. 62-70.

117. Результаты исследований физико-механических свойств семян сахарной свеклы / В. В. Голдыбан, В. П. Чеботарев, М. И. Курилович [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2019. – №52. – С. 82-88.

118. Ресурсосберегающая технология и техника производства сахарной свеклы : монография / А. И. Завражнов, В. И. Горшенин, С. В. Соловьев [и др.] ; под общей редакцией А. И. Завражнова. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 164 с.

119. Российский сельскохозяйственный центр : [сайт]. – Москва. – URL: <https://rosselhoccenter.ru/> (дата обращения: 06.02.2023). – Текст: электронный.

120. Савельева, А. И. Обработка результатов измерения при проведении физического эксперимента: методические указания / А. И. Савельева, И. Н. Фетисов; под ред. С. П. Ерковича. — Москва : Издательство МГТУ, 1990. - 32 с.

121. Самоходный опрыскиватель DAMMANN DT 2000 Н. – Текст: электронный // Сельскохозяйственная техника и комплектующие доставка в любой регион от Агролидер : [сайт]. – 2023. – URL: <https://agro-lider.ru/agrotechnics/samokhodnye-opryskivateli/dammann-dt-2000-h-plus/> (дата обращения: 25.03.2023).

122. Сахарная свекла — *beta vulgaris*. – Текст: электронный. // Экологический центр Экосистема: полевое экологическое образование школьников в природе, исследовательская и проектная деятельность, школьный

экологический мониторинг, природа России и мира : [сайт]. – 2023. – URL: <http://ecosystema.ru/07referats/cultrast/031.htm> (дата обращения: 05.02.2023).

123. Сахарова, С. Г. Теоретическая механика. Статика: учебное пособие / С. Г. Сахарова, В. П. Зарубин, М. Ю. Колобов. – Иваново : ФГБОУ ВПО «ИХГТУ», – 2013. – 84 с.

124. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022667608 Российская Федерация. Программа статистической обработки физических характеристик семян, прошедших решётную очистку : № 2022667608 : заявл. 06.09.2022; опубли. 22.09.2022 / Шацкий В. П., Гиевский А. М., Чернышов А. В., Солдатов Ю. И. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 1 с.

125. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022662118/69 Российская Федерация. Программа расчета прогнозируемой урожайности сахарной свеклы : № 2022662118/69 : заявл. 29.06.2022; опубли. 13.07.2022 / Шацкий В. П., Гиевский А. М., Чернышов А. В., Солдатов Ю. И. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - 1 с.

126. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022680384 Российская Федерация. Программа расчёта коэффициента заполняемости отверстий высевающего диска : № 2022680384 : заявл. 31.10.2022; опубли. 31.10.2022 / Гиевский А. М., Солдатов Ю. И. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - 1 с.

127. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2023611049 Российская Федерация. Математическая модель полёта частицы в адаптере сеялки : № 2023611049 ; заявл. 16.01.2023 : опубли. 16.01.2023 / Гиевский А. М., Солдатов Ю. И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - 1 с.

128. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2023611222 Российская Федерация. Кинематическая модель работы сеялки точного высева № 2023611222 : заявл. 16.01.2023 : опубли. 16.01.2023 / Гиевский

А. М., Солдатов Ю. И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - 1 с.

129. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2023617222 Российская Федерация. Математическая модель работы высевающего аппарата сеялки точного высева № 2023617222 : заявл. 06.04.2023 : опубл. 06.04.2023. / Гиевский А. М., Солдатов Ю. И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - 1 с.

130. Свирень, Н. А. Механика процесса присасывания семян к отверстию высевающего диска / Н. А. Свирень. – Ленинград : Колос, 1980. – 54 с.

131. Сельскохозяйственные машины. Практикум: учебное пособие / В. В. Василенко [и др.]; под ред. В. Н. Солнцева. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – 108 с.

132. Сеялка Lemken Azurit 9 – Текст: электронный // Компания Lemken : [сайт]. – 2022. – URL: <https://lemken.com/ru/posevnaja-tekhnika/sejalki-tochechnogo-vyseva/azurit-9/> (дата обращения: 20.04.2022).

133. Совершенствование работы высевающего аппарата свекловичной сеялки / А. Г. Абросимов, С. В. Соловьев, А. А. Бахарев [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1(60). – С. 43-48.

134. Современные пакеты прикладных программ. Основы работы в Maple : учебное пособие / сост. В. Г. Гилев. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2022. – 95 с.

135. Солдатов, Ю. И. Новинки сегмента свеклоуборочных машин / Ю. И. Солдатов, А. М. Гиевский // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – С. 258-263.

136. Солдатов, Ю. И. Обзор современного свеклоуборочного комбайна HOLMER T4-40 / Ю. И. Солдатов, К. Р. Казаров // Молодежный вектор развития

аграрной науки: материалы 68-й студенческой научной конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – Ч. IV. – С. 273–278.

137. Солдатов, Ю. И. Обзор современных частотных преобразователей / Ю. И. Солдатов, С. А. Филонов // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 458-462.

138. ТС-М-4150А Многоцелевая пневматическая сеялка точного высева для пропашных культур // Общество с ограниченной ответственностью "Техника Сервис Агро" : [сайт]. – 2023. — URL <https://www.gomselmash.by/produktsiya/seyalki/seyalka-tochnogo-vyseva-stv/> (дата обращения: 20.04.2023).

139. Торики, В. Е. Обработка почвы, посев и посадка полевых культур / В. Е. Торики, О. В. Мельникова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 244 с.

140. Точнее и без колебаний, пожалуйста! // Новое сельское хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 56-59.

141. Труфанов, В. В. Моделирование процесса заделки семян рабочими органами сеялки / В. В. Труфанов, М. Н. Яровой, Н. Н. Булыгин // Научно-технические проблемы в развитии ресурсосберегающих технологий и оборудования лесного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 1998. – С. 111.

142. Федотов, В. И. Основы электроники: учебное пособие / В. И. Федотов. – Москва: Высшая школа, 1990. – 288 с.

143. Физика : учебно-методическое пособие / А. Н. Ларионов, В. С. Воищев, А. В. Машина, Ю. И. Солдатов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – 115 с.

144. Филонов, С. А. Частотно-регулируемый электропривод как способ оптимизации электропотребления / С. А. Филонов, Н. В. Прибылова, Ю. И. Солдатов // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : материалы международной научно-практической

конференции. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, 2018. – С. 197-204.

145. Фойерборн, Б. Урок геометрии / Б. Фойерборн // Новое сельское хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 88-91.

146. Формирование густоты насаждения сахарной свеклы механическими вдольрядными прореживателями / К. Р. Казаров, В. В. Василенко, В. К. Астанин, В. В. Труфанов // Научные труды / Воронежский сельскохозяйственный институт; ответственный редактор М. И. Комаров. Том 120. – Воронеж : Воронежский сельскохозяйственный институт, 1982. – С. 128-134.

147. Хижняк, В. И. Проектирование и расчет пропашных сеялок: учебное пособие / В. И. Хижняк, А. Ю. Несмиян, Ф. В. Авраменко. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 114 с.

148. Хижняк, В. И. Физико-механические свойства семян сои / В. И. Хижняк // Технология и средства механизации полеводства: сборник научных трудов АЧГАА. – зерноград, 2002. – С. 18–24.

149. Шацкий, В. П. Высшая математика в агроинженерии : учебное пособие / П. В. Москалёв, И. В. Гриднева, Л. И. Федулова; под ред. проф. Шацкого В. П. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 308 с.

150. Шульц, С. Kverneland Optima TF profi с высевающей секцией SX / С. Шульц. – Текст : электронный // AgroReport : электронный журнал. – URL: <https://agroreport.ru/test-drives/seyalka-tochnogo-vyseva-amazone-precea-4500-2c-super> (дата публикации: 24 мая 2018).

151. Эмпирическая зависимость массы корнеплода от обоих интервалов в рядке растений сахарной свеклы / В. В. Василенко, С. В. Василенко, К. Р. Казаров [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14, № 3 (70). – С. 51-57.

152. Юркевич, В. Почвообрабатывающий агрегат для всех сезонов / В. Юркевич. – Текст : электронный // Наше сельское хозяйство : электронный журнал. – URL: <http://nsh.by/articles/agro/mechanization/264.html> (дата обращения: 22.03.2023).

153. Яковец, А. В. Усовершенствование сбрасывателя лишних семян пропашных культур / А. В. Яковец, В. В. Шумаков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2011. – № 3 (22). – С. 68–72.

154. Chernyshov, A. V. Experimental research of soybean seeding quality by the sowing section of the TSM-4150 seeder / A. V. Chernyshov, Yu. I. Soldatov // Urgent issues of Agricultural science, production and education : материалы VIII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – Р. 78-82.

155. Chernyshov, A. V. Investigation of changes in the seeding rate of a grain seeder with different parameters of the coil device adjustments / A. V. Chernyshov, M. S. Ivleva, Yu. I. Soldatov // Urgent issues of Agricultural science, production and education : материалы VIII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – Р. 72-77.

156. Fernando Pérez. IPython / Fernando Pérez, Brian E. Granger.: A System for Interactive Scientific Computing, Computing in Science and Engineering. – vol. 9, no. 3. – pp. 21-29, May/June 2007, doi:10.1109/MCSE.2007.53. URL: <https://ipython.org>

157. Holmer Maschinenbau GmbH [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.holmer-maschinenbau.com/ru/izdelija/korchevatelnaja-tekhnika/terra-dos-t4/t4-30t4-40.html> (дата посещения ресурса 4.10.2017)

158. Karayel D. Estimation of optimum vacuum pressure of air-suction seed-metering device of precision seeders using artificial neural network models / Karayel D., Güngör O., Šarauskis E. //Agronomy. – 2022. – Т. 12, №. 7. – С. 1600.

159. Karayel D. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder / Karayel D., Barut Z. B., Özmerzi A. // Biosystems Engineering. – 2004. – Т. 87, №. 4. – С. 437-444.

160. Köckerling Allrounder – Универсальный предпосевной культиватор. – Текст: электронный // Сельскохозяйственная техника и комплектующие доставка

в любой регион от Агролидер : [сайт]. – 2023. – URL: <https://agro-lider.ru/agrotechnics/predposevnye-kultivatory/koeckerling-allrounder/> (дата обращения: 20.02.2023).

161. Kverneland Optima TFprofi. – Текст: электронный // Компания Kverneland : [сайт]. – 2022. – URL: <https://ru.kverneland.com/Posevnaya-tehnika/Seyalki-tochnogo-vyseva/Kverneland-Optima-TFprofi> (дата обращения: 21.04.2022).

162. Kverneland Optima. – Текст: электронный // Компания Kverneland : [сайт]. – 2022. – URL: <https://ru.kverneland.com/Posevnaya-tehnika/Seyalki-tochnogo-vyseva/Kverneland-Optima2> (дата обращения: 16.04.2022).

163. Ressourcenadaptives mobiles Assistenzsystem für komplexe Landmaschinen / Fröhlich G. et al. // Informatik in der Land-, Forst-und Ernährungswirtschaft. – 2019. – С. 59.

164. Staniszewski P. Kukurydza w podwójnych rzędach / Staniszewski P. // Tygodnik Poradnik Rolniczy. – 2013. – №. 49.

165. Svanäng C. J., McLean F. Flytande radrensare till precisionssåmaskinen Väderstad Tempo: Förstudie och konceptframtagning. – 2016.

166. Tempo R 12-18 – Текст: электронный // Компания Vaderstad: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.vaderstad.com/ru/sejalki-propashnie/sejalki-tempo/tempo-r-12-18/> (дата обращения: 16.04.2022).

167. Theoretical substantiation of the design of the opener of the beet seeder / Soloviev S. V. et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 677, №. 4. – С. 042114.

168. Wysiew nasion w systemie DeltaRow / Nowak J. et al. // Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. – 2021. – №. 2.

Приложение А

Оценка погрешностей эксперимента в диссертационной работе

Эксперимент проводится с повторностью, установленной в методике. Затем определяем среднее значение $\bar{X}$ исследуемого показателя по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где X_i – экспериментальное значение i -й повторности;

n – количество повторностей эксперимента.

Определим среднее квадратичное отклонение исследуемого показателя

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}.$$

Оценить погрешность результатов эксперимента можно с помощью критерия Стьюдента или t -распределения (рисунок А.1).

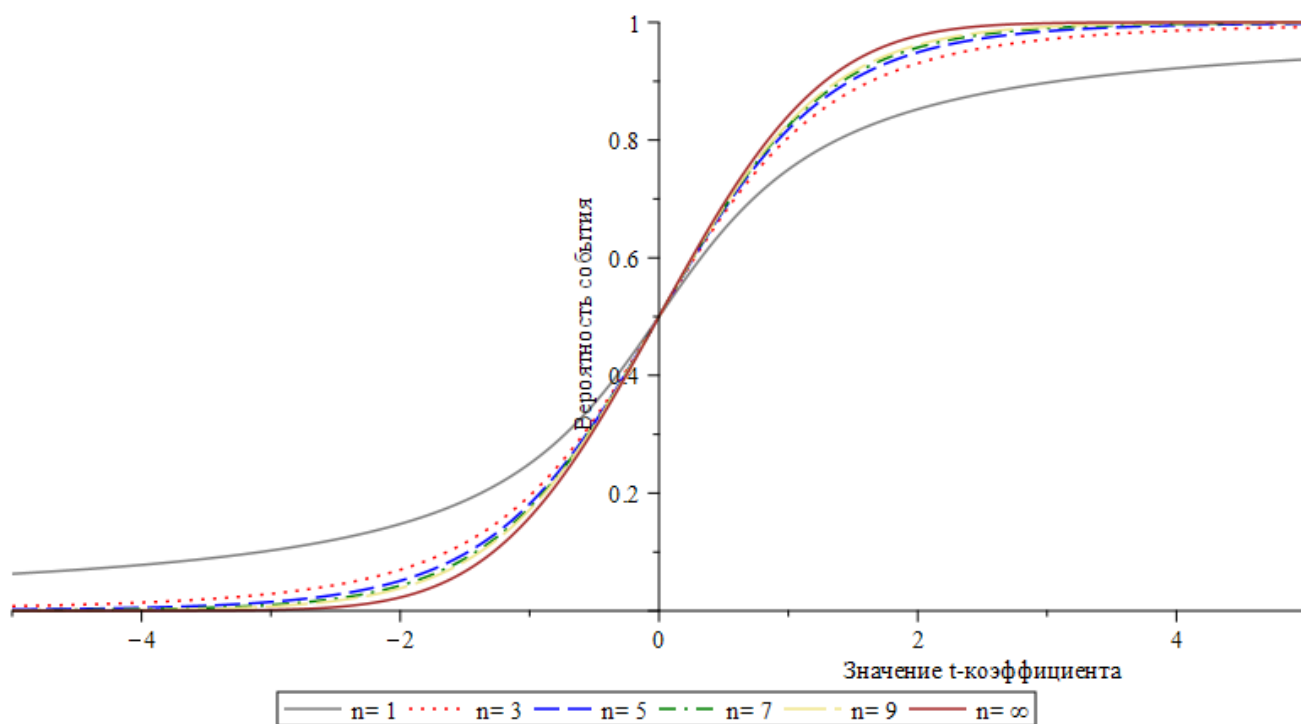


Рисунок А.1 – График критических точек t -критерия в зависимости от степеней свободы

Подобрав соответствующее значение t -критерия, где степень свободы – это количество повторностей эксперимента, определим значение абсолютной погрешности результатов замера исследуемого показателя по формуле

$$\Delta X_{\text{сл}} = \frac{t_{\alpha}(n) \cdot \sigma_X}{\sqrt{n}},$$

где $t_{\alpha}(n)$ – значение коэффициента Стьюдента исходя из количества повторностей и заданной надежности α . Принимаем $\alpha = 0,9$.

На размер погрешности влияет еще значение систематической погрешности, в нашем случае – это приборная погрешность δ , равная половине цены деления [142], следовательно:

$$\Delta X_{\text{общ.}} = \Delta X_{\text{сл}} + \delta.$$

Немаловажным критерием оценки погрешности эксперимента является величина относительной погрешности, определяемая отношением абсолютной ошибки к среднему значению массы:

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta X_{\text{общ.}}}{\bar{X}} \cdot 100\%.$$

Приложение Б

Статистическая оценка выборки диаметров семян сахарной свеклы

Когда в эксперименте требуется статистическая оценка представленной выборки, например для эксперимента по измерению диаметра дражированных семян сахарной свеклы, отсортируем выборку с помощью объединения столбцов матриц и сортировки ряда с помощью функции **sort** из пакета **MTM** [39]. Оптимальное количество интервалов разбиения выборки, устанавливается формулой Стерджеса [148]:

$$int = 3,322 \cdot \log_{10} n_Y + 1,$$

где n_Y – количество элементов в выборке. Проведем подсчет элементов в выборке по интервалам, размер которых установлен формулой, для этого пропишем цикл, разбивающий выборку по интервалам. Затем внешний цикл производит расчет вероятности появления семян отношением результата, снятого со счетчика к общему количеству семян:

$$p_i^s = \frac{N_i^Y}{\sum N_i^Y}.$$

Определим средневзвешенное значения показателя Y из формулы

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n y_i p_i^s.$$

Среднеквадратичное отклонение определим по формуле

$$\sigma_Y = \sqrt{\bar{Y}(y^2) - \bar{Y}(y)^2}.$$

Коэффициент вариации определим из соотношения

$$v_Y = \frac{\sigma_Y}{\bar{Y}}.$$

Если коэффициент вариации $v < 0,34$, то распределение является однородным и плотность вероятности можем определить из функции нормального распределения:

$$P(Y) = \frac{1}{\sigma_Y \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(y - \bar{Y})^2}{2\sigma^2}}.$$

Приложение В

Оценка экономической эффективности использования делителя потока семян к
высевающему аппарату сеялки точного высева

Таблица В.1 – Исходные данные для расчета экономической эффективности модернизации сеялки

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Площадь посева, га	350	350
Агротехнический срок сева, дней	5	5
Продолжительность работ в смену, ч	7	7
Коэффициент сменности	1,5	1,5
Норма высева семян, кг/га	2,5	2,5
Потребность в семенах на всю площадь, кг	875	875
Стоимость 1 кг семян, руб.	2200	2200
Стоимость семян на всю площадь посева, руб.	1925000	1925000
Урожайность семян, ц/га	78	82,8
Удельный вес затрат на производство семян, %	30	30
Себестоимость производства, руб./ц	850	х
Цена реализации семян сахарной свеклы, руб./ц	1000	1000
Силовые машины		
Марка силовой машины	MT3-82.1	MT3-82.1
Количество силовых машин	1	1
Цена машины, руб.	2270000	2270000
Норма амортизационных отчислений, %	11,1	11,1
Норма отчислений на текущий ремонт, %	9,9	9,9
Годовая загрузка в часах	1350	1350
Рабочие машины и оборудование		
Марка машины	TSM-4150A	TSM-4150A(M)
Количество машин	1	1
Цена оборудования, руб.	950000	1240577
Норма амортизационных отчислений, %	12,5	12,5
Норма отчислений на текущий ремонт, %	7	7
Годовая загрузка в часах	110	110
Норма выработки, га/ч	3,3	2,9
Норма расхода топлива, кг/га	3,1	3,4
Комплексная цена топлива, руб./кг	62,73	62,73

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Общая информация		
Уровень оплаты труда (с начислениями), руб./чел.-ч		
механизатора на посеве (9 разряд)	212	212
работника ручного труда на посеве (6 разряд)	125	125

Таблица В.2 – Смета расходов капитальных вложений на переоборудование

Показатели	Ед. измерения	Количество, ед.	Цена, руб. за ед.	Стоимость, руб.
1. Комплектующие материалы				
болт М10	шт.	16	10	160
гайка	шт.	16	5	80
шайба	шт.	32	3	96
втулка	шт.	32	7	224
труба 40х15 мм	м	1	41000	41000
труба 40х10 мм	м	2	45000	90000
лист металлический 2 мм	кв. м	3,15	9500	29925
лист металлический, сталь 6 мм	кв. м	1,5	12550	18825
сошник сеялки в сборе	шт.	8	2000	16000
кран двухпозиционный вакуумный в сборе	шт.	2	850	1700
шланг вакуумный с резьбой 35х42 мм	м	32	245	7840
тройник для шланга 35х42 мм	шт.	8	340	2720
датчик Холла сборе с креплением	шт.	2	450	900
форсунки вакуумные в сборе	шт.	16	145	2320
блок управления с микроконтроллером в сборе	шт.	1	2500	2500
жгут проводов от блока управления к датчикам	шт.	1	1100	1100
жгут проводов от блока управления к форсункам	шт.	8	750	6000
комплект меток для датчика Холла на диск	шт.	2	350	700

Показатели	Ед. измерения	Количество, ед.	Цена, руб. за ед.	Стоимость, руб.
электроды	кг	3	150	450,0
прочие материалы				25000,0
Итого комплектующие:				247540,0
2. Затраты труда (чел.-ч) и оплата труда на изготовление и монтаж				
Затраты труда на сварных работах	чел.-ч	5	150	750
Затраты труда на слесарных работах	чел.-ч	15	80	1200
Затраты труда на токарных работах	чел.-ч	8	90	720
Затраты труда на монтаж оборудования	чел.-ч	43	83	3569,0
Итого затраты труда и фонд оплаты труда	руб.			6239,0
3. Калькуляция капитальных вложений				
ИТОГО прямых затрат на изготовление и монтаж	руб.			253779,0
Накладные расходы	руб.			36798,0
ВСЕГО капитальных затрат (вложений)	руб.			290577,0

Таблица В.3 – Затраты труда на эксплуатацию сеялки

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Площадь посева, га	350	350
Норма выработки, га/ч	3,3	2,9
Количество агрегатов на посеве	2	2
Количество работников, чел.	4	4
в т.ч. механизаторов	2	2
работников ручного труда	2	2
Общее время работ на посеве агрегатами, ч	106,1	120,7
Затраты труда всего, чел.-ч	212,1	241,4
Дополнительные затраты труда, чел.-ч		29,3
Трудоемкость работ всего, чел.-ч/га	0,606	0,690
Дополнительное рабочее время, чел.-ч/га	—	0,084

Показатели	Базовый вариант	По проекту
Фонд оплаты труда, руб.	35742,4	40672,4
Уровень оплаты, руб./чел-час механизатора	212	212
работника ручного труда	125	125
Увеличение фонда оплаты труда, руб.		4930,0

Таблица В.4 – Сводная смета затрат по проекту

Показатели	Варианты	
	Базовый	Проект
Оплата труда с начислениями	35742,4	40672,4
Амортизация	134292,9	192667,9
Ремонт	81774,0	115370,2
ГСМ	68062,1	74648,7
ИТОГО прямых затрат	319871,4	423359,2
Накладные расходы	46381,3	61387,1
Всего производственных затрат на посеве	366252,7	484746,3
Площадь посева, га	350	350
Производственные затраты на 1 га посева, руб.	1046,4	1385,0
Дополнительные затраты, руб.		
на 1 га посева		338,6
на всю площадь		118493,6

Таблица В.5 – Показатели сравнительной эффективности проекта при разных показателях банковского процента по кредиту

Показатели	По проекту	
	5%	12%
Срок эксплуатации (Т), лет	8	8
Капитальные вложения, тыс. руб.	581,2	581,2
Начальные текущие вложения, тыс. руб.	546,9	546,9
Совокупные вложения в проект, тыс. руб.	1128,0	1128,0
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	1191	1191
Эффект за срок эксплуатации, тыс. руб.	33530,7	21949,9
Коэффициент эффективности вложений	0,53	0,45
Цена спроса на ресурсы для реализации проекта, тыс. руб.	22 694,9	8 865,2
Срок окупаемости вложений, лет	1,0	1,1

Приложение Г

Программа аппроксимации вероятности заполнения отверстий диска от скорости
диска и разрежения

```
> restart;
> with(ExcelTools);
> with(LinearAlgebra);
> color_vector := ["Grey", "Red", "Blue", "Green", "Khaki", "Yellow", "Brown",
"Gold", "Cyan", "Aquamarine"];
> symbol_vector := ["box", "circle", "diamond", "soliddiamond", "asterisk",
"diagonalcross", "solidcircle", "point", "cross", "solidbox"];
> distribution_t := (k, gamma) -> fsolve(MapleTA[Builtin][studentst](k, tc) = gamma);
> file_path := "G:/Мой диск/Наука/Эксперименты/Exp Maple.xlsx";
> name_sheet := "vacuum (2)";
> table_column := "E";
> table_row := 43;
> table_index := sprintf("A2:%s%g", table_column, table_row);
> Excel_Tab := Import(file_path, name_sheet, table_index);
> mass_one_seed := 0.02850000000;
> volume_weight := 1031.58258645711509;
> diameter_seed := 3.948711340*10^(-3);
> diameter_disk := 0.22;
> diameter_disc_seed := 0.19;
> diameter_disc_aggitator := 0.16;
> count_coles_disc := 48;
> diameter_coles_disc := 0.0025;
> mass_error := 0.05;
> time_experiments := 60;
> with(ScientificConstants);
> GetConstants();
> grav := GetValue(Constant(g));
```

```

> f_t := (k, tc) -> MapleTA[Builtin][studentst](k, tc);
> cell := 1;
> row_count := RowDimension(Excel_Tab);
> count_experiments := ColumnDimension(Excel_Tab) - 2;
> Seed_matrix := Matrix(row_count, count_experiments + 8, [Excel_Tab], fill = 0);
> i := 0;
> for i to row_count do
>   j := 0;
>   for j from count_experiments to ColumnDimension(Excel_Tab) do
>     Seed_matrix[i, 6] := Seed_matrix[i, 6] + Seed_matrix[i, j];
>   end do;
>   Seed_matrix[i, 2] := Seed_matrix[i, 2];
>   Seed_matrix[i, 6] := evalf(Seed_matrix[i, 6]/count_experiments, 4);
>   j := 0;
>   for j from count_experiments to ColumnDimension(Excel_Tab) do
>     Seed_matrix[i, 7] := evalf(sqrt((Seed_matrix[i, 6] - Seed_matrix[i,
j])^2/(count_experiments - 1)), 4) + Seed_matrix[i, 7];
>   end do;
>   Seed_matrix[i, 8] := evalf(Seed_matrix[i, 7]*distribution_t(count_experiments,
0.95)/sqrt(count_experiments), 4) + mass_error;
>   Seed_matrix[i, 9] := evalf(100*Seed_matrix[i, 8]/Seed_matrix[i, 6], 4);
>   Seed_matrix[i, 10] := evalf(time_experiments*Seed_matrix[i,
2]*count_coles_disc*mass_one_seed/(Pi*diameter_disc_seed), 4);
>   Seed_matrix[i, 11] := evalf(100*Seed_matrix[i, 6]/Seed_matrix[i, 10], 4);
> end do;
> Seed_matrix := DeleteColumn(Seed_matrix, 3 .. ColumnDimension(Excel_Tab));
> Summary_Seed := Matrix(row_count + 1, ColumnDimension(Seed_matrix),
['Разрежение`*`мбар`, 'V[`диска`]', 'M[`факт`]', 'sigma[m]', '&Delta;M',
'varepsilon[m]', 'M__пасч', 'Kз`]);
> Summary_Seed := linalg[copyinto](Seed_matrix, Summary_Seed, 2, 1);

```

```

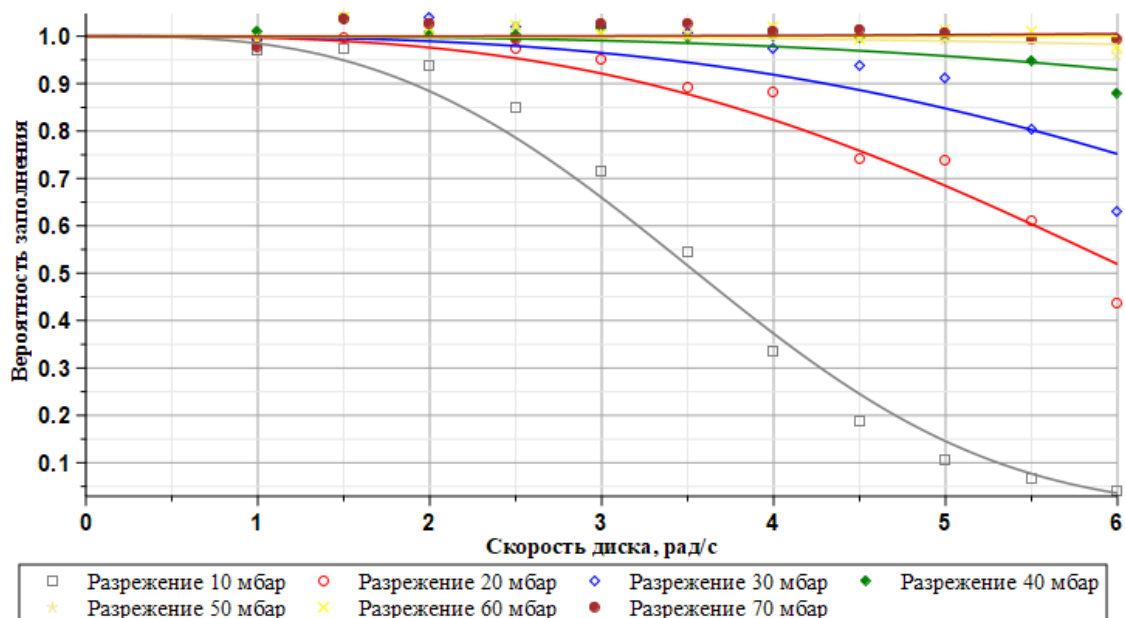
> c := 1;
> j := 1;
> i := 0;
> for i to RowDimension(Seed_matrix) do
>   s := Seed_matrix[c, 1];
>   while Seed_matrix[c, 1] = s do
>     c := c + 1;
>     break; if RowDimension(Seed_matrix) < c;
>   end do;
>   Counter_vacuum[j] := c;
>   j := j + 1;
>   c := c + 1;
>   break; if RowDimension(Seed_matrix) < c;
> end do;
> j_vacuum := j - 1;
> c := 'c';
> cv_index := floor(Counter_vacuum[j_vacuum]/j_vacuum);
> i := 0;
> for i to j_vacuum do
>   seed_slice[i] := Seed_matrix[Counter_vacuum[i] - cv_index .. Counter_vacuum[i] -
1, 1 .. j_vacuum + 1];
>   Plot_seed[i] := plots[pointplot]([seq([10*Column(seed_slice[i], 2)[a],
Column(seed_slice[i], 8)[a]*10^(-2)], a = 1 .. cv_index)], style = point, color =
color_vector[i], symbol = symbol_vector[i], symbolsize = 10);
>   seed_legend[i] := sprintf("Разрежение %g мбар", Seed_matrix[Counter_vacuum[i]
- 2, 1]);
> end do;
> plots[display](seq([Plot_seed[a]], a = 1 .. j_vacuum), legend = [seq(seed_legend[a], a
= 1 .. j_vacuum)], labels = ["Скорость диска, рад/с", "Вероятность заполнения"],

```

```

labeldirections = [HORIZONTAL, VERTICAL], gridlines = true, font = [Arial, Bold,
12]);
> i := 0; for i to j_vacuum do
>
>      f[i] := Statistics[Fit](exp(-b*x^3)*(cos(Pi/2)*x^3 + sin(Pi/2)),
10*Column(seed_slice[i], 2), Column(seed_slice[i], 8)*10^(-2), x);
>   FIT[i] := plot(f[i], x = 0 .. 6, color = color_vector[i]);
>   exp_degree[i] := ln(f[i]/(cos(Pi/2)*(10*x)^3 + sin(Pi/2)));
> end do;
> plots[display](seq([FIT[a]], a = 1 .. j_vacuum), legend = [seq(seed_legend[a], a = 1 ..
j_vacuum)], labels = ["Скорость диска, рад/с", "Вероятность заполнения"],
labeldirections = [HORIZONTAL, VERTICAL], gridlines = true);
> plots[display](seq([FIT[a]], a = 1 .. j_vacuum), seq([Plot_seed[a]], a = 1 .. j_vacuum),
legend = [seq(seed_legend[a], a = 1 .. j_vacuum), seq(seed_legend[s], s = 1 ..
j_vacuum)], labels = ["Скорость диска, рад/с", "Вероятность заполнения"],
labeldirections = [HORIZONTAL, VERTICAL], gridlines = true, font = [Arial, Bold,
12]);

```



```

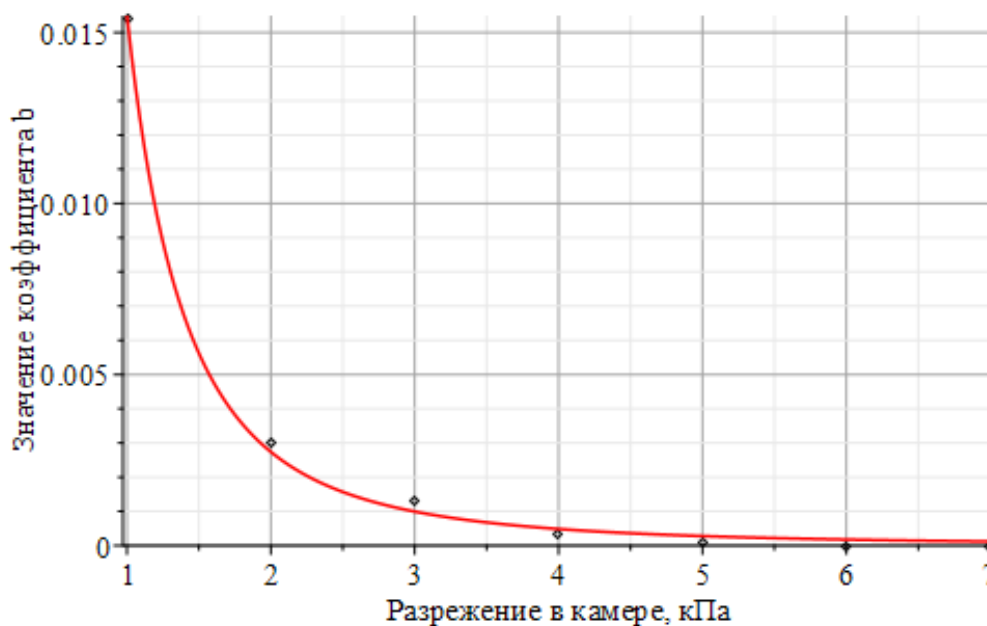
> seq([evalf(f[a])], a = 1 .. j_vacuum);
> x := 1;
> degree_disc := Matrix(1, 7, [-seq(evalf(exp_degree[a]), a = 1 .. j_vacuum)]);
> X := Matrix(1, 7, [seq(10^(-1)*Seed_matrix[Counter_vacuum[a] - 2, 1], a = 1 .. 7)]);

```

```

> A := plots[pointplot]([seq([evalf(Seed_matrix[Counter_vacuum[a] - 2, 1]/10), evalf(-
exp_degree[a])], a = 1 .. j_vacuum)], style = point, labels = ["Разрежение в камере,
кПа", "Значение коэффициента b"], labeldirections = [HORIZONTAL,
VERTICAL]);
> x := 'x';
> degree_disc[1, 1];
> step_func := Statistics[Fit](b/po^2.5, X[1], degree_disc, po, summarize = embed);
> SF := plot(step_func, po = 1 .. 7, color = color_vector[2]);
> plots[display](A, SF, gridlines = true);
>      psi      :=      (omega,      p)      ->      exp(-
1/1000*count_coles_disc*omega^3/(p^2*sqrt(p)))*(cos(1/2*Pi)*omega/p^0.5      +
sin(1/2*Pi));
> i := 0;

```

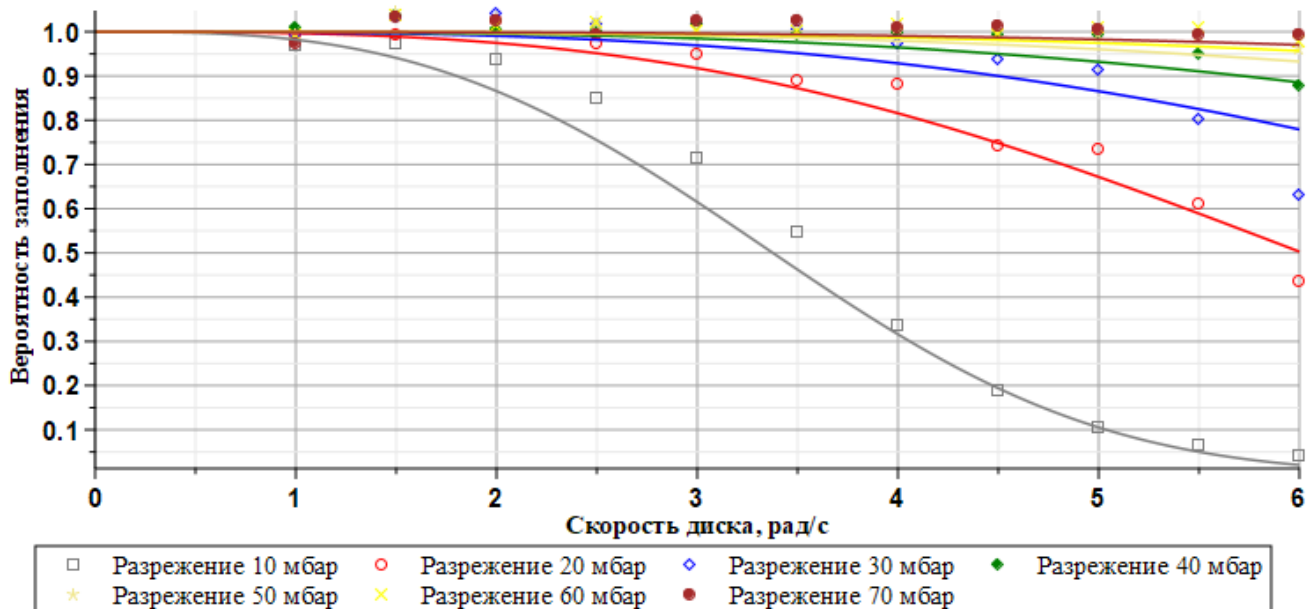


```

> for i to j_vacuum do
>   p := i;
>   Fit_Graph[i] := plot(psi(omega, p), omega = 0 .. 6, color = color_vector[i]);
> end do;
> plots[display](seq([Fit_Graph[a]], a = 1 .. j_vacuum), legend = [seq(seed_legend[a], a
= 1 .. j_vacuum)], labels = ["Скорость диска, рад/с", "Вероятность заполнения"],
labeldirections = [HORIZONTAL, VERTICAL]);

```

```
> plots[display](seq([Fit_Graph[a]], a = 1 .. j_vacuum), seq([Plot_seed[a]], a = 1 ..
j_vacuum), legend = [seq(seed_legend[a], a = 1 .. j_vacuum), seq(seed_legend[s], s = 1
.. j_vacuum)], labels = ["Скорость диска, рад/с", "Вероятность заполнения"],
labeldirections = [HORIZONTAL, VERTICAL], gridlines = true, font = [Arial, Bold,
12]);
```



```
> Matrix(2, 2, [[18, 48], [0.018, 0.048]]);
> psi := 'psi';
> s := 's';
> p := 'p';
> fg := diff(psi(s), s, s) + 2*mu*diff(psi(s), s) + mu^2*psi(s) = 0;
> dss := dsolve(fg);
> s := (omega/p)^2;
> mu := omega*N*10^(-3)/sqrt(p);
> i := 7;
> f[i] := Statistics[Fit](exp(-b*x^3)*(cos(Pi/2)*x^3 + sin(Pi/2)),
10*Column(seed_slice[i], 2), Column(seed_slice[i], 8)*10^(-2), x);
> plot(f[i], x = 0 .. 6, color = color_vector[i]);
> Mln := Matrix(1, cv_index);
> it := 0;
> for it to cv_index do
```

```

> Mln[1, it] := -ln(Column(seed_slice[i], 8)[it]*10^(-2)/it^2.5);
> end do;
> Plot_seed[i] := plots[pointplot]([seq([10*Column(seed_slice[i], 2)[a], Mln[1, a]], a =
1 .. cv_index)], style = point, color = color_vector[i], symbol = symbol_vector[i],
symbolsize = 10);
> step_func := Statistics[Fit](a*x + b, 10*Column(seed_slice[i], 2), Row(Mln, 1), x,
summarize = embed);
> plots[display](plot(step_func, x = 0 .. 6, color = color_vector[i]), Plot_seed[i], labels =
["Скорость диска, рад/с", "Логарифм вероятности заполнения,  $\ln(\psi/p^2)$ "],
labeldirections = [HORIZONTAL, VERTICAL], gridlines = true);

```

Приложение Д

Программа моделирования полета семени в камере делителя потока

```

> restart;
> chute_length := 0.100;
> chute_hight := 0.140;
> chute_corner := Pi/4;
> guide_length := 0.018;
> guide_corner := 89.9*Pi/180;
> seed_hight := 0.160;
> event_horizon := 0.022;
> length_jet := 0.01;
> coeff_soaring := 0.0996492;
> speed_seed := 1.06;
> coeff_friction := 0.31;
> with(ScientificConstants);
> GetConstants();
> grav := GetValue(Constant(g));
> with(plottools);
> with(plots);
> stop_chute := chute_hight - chute_length*cos(chute_corner);
> start_guide := tan(guide_corner)*stop_chute + stop_chute;
> stop_splitter := start_guide/tan(guide_corner);
> back_splitter := x -> piecewise(x <= -stop_splitter, 0, x <= -stop_chute,
tan(guide_corner)*x + start_guide, x <= 0, tan(chute_corner)*x + chute_hight, x <=
stop_chute, tan(-chute_corner)*x + chute_hight, x <= stop_splitter, tan(-
guide_corner)*x + start_guide);
> func_splitter := plot(back_splitter(x), x = -0.095 .. 0.095, color = red, thickness = 2);
> stop_cap := event_horizon + chute_length*cos(chute_corner);
> start_cap_guide := tan(guide_corner)*stop_cap + stop_cap;

```

```

> cap_splitter := x -> piecewise(x <= -stop_cap, 0, x <= -event_horizon,
tan(chute_corner)*x + seed_hight + event_horizon, x <= event_horizon, seed_hight, x
<= stop_cap, tan(-chute_corner)*x + seed_hight + event_horizon);
> func_cap := plot(cap_splitter(x), x = -0.095 .. 0.095, color = red, thickness = 2);
> hight_jet := length_jet + seed_hight;
> line_1 := line([-event_horizon, seed_hight], [-event_horizon, hight_jet], color = black,
linestyle = 1);
> line_2 := line([event_horizon, seed_hight], [event_horizon, hight_jet], color = black,
linestyle = 1);
> line_3 := line([-event_horizon, hight_jet], [event_horizon, hight_jet], color = black,
linestyle = 1);
> plots[display](line_1, line_2, line_3, func_splitter, func_cap, labels = ["z", "y"]);
> speed_wind := 30;
> length_x := chute_hight*tan(chute_corner);
> f := x -> -chute_hight*x/length_x + chute_hight;
> mirror_f := x -> chute_hight*x/length_x + chute_hight;
> it := 1;
> initial_condition[it] := x(0) = 0, y(0) = length_jet + seed_hight, D(x)(0) = 0, D(y)(0) =
-speed_seed;
> equation_winde[it] := diff(x(t), t $ 2) + coeff_soaring*diff(x(t), t)*(diff(x(t), t)^2 +
diff(y(t), t)^2)^0.5 - coeff_soaring*speed_wind^2 = 0, diff(y(t), t $ 2) +
coeff_soaring*diff(y(t), t)*(diff(x(t), t)^2 + diff(y(t), t)^2)^0.5 + grav = 0;
> deg := {x(t), y(t)};
> decision_winde[it] := dsolve({equation_winde[it], initial_condition[it]}, deg,
numeric, output = listprocedure);
> X[it] := subs(decision_winde[it], x(t));
> Y[it] := subs(decision_winde[it], y(t));
> VX[it] := subs(decision_winde[it], diff(x(t), t));
> VY[it] := subs(decision_winde[it], diff(y(t), t));
> time_flight[it] := fsolve(Y[it] - seed_hight, 0 .. 1);

```

```

> x_flight[it] := X[it](time_flight[it]);
> y_flight[it] := Y[it](time_flight[it]);
> vx_flight[it] := VX[it](time_flight[it]);
> vy_flight[it] := VY[it](time_flight[it]);
> graph_flight[it] := plots[odeplot](decision_winde[it], [x(t), y(t)], t = 0 ..
time_flight[it]);
> speed_seed_flight[it] := sqrt(vx_flight[it]^2 + vy_flight[it]^2);
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = vx_flight[it - 1], D(y)(time_flight[it - 1]) =
vy_flight[it - 1];
> equation_flight := diff(x(t), t $ 2) + coeff_soaring*diff(x(t), t)*(diff(x(t), t)^2 +
diff(y(t), t)^2)^0.5 = 0, diff(y(t), t $ 2) + coeff_soaring*diff(y(t), t)*(diff(x(t), t)^2 +
diff(y(t), t)^2)^0.5 + grav = 0;
> decision_winde[it] := dsolve({equation_flight, initial_condition[it]}, deg, numeric,
output = listprocedure);
> X[it] := subs(decision_winde[it], x(t));
> Y[it] := subs(decision_winde[it], y(t));
> VX[it] := subs(decision_winde[it], diff(x(t), t));
> VY[it] := subs(decision_winde[it], diff(y(t), t));
> time_flight[it] := fsolve(Y[it] - f(X[it]), 0 .. 2);
> x_flight[it] := X[it](time_flight[it]);
> condition_wind := x_flight[it] < evalf(stop_splitter);
> if condition_wind then
>   print("");
> else
>   time_flight[it] := fsolve(X[it](ff) = stop_cap);
>   x_flight[it] := X[it](time_flight[it]);
> end if;
> y_flight[it] := Y[it](time_flight[it]);

```

```

> speed_seed_flight[it] := sqrt(VX[it](time_flight[it])^2 + VY[it](time_flight[it])^2);
>
> corner_enter_flight[it] := evalf(180*arctan(-
VY[it](time_flight[it])/VX[it](time_flight[it]))/Pi);
> ugol_naklona := evalf(180*arctan(chute_hight/length_x)/Pi);
> l1 := line([0, chute_hight], [length_x, 0], color = black, linestyle = 1);
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[2]) = x_flight[2], y(time_flight[2]) = y_flight[2],
D(x)(time_flight[2]) = speed_seed_flight[2]*sin(corner_enter_flight[2]*Pi/180),
D(y)(time_flight[2]) = -speed_seed_flight[2]*cos(corner_enter_flight[2]*Pi/180);
> proc_flight_options := proc(ip, stop_time) global decision_winde, X, Y, VX, VY,
time_flight, x_flight, y_flight, corner_enter_flight, speed_seed_flight, graph_flight;
decision_winde[ip] := dsolve({equation_flight, initial_condition[ip]}, deg, numeric,
output = listprocedure); X[ip] := subs(decision_winde[ip], x(t)); Y[ip] :=
subs(decision_winde[ip], y(t)); VX[ip] := subs(decision_winde[ip], diff(x(t), t)); VY[ip]
:= subs(decision_winde[ip], diff(y(t), t)); time_flight[ip] := fsolve(X[ip](ff) =
stop_time); if Y[ip](time_flight[ip]) < 0 then time_flight[ip] := fsolve(Y[ip](ff) = 0);
else ; end if; x_flight[ip] := X[ip](time_flight[ip]); y_flight[ip] := Y[ip](time_flight[ip]);
corner_enter_flight[ip] := evalf(180*arctan(-
VY[ip](time_flight[ip])/VX[ip](time_flight[ip]))/Pi); speed_seed_flight[ip] :=
sqrt(VX[ip](time_flight[ip])^2 + VY[ip](time_flight[ip])^2); end proc;
> if condition_wind then proc_flight_options(it, stop_cap); initial_condition[it + 1] :=
x(time_flight[3]) = x_flight[3], y(time_flight[3]) = y_flight[3], D(x)(time_flight[3]) = -
speed_seed_flight[3]*cos(corner_enter_flight[3]*Pi/180), D(y)(time_flight[3]) = -
speed_seed_flight[3]*sin(corner_enter_flight[3]*Pi/180); it := it + 1; else
initial_condition[it] := x(time_flight[2]) = x_flight[2], y(time_flight[2]) = y_flight[2],
D(x)(time_flight[2]) = -speed_seed_flight[2]*cos(corner_enter_flight[2]*Pi/180),
D(y)(time_flight[2]) = -speed_seed_flight[2]*sin(corner_enter_flight[2]*Pi/180); end if;
> proc_flight_options(it, stop_chute);
> time_flight[it];
> speed_seed_flight[it];

```

```

> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = speed_seed_flight[it -
1]*cos(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180), D(y)(time_flight[it - 1]) =
speed_seed_flight[it - 1]*sin(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180);
> proc_flight_options(it, stop_cap);
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = -speed_seed_flight[it -
1]*cos(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180), D(y)(time_flight[it - 1]) = -
speed_seed_flight[it - 1]*sin(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180);
> proc_flight_options(it, stop_chute);
> it := 7;
> equation_winde[it] := diff(x(t), t $ 2) + coeff_soaring*diff(x(t), t)*(diff(x(t), t)^2 +
diff(y(t), t)^2)^0.5 + coeff_soaring*speed_wind^2 = 0, diff(y(t), t $ 2) +
coeff_soaring*diff(y(t), t)*(diff(x(t), t)^2 + diff(y(t), t)^2)^0.5 + grav = 0;
> decision_winde[it] := dsolve({equation_winde[it], initial_condition[1]}, deg, numeric,
output = listprocedure);
> X[it] := subs(decision_winde[it], x(t));
> Y[it] := subs(decision_winde[it], y(t));
> VX[it] := subs(decision_winde[it], diff(x(t), t));
> VY[it] := subs(decision_winde[it], diff(y(t), t));
> time_flight[it] := fsolve(Y[it] - seed_hight, 0 .. 1);
> x_flight[it] := X[it](time_flight[it]);
> y_flight[it] := Y[it](time_flight[it]);
> vx_flight[it] := VX[it](time_flight[it]);
> vy_flight[it] := VY[it](time_flight[it]);
> graph_flight[it] := plots[odeplot](decision_winde[it], [x(t), y(t)], t = 0 ..
time_flight[it]);
> speed_seed_flight[it] := sqrt(vx_flight[it]^2 + vy_flight[it]^2);

```

```

> l2 := line([0, chute_height], [-length_x, 0], color = black, linestyle = 1);
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = vx_flight[it - 1], D(y)(time_flight[it - 1]) =
vy_flight[it - 1];
> decision_winde[it] := dsolve({equation_flight, initial_condition[it]}, deg, numeric,
output = listprocedure);
> X[it] := subs(decision_winde[it], x(t));
> Y[it] := subs(decision_winde[it], y(t));
> VX[it] := subs(decision_winde[it], diff(x(t), t));
> VY[it] := subs(decision_winde[it], diff(y(t), t));
> if condition_wind then
>   time_flight[it] := fsolve(Y[it] - mirror_f(X[it]), 0 .. 2);
> else
>   time_flight[it] := fsolve(X[it](ff) = -stop_cap);
> end if;
> x_flight[it] := X[it](time_flight[it]);
> y_flight[it] := Y[it](time_flight[it]);
> speed_seed_flight[it] := sqrt(VX[it](time_flight[it])^2 + VY[it](time_flight[it])^2);
>   corner_enter_flight[it] := evalf(180*arctan(-
VY[it](time_flight[it])/VX[2](time_flight[it]))/Pi);
> it := 9;
> initial_condition[it] := x(time_flight[8]) = x_flight[8], y(time_flight[8]) = y_flight[8],
D(x)(time_flight[8]) = -speed_seed_flight[8]*sin(corner_enter_flight[8]*Pi/180),
D(y)(time_flight[8]) = -speed_seed_flight[8]*cos(corner_enter_flight[8]*Pi/180);
> if condition_wind then proc_flight_options(it, -stop_cap); initial_condition[it + 1] :=
x(time_flight[9]) = x_flight[9], y(time_flight[9]) = y_flight[9], D(x)(time_flight[9]) =
speed_seed_flight[9]*cos(corner_enter_flight[9]*Pi/180), D(y)(time_flight[9]) =
speed_seed_flight[9]*sin(corner_enter_flight[9]*Pi/180); it := it + 1; else
initial_condition[it] := x(time_flight[8]) = x_flight[8], y(time_flight[8]) = y_flight[8],

```

```

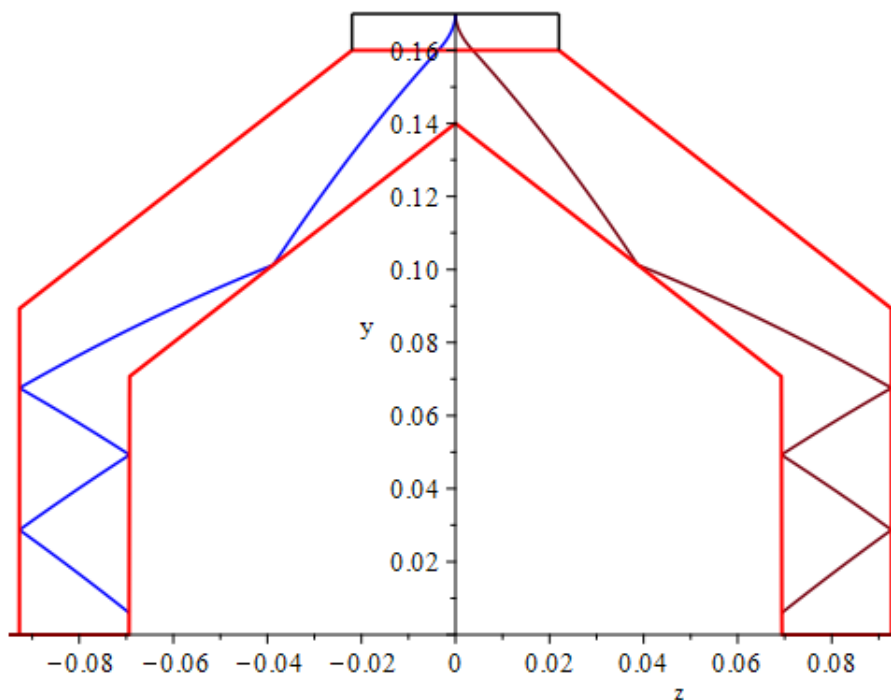
D(x)(time_flight[8])    =    speed_seed_flight[8]*cos(corner_enter_flight[8]*Pi/180),
D(y)(time_flight[8]) = -speed_seed_flight[8]*sin(corner_enter_flight[8]*Pi/180); end if;
> proc_flight_options(it, -stop_chute);
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = -speed_seed_flight[it -
1]*cos(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180), D(y)(time_flight[it - 1]) = -
speed_seed_flight[it - 1]*sin(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180);
> proc_flight_options(it, -stop_cap);
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = speed_seed_flight[it -
1]*cos(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180), D(y)(time_flight[it - 1]) =
speed_seed_flight[it - 1]*sin(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180);
> proc_flight_options(it, -stop_chute);
> corner_enter_flight[it];
> speed_seed_flight[it];
> it := it + 1;
> initial_condition[it] := x(time_flight[it - 1]) = x_flight[it - 1], y(time_flight[it - 1]) =
y_flight[it - 1], D(x)(time_flight[it - 1]) = speed_seed_flight[it -
1]*sin(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180), D(y)(time_flight[it - 1]) =
speed_seed_flight[it - 1]*cos(corner_enter_flight[it - 1]*Pi/180);
> proc_flight_options(it, -stop_cap);
> corner_enter_flight[it];
> time_flight[0] := 0;
> if condition_wind then
>   number_do := 6;
>   as := 12;
> else
>   number_do := 3;

```

```

> as := 9; end if;
> it := 0;
> for it to number_do do
>   if it = 7 then graph_flight[it] := plots[odeplot](decision_winde[it], [x(t), y(t)], t =
time_flight[0] .. time_flight[it]);   else   graph_flight[it] :=
plots[odeplot](decision_winde[it], [x(t), y(t)], t = time_flight[it - 1] .. time_flight[it]);
end if; end do;
> time_flight[0] := 0;
> it := 0;
> for it from 7 to as do
>   if it = 7 then graph_flight[it] := plots[odeplot](decision_winde[it], [x(t), y(t)], t =
time_flight[0] .. time_flight[it], color = "Blue"); else graph_flight[it] :=
plots[odeplot](decision_winde[it], [x(t), y(t)], t = time_flight[it - 1] .. time_flight[it],
color = "Blue"); end if; end do;
> display(seq(graph_flight[a], a = 1 .. 2), seq(graph_flight[a], a = 7 .. 8), l1, l2, labels =
["z", "y"]);
> plots[display](seq(graph_flight[a], a = 1 .. number_do), seq(graph_flight[a], a = 7 ..
as), func_splitter, func_cap, line_1, line_2, line_3, labels = ["z", "y"]);

```



Приложение Е

Оценка достоверности нелинейной регрессии вероятности заполнения отверстий диска с помощью критерия Фишера

В результате аппроксимации значений эксперимента по определению вероятности присасывания семян к диску в зависимости от разрежения и угловой скорости было получено уравнение следующего вида:

$$\psi = e^{-\frac{\omega^3 N_{\text{от.}} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^{2,5}}} \left(\omega \Delta H^{-0,5} \cos \frac{\pi}{2} + \sin \frac{\pi}{2} \right).$$

Для оценки достоверности представленной нелинейной регрессии, необходимо ее преобразовать к линейному виду. Для этого мы берем логарифм от вероятности и получаем степенное значение

$$\ln \psi = -\frac{\omega^3 N_{\text{от.}} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^{2,5}}.$$

Затем получаем уравнение следующего вида:

$$y_i = \ln \psi_i,$$

где ψ_i – значение вероятности для i -го значения скорости. Для расчета критерия Фишера мы воспользовались следующей формулой:

$$F = \frac{S_{\text{факт}}^2}{S_{\text{ост}}^2} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \cdot (n - 2)$$

где $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ – факторная сумма квадратов, обусловленная регрессией;

$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$ – остаточная сумма квадратов, обусловленная случайными причинами;

n – количество наблюдений.

Сводная таблица результатов регрессионного анализа представлена в таблице Е.1. В таблице видим, что наблюдаемый критерий Фишера больше критических значений для заданного уровня значимости α . Соответственно, уравнение регрессии для разрежения в 10 мбар является значимым на уровне 0,5. При разрежении в 20...30 мбар уровень значимости становится 0,1, а выше 40 мбар уровень значимости составляет 0,05.

Таблица Е.1 – Результаты регрессионного анализа преобразованной нелинейной регрессии

Разрежение, мбар	10	20	30	40	50	60	70
i	11	11	11	11	11	11	11
$\Sigma \omega_i$	38,500	38,500	38,500	38,500	38,500	38,500	38,500
Σy_i	0,714	1,216	1,420	1,552	1,650	1,723	1,790
$\bar{\omega}$	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
$\bar{y}$	0,065	0,111	0,129	0,141	0,150	0,157	0,163
$\bar{\omega y}$	0,120	0,279	0,333	0,368	0,392	0,408	0,426
σ_{ω}	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581
σ_y	0,071	0,076	0,084	0,090	0,096	0,100	0,103
r_B	0,556	0,838	0,906	0,938	0,959	0,970	0,985
D	0,309	0,703	0,820	0,880	0,920	0,941	0,971
$\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2$	0,00026	0,00002	0,00004	0,00001	0,00002	0,00001	0,00002
$\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y})^2$	0,059	0,063	0,077	0,090	0,100	0,109	0,118
$ss_{\text{факт}}^2$	0,029	0,032	0,039	0,045	0,050	0,054	0,059
$ss_{\text{ост}}^2$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$F_{\text{набл}}$	1,789	9,467	18,236	29,373	45,758	63,364	132,637
$F_{\text{кр}}$	1,321	9,367	9,367	19,371	19,371	19,371	19,371
α	0,5	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05

Представленное уравнение регрессии является достоверным на высоком уровне значимости при высоких значениях разрежения, следовательно, оно может быть использовано при подборе требуемого значения разрежения при посеве семян дражированной сахарной свеклы на сеялке ТС-М 4150А.

Приложение Ж

Анализ методик расчета коэффициента запаса присасывающей силы

Приведенные методики расчета коэффициента запаса присасывающей силы по данным из обзорной главы и с помощью уточненного нами математического аппарата были проанализированы и представлены в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 – Сводная таблица показателей анализа методик расчета

Скорость диска, рад/с		1	2	3	4	5	6
Результирующая сила сопротивления, Н	предложенная методика	0,0012	0,0013	0,0014	0,0017	0,0020	0,0025
	методика из обзора	0,0004	0,0006	0,0009	0,0014	0,0021	0,0029
	отношение сил	3,4251	2,2509	1,5337	1,1590	0,9616	0,8525
Коэффициент запаса (30 мбар)	предложенная методика	1,2963	1,2206	1,0955	0,9389	0,7788	0,6361
	методика из обзора	4,4400	2,7475	1,6801	1,0882	0,7489	0,5423
Вероятность заполнения (30 мбар)		0,9950	1,0410	1,0190	0,9730	0,9130	0,6310
Отношение коэффициента запаса к вероятности заполнения	предложенная методика	1,3028	1,1725	1,0750	0,9649	0,8530	1,0081
	методика из обзора	4,4624	2,6393	1,6487	1,1184	0,8203	0,8594
Сила присасывания, Н (30 мбар)		0,0016					

При анализе показателя отношения результирующих сил сопротивления определили, что при низкой частоте вращения диска сила из обзорной методики меньше в 3 раза силы, рассчитанной нами, а при высокой – уточненная методика составляет 85% от обзорной. Для оценки адекватности математического аппарата в описании экспериментальных данных мы нашли отношение коэффициента запаса присасывающей силы к вероятности заполнения отверстий для 30 мбар. Оценка показала, что при уточненной методике относительный показатель принимал значения, близкие к 1, а при использовании методики из обзора – от 0,5 до 3,4. Проведем проверку достоверности описания математической моделью вероятности заполнения отверстий с помощью критерия Фишера в таблице Ж.2.

Таблица Ж.2 – Проверка достоверности гипотезы с помощью критерия Фишера

Показатели	Предложенная методика	Методика из обзора
$SS_{\text{факт}}$	0,1419	5,4835
$SS_{\text{ост}}$	0,1481	15,2653
$F_{\text{набл.}}$	3,8324	1,43687
$F_{\text{кр.}}$	3,7213	1,33212
Уровень значимости	0,36	0,55

На основании анализа достоверности можно сделать вывод, что для разрежения в 30 мбар коэффициент запаса и вероятность заполнения коррелируют на уровне значимости 0,36 для уточненного математического аппарата и 0,55 для математического аппарата из обзора. Соответственно, уточненный нами математический аппарат может адекватно описывать процесс присасывания семян и с определенной точностью предсказывать вероятность заполнения отверстий диска, устанавливаемую экспериментальной зависимостью.

Приложение И

УТВЕРЖДАЮ

Директор Общества с ограниченной
ответственностью



«Техника Сервис Агро»
С.В. Кустовинов

31 октября 2023г.

Акт

передачи и внедрения результатов исследований
процесса разделения дражированных семян сахарной свёклы, подаваемых
одним высевальным аппаратом пневматической сеялки точного посева
ТС-М-4150А на два воздушным потоком, для посева семян сахарной
свёклы ленточным способом

Обществом с ограниченной ответственностью «Техника Сервис Агро» (ООО «Техника Сервис Агро») получены материалы исследований процесса деления потока семян от одного высевального аппарата с их подачей в две строки для ленточного посева дражированных семян сахарной свёклы, проведенные на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) аспирантом Солдатовым Юрием Игоревичем (руководитель профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, д.т.н., доцент Гиевский Алексей Михайлович) и представленные им в подготовленной к защите диссертационной работе.

Полученные материалы содержат:

- аналитический обзор существующих технологий и машин, используемых в семеноводстве сахарной свёклы;
- математическую модель прогнозирования урожайности семян сахарной свёклы при использовании схемы посева 45×15 см;
- аналитически и экспериментально обоснованные рациональные параметры делителя потока семян к высевальной секции сеялки точного посева, позволяющего производить посев семян сахарной свёклы ленточным способом в две строки с междурядьем 15 см одним высевальным аппаратом;
- экспериментально обоснованное давление сжатого воздуха, обеспечивающее разделение семян делителем на два потока от одного высевального аппарата с учетом скоростного режима движения посевного агрегата.
- Патент 212300 Р Ф, А01С 7/00 (2006.01). Высевальная секция пневматической сеялки точного посева;
- Патент 2790664 Р Ф, А01С 7/04 (2006.01). Пневматический аппарат для двустрочного посева пропашных культур;
- Программы расчёта коэффициента заполняемости отверстий высевального диска (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022680384 РФ), прогнозируемой урожайности сахарной свёклы (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022662118/69 РФ), статистической обработки физических характеристик семян, прошед-

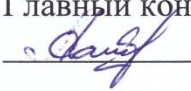
ших решётную очистку (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022667608 РФ).

- практические рекомендации по конструкции делителя потока семян на высевающую секцию сеялки точного посева, позволяющего производит посев семян сахарной свёклы ленточным способом в две строки одним высевающим аппаратом; установке требуемого разрежения в вакуумной камере и максимальной угловой скорости диска высевающего аппарата сеялки точного посева ТС-М-4150А и настройке технологических параметров делителя потока.

Переданные материалы исследований представляют несомненный практический интерес и будут использоваться ООО «Техника Сервис Агро» при разработке делителей для семеноводческих хозяйств.

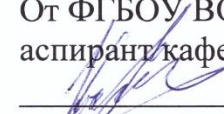
От ООО «Техника Сервис Агро»:

Главный конструктор»

 (С.А. Татаринцев)

От ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ:

аспирант кафедры СХМ, Т и А

 Ю.И. Солдатов

профессор кафедры СХМ, Т и А

 А.М. Гиевский

Приложение К

РЕКОМЕНДОВАНО
Учебно-методической комиссией
Агроинженерного факультета
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
Протокол №3 от 23.11.2023
Председатель Костиков О.М.

УТВЕРЖДАЮ ректор ФГБОУ ВО
Воронежский государственный
аграрный университет имени
императора Петра I
Агибалов А.В.

АКТ

о внедрении результатов научных исследований в учебный процесс

Комиссия в составе преподавателей кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей и кафедры математики и физики Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ): заведующего кафедрой Оробинского В.И. старшего преподавателя Солдатова Ю.И. и членов учебно-методической комиссии ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ Афоницева Д.Н., Баскакова И.В. составила настоящий акт о том, что результаты научных исследований по теме «Совершенствование делителя для ленточного посева семян сахарной свеклы пневматическим высевальным аппаратом», выполненных на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей старшим преподавателем Солдатовым Ю.И. под руководством профессора Гиевского А.М., внедрены в учебный процесс кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке студентов обучающихся по направлениям 35.03.06 Агроинженерия, направленность (профиль) «Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт машин», 35.04.06 Агроинженерия, направленность (профиль) «Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве»

Использование представленных результатов научных исследований при выполнении обучающимися лабораторных работ по дисциплинам: основы теории рабочих процессов сельскохозяйственных машин, механизация и автоматизация технологических процессов в растениеводстве, связанных с настройкой и использованием высевального аппарата сеялки точного посева, способствует повышению качества образования и совершенствованию профессиональной подготовки обучающихся.

Представитель
учебно-методической комиссии
агроинженерного факультета
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ



Афоницев Д.Н.

Представитель
кафедры сельскохозяйственных машин,
тракторов и автомобилей



Чернышов А.В.