

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛОГОДСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОЛОЧНОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Н.В. ВЕРЕЩАГИНА»

На правах рукописи

Белозерова Светлана Владимировна

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО
МАТЕРИАЛА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ
СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Савиных Петр Алексеевич

ВОЛОГДА – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ЭМП СВЧ).....	11
1.1 Способы предпосевной обработки семян зерновых культур для повышения всхожести и обеззараживания семян	11
1.2 Анализ способов и конструктивно-технологических схем технических средств для СВЧ-обработки семенного и фуражного зерна	19
1.3 Обзор теоретических исследований по проблеме обработки семян зерновых культур в электромагнитном поле СВЧ диапазона.....	34
1.4 Заключение по первой главе. Цель и задачи исследований.....	45
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ПО ВИБРИРУЮЩЕМУ ВОГНУТОМУ ЖЕЛОБУ.....	47
2.1 Обоснование теоретических исследований	47
2.2 Теоретический расчет перемещения частиц по вибрирующей цилиндрической поверхности.....	50
2.3 Результаты моделирования траектории движения частицы на рабочей поверхности вибротранспортера.....	58
2.3.1 Влияние амплитуды колебаний вибротранспортера вдоль оси абсцисс (Ox) на траекторию движения частицы.....	60
2.3.2 Влияние угловой скорости вращения эксцентриков на траекторию движения частицы	62
2.3.3 Влияние радиуса желоба на траекторию движения частицы	65
2.3.4 Влияние продольного угла наклона желоба на траекторию движения частицы	67
2.4 Заключение по второй главе.....	69
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	70
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	70
3.2 Описание экспериментальной установки.....	71
3.3 Приборы и оборудование.....	74

3.4	Методика проведения исследований по оценке влияния конструктивно-технологических параметров экспериментальной установки на ее пропускную способность.....	77
3.5	Особенности проведения исследований при использовании СВЧ-излучения на семена зерновых культур	79
3.6	Методика оценки посевных свойств зернового материала	83
3.7	Условия и методика проведения полевого опыта	84
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	88
4.1	Результаты предварительных исследований по обоснованию необходимости обработки семян зерновых культур СВЧ-излучением.....	88
4.1.1	Влияние высоты слоя обрабатываемых семян на температуру их нагрева.....	88
4.1.2	Исследования по оценке влияния времени обработки СВЧ-излучением на всхожесть и энергию прорастания.....	91
4.2	Влияние СВЧ-обработки на равномерность распределения температуры при неподвижном и псевдосжиженном состоянии семян, а также на энергию их прорастания и всхожесть.....	92
4.3	Исследование влияния конструктивно-технологических параметров вибротранспортера на время движения зернового слоя	96
4.4	Оптимизация конструктивно-технологических параметров.....	103
4.5	Оценка влияния предпосевной СВЧ-обработки зерна на количество всходов и урожайность	110
4.6	Заключение по четвертой главе.....	113
5	РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА	114
5.1	Результаты производственных испытаний	114
5.2	Технико-экономическая оценка установки для предпосевной СВЧ-обработки семенного материала.....	117
5.2.1	Определение экономических показателей СВЧ-обработки семян.....	119
5.2.2	Определение показателей ресурсосбережения.....	122

5.2.3 Экономическая оценка альтернативного варианта предпосевной обработки зерна.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
Приложение А – Акт о внедрении в учебный процесс	153
Приложение Б – Патент на изобретение.....	155
Приложение В – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	157
Приложение Г – Технологическая карта	159
Приложение Д – Пример протокола проверки на всхожесть семенного материала.....	162
Приложение Е – Справка о результатах работы на опытном поле.....	164
Приложение Ж – Акт производственных испытаний в ООО «Зазеркалье».....	166
Приложение И – Акт о внедрении СПК «Колхоз «Андога»	168
Приложение К – Протокол проверки на всхожесть семенного материала после обработки в ООО «Зазеркалье»	170
Приложение Л – Протокол проверки на всхожесть семенного материала после обработки в СПК «Колхоз «Андога»	172
Приложение М – Протокол о проведении фитосанитарного обследования семенного материала после обработки в ООО «Зазеркалье».....	174
Приложение Н – Протокол о проведении фитосанитарного обследования семенного материала после обработки в СПК «Колхоз «Андога»	175

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В распоряжении правительства РФ от 10 августа 2019 года за № 1796-р «Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года» обозначена необходимость в разработке инновационных подходов выращивания зерновых культур, в том числе, обеспечение производства фуражного зерна не менее 50 млн. т при увеличении производства продукции скота и птицы до 17 млн. т. В связи с чем уже сейчас требуются технологии, способные обеспечить устойчивый прирост продукции сельскохозяйственного производства.

На территории России почти три четверти производства от всего зернового комплекса РФ сосредоточены в регионах Центрального, Южного, Приволжского и Сибирского федеральных округов. Тогда как регионы Северо-Западного, Уральского, Дальневосточного и Северо-Кавказского федеральных округов не всегда могут обеспечить себя достаточным объемом собственного производства зерновых культур. Тем самым не обеспечивается их продовольственная безопасность по этому показателю, что, в конечном счете, сказывается на стоимости зерна в этих регионах, вызванными вопросами транспортировки и хранения зерна.

Примером этого может служить технология обработки семенного материала в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (далее ЭМП СВЧ), с целью мобилизации энергии роста в зерне. Что в конечном итоге способствует повышению урожайности зерновых культур за счет улучшения всхожести зернового материала и устойчивости к вредителям и болезням. По мнению многих зарубежных и отечественных ученых, предпосевную обработку семенного материала в ЭМП СВЧ относят к «зеленым технологиям», т.е. к обеспечивающим снижение отрицательного влияния на окружающую среду при оптимизировании издержек на производство.

Также согласно Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017...2030 годы внедрение обработки семенного зерна в

ЭМП СВЧ относится к инновационным решениям, способствующим росту производства высококачественных кормов для всех групп животных. Это позволит применять безопасные технологии при выращивании зерновых культур и обеспечить устойчивое развитие отрасли.

Степень разработанности темы. Вопросы разработки технических средств для производства зерновых культур рассматриваются многими отечественными и зарубежными учеными, которые нашли свое отражение в фундаментальных исследованиях. В области использования ЭМП СВЧ в аграрном секторе можно выделить работы А.А. Бабенко, А.Н. Васильева, С.В. Вендина, И.А. Рогова, О.М. Соболевой и др.

Разработка технических средств для обработки зерновых культур в ЭМП, в том числе и СВЧ отражена в исследованиях: А.Г. Аксенова, А.А. Бабенко, А.А. Белова, М.В. Белова, Д.А. Будникова, А.Н. Васильева, С.В. Вендина, И.Р. Ганеева, А.С. Казакова, Ф.А. Киприянова, Е.Ф. Кислова, А.В. Лыкова, Г.А. Максимова, А.Н. Малахова, Н.П. Мишурова, С.В. Некрутмана, В.И. Пахомова, Г. Пюшнера, И.А. Рогова, П.А. Савиных, Ю.А. Собченко, Г.В. Степанчук, М.В. Суханова, В.И. Сыроватка, В.А. Сысуева, И.М. Чекрыгина и др.

Эти работы предоставляют теоретическую основу для проведения исследования по обоснованию конструктивно-технологических параметров технических средств для обработки семенного материала злаковых культур в ЭМП СВЧ.

Несмотря на наличие множества научных работ в области применения электромагнитного излучения в народном хозяйстве, необходимо отметить, что недостаточно проработаны теоретические и научно-практические аспекты технических средств, используемых для облучения семян зерновых культур в ЭМП СВЧ. И, в частности, в условиях Северо-Западного федерального округа, относящегося к зоне рискованного земледелия.

Цель исследования. Совершенствование конструкции и оптимизация конструктивно-технологических параметров установки для обработки семенного материала злаковых культур в электромагнитном поле сверхвысокой частоты для повышения его качества.

В соответствии с целью исследования поставлены следующие задачи:

- разработать конструктивно-технологическую схему установки для СВЧ обработки семян злаковых культур;
- разработать математическую модель движения частицы в зависимости от геометрических параметров и кинематических режимов работы вибрирующего желоба установки для предпосевной обработки зерна;
- провести экспериментальные исследования по установлению рациональных конструктивных и технологических параметров транспортирующего устройства установки для предпосевной обработки зерна, обеспечивающие равномерное облучение семенного материала;
- обосновать экономическую эффективность предпосевной обработки семян зерновых культур электромагнитным полем СВЧ диапазона.

Объект исследования. Технологический процесс предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле СВЧ диапазона.

Предмет исследования. Конструктивно-технологические параметры установки для предпосевной СВЧ-обработки зерна, обеспечивающие повышение урожайности злаковых культур.

Методология и методы исследований. Исследование проведено на основе системного подхода, при котором используется сочетание теоретических и экспериментальных методов, в том числе в лабораторных и производственных условиях.

Определение оптимальных теоретических и экспериментальных параметров осуществлено в лабораторных и производственных условиях, на основании статистических, математических и физических методов. Обработка результатов исследований выполнялась с использованием пакета программ Excel и Statgraphics.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

- в разработке функциональной схемы экспериментальной установки предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле СВЧ-диапазона, обеспечивающей возможность регулировки продолжительности и условий обработки зерна, а также равномерность воздействия электромагнитного излучения в результате создания псевдооживленного слоя (патент на изобретение RU 2754444 C1);

– в получении математической модели движения частицы по наклонной вибрирующей поверхности установки для предпосевной обработки зерна (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023615207);

– в получении математической модели рабочего процесса, связывающей режимные параметры (частота вращения, эксцентриситет грузов-эксцентриков, угол наклона желоба вибротранспортера) с производительностью установки, временем нахождения зерна в ЭМП СВЧ.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке установки для предпосевной обработки семян зерновых культур в ЭМП СВЧ, способствующей за счет повышения качества посевного семенного материала (всхожести и энергии роста семян) росту урожайности зерновых культур. В результате создания равномерного воздействия ЭМП СВЧ и изменения продолжительности обработки зерна, отличающегося не только формой, но и размером.

Экспериментальная установка для предпосевной СВЧ-обработки семенного материала прошла ведомственные испытания и используется в технологическом процессе выращивания зерновых культур на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, а также в ООО «Зазеркалье» и в СПК «Колхоз Андога» Вологодской области.

Результаты диссертационного исследования использовались при выполнении научно-исследовательских тем:

– FNWE-2022-0002 «Создание высокоэффективных машинных технологий и технических средства для механизации для растениеводства и животноводства, адаптированных к особенностям климатических условий Северо-Востока Европейской части России» (№ 1021060407719-4);

– «Создание технических средств и технологий для предпосевной обработки зерна магнитным полем СВЧ диапазона в условиях Северо-Западного Нечерноземья России» (регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 123020700068-9).

Материалы научного исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА при изучении дисциплины «Сельскохозяйствен-

ные машины» по направлению подготовки высшего образования 35.03.06 Агроинженерия профиль «Технические системы в агробизнесе» (приложение А).

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема установки для предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле СВЧ-диапазона;
- математическая модель движения частиц по транспортирующему желобу установки в зависимости от геометрических параметров и кинематических режимов его работы;
- рациональные конструктивные и технологические параметры транспортирующего устройства установки для предпосевной обработки зерна, обеспечивающие равномерное облучение семенного материала;
- технико-экономическая и энергетическая эффективность работы установки.

Соответствие содержания диссертации избранной научной специальности. Исследование автора по вопросу обоснования конструктивно-технологических параметров установки для предпосевной СВЧ обработки семян в условиях Северо-Западного региона России соответствует научной специальности 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность выводов исследования, представленных в диссертации, подтверждается экспериментальными исследованиями, а также положительными результатами лабораторных и производственных испытаний установки для предпосевной СВЧ-обработки семян злаковых культур.

Основные положения исследования, выводы и рекомендации работы докладывались и обсуждались на одиннадцати международных и всероссийских (национальных) научно-практических конференциях, прошедших с 2021 по 2024 годы. В их числе:

- Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам», ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА (2021...2023, 2025 гг.);

– Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК», ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ (2022 г.);

– Международная научно-практическая конференция «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК», ФГБОУ ВО Уральский ГАУ (2022 г.);

– Всероссийские (национальные) научно-практические конференции «Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ (2022 и 2023 г.);

– Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Инновационные тенденции развития российской науки», ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ (2023 г.);

– Международная научная конференция «Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы», ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА (2024 г.);

– Международная научно-практическая конференция «Современное животноводство и инновации в технологии производства продуктов питания, аспекты экологической, производственной и гигиенической безопасности», ФГБОУ ВО Донской ГАУ (2024 г.);

– Международная научно-практическая конференция «Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса», ФГБОУ ВО Курский ГАУ (2024 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 статей в ведущих рецензируемых изданиях, 2 статьи в изданиях, рецензируемых базами Scopus, 6 статей РИНЦ по результатам научных конференций. Получен патент РФ на изобретение RU 2754444 С1 и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023615207.

Структура и объем диссертации. Диссертационное исследование изложено на 152 страницах. Включает введение, 5 глав, заключение, список литературы из 167 наименований, в том числе 27 на иностранных языках, 62 рисунка, 22 таблицы, а также 12 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ЭМП СВЧ)

1.1 Способы предпосевной обработки семян зерновых культур для повышения всхожести и обеззараживания семян

В постановлении Правительства РФ «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы» разработана подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства зерновых культур», одним из направлений которой является решение задач по снижению токсической нагрузки на агроценозы за счет полного исключения химических обработок и получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и сырья для переработки [103].

В распоряжении Правительства РФ «Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года» указывается, что для снижения зависимости от импорта в семенном, генетическом и посадочном материале необходимо апробировать и внедрять в агропромышленный комплекс передовые технологии [105].

Данные Росстата свидетельствуют о развитии сельского хозяйства в Северо-Западном федеральном округе, относящемся к зоне рискованного земледелия, в том числе в увеличении валового сбора ячменя, составляющего 70% от объема валового сбора зерновых и зернобобовых культур [107].

Семена как части растений, отвечающие за воспроизводство и размножение растений, представляют собой живые организмы, так как выполняют жизненные функции, находясь в состоянии покоя при хранении. Сухие, здоровые дозревшие семена хранятся лучше, так как слабо дышат, то есть мало выделяют тепла, воды и углекислого газа, расходуя углеводы. С увеличением влажности от 15% дыха-

ние значительно усиливается, в результате чего происходит самосогревание, способствующее развитию микроорганизмов и вредителей, снижению всхожести и других посевных качеств [25; 45].

Семена при уборке не имеют физиологической спелости, и их всхожесть увеличивается при прохождении физиологического дозревания в послеуборочный период при хранении. Для уменьшения периода дозревания семена просушивают, прогревают, вентилируют.

Кроме физиологического дозревания, на прорастание семян влияет состояние вынужденного физиологического покоя – свойства, позволяющего начать активное прорастание только при создании благоприятствующих пробуждению и началу развития условий. После длительного пребывания в глубоком покое семена при посеве в почву не всегда могут самостоятельно прорасти и взойти, поэтому их часто подвергают специальной предварительной обработке [41; 132].

При определении посевных качеств семян зерновых культур в лаборатории согласно ГОСТ Р 52325–2005 [34] обращают внимание на сортовую чистоту, поражение посева головней, чистоту семян, содержание семян других растений, содержание трудноотделимых примесей, влажность и всхожесть, которая для оригинальных, элитных и репродукционных для семенных целей сортов должна быть не менее 92%. Полевая всхожесть у зерновых культур меньше лабораторной и составляет 65...90%, так как зависит не только от качества семян, но и от характеристик и подготовки почвы, удобрений, предшественников и др.

Основной причиной снижения всхожести является повышенная влажность заложенных на хранение семян вследствие некачественной послеуборочной обработки и несоблюдения условий хранения, которая способствует размножению патогенной микрофлоры [42; 135].

ФГБУ «Россельхозцентр» ежегодно публикует «Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации», где приводит информацию о количестве зараженных семян яровых и озимых зерновых культур по наиболее вредоносным заболеваниям: фузариоз, гельминтоспориоз, септориоз, альтернариоз (рисунок 1.1, рисунок 1.2) [127].



Рисунок 1.1 – Вредоносные болезни сельскохозяйственных культур

По рисунку 1.2 можно сделать вывод, что средневзвешенный процент зараженности семян зерновых за исследуемый период составляет 28,8...36,6% для яровых и 17,3...33,0% для озимых.

За период 2015–2023 гг. наибольшую распространенность имеет альтернариоз, обнаруженный в 82,9...89,8% исследованных партий семян яровых зерновых, при этом 29,5...34,7% зараженных альтернариозом семян приходится на яровой ячмень; гельминтоспориоз обнаружен в 59,2...72,6% исследованных партий семян яровых зерновых, при этом 34,7...39,0% зараженных гельминтоспориозом семян приходится на яровой ячмень; фузариоз обнаружен в 45,5...57,1% исследованных партий семян, причем 23,3...27,5% зараженных фузариозом семян приходится на яровой ячмень в зависимости от года исследования. Наименьшее значение имеет распространенность септериоза – 11,0...15,8% исследованных партий семян яровых зерновых, причем на яровой ячмень приходится 13,8...21,2% зараженных септериозом семян (рисунок 1.3, рисунок 1.4).

Наибольший процент зараженности исследованных партий семян принадлежит альтернариозу – 17,4...23,0% для яровых зерновых культур и 15,1...19,6% для ярового ячменя. Средний процент зараженности гельминтоспориозом составляет 4,4...11,0% для яровых зерновых культур и 6,8...11,7% для ярового ячменя.

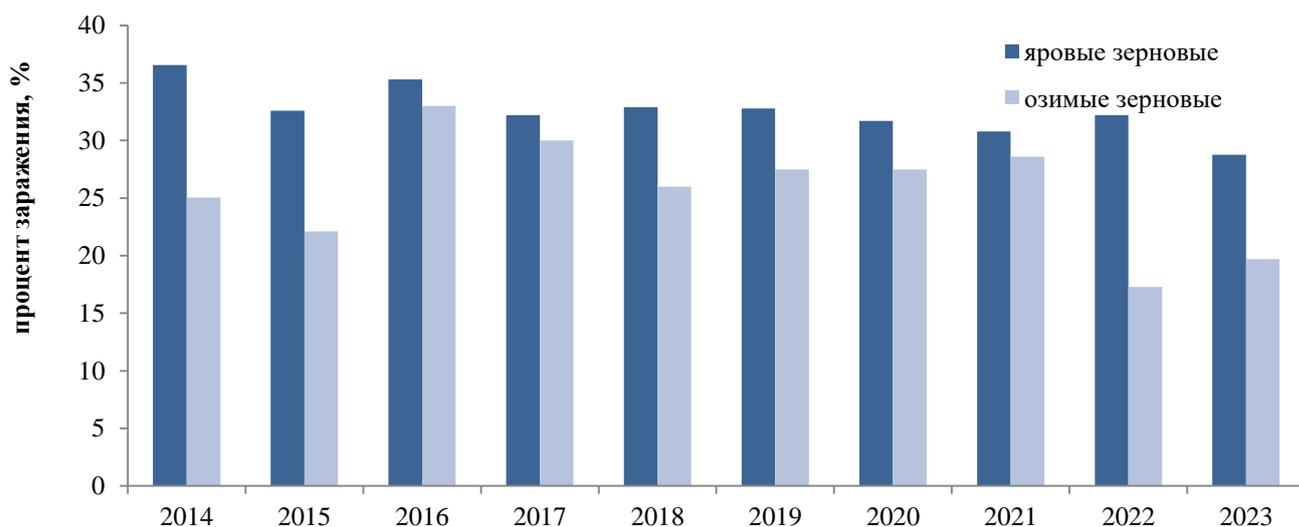


Рисунок 1.2 – Средний процент зараженности яровых и озимых зерновых культур в 2014–2023 гг.

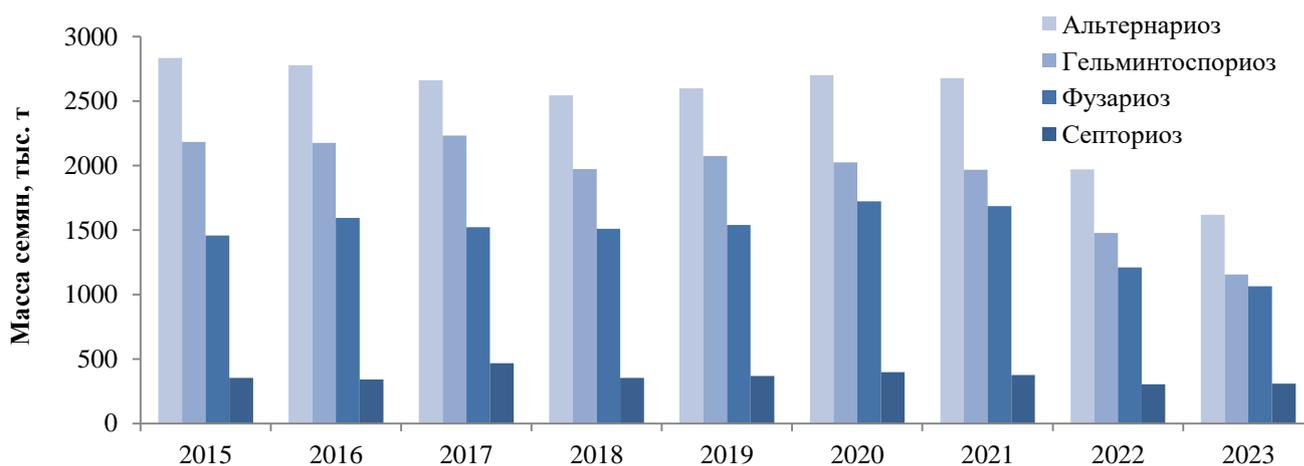


Рисунок 1.3 – Объем зараженных семян яровых зерновых культур 2015–2023 гг.

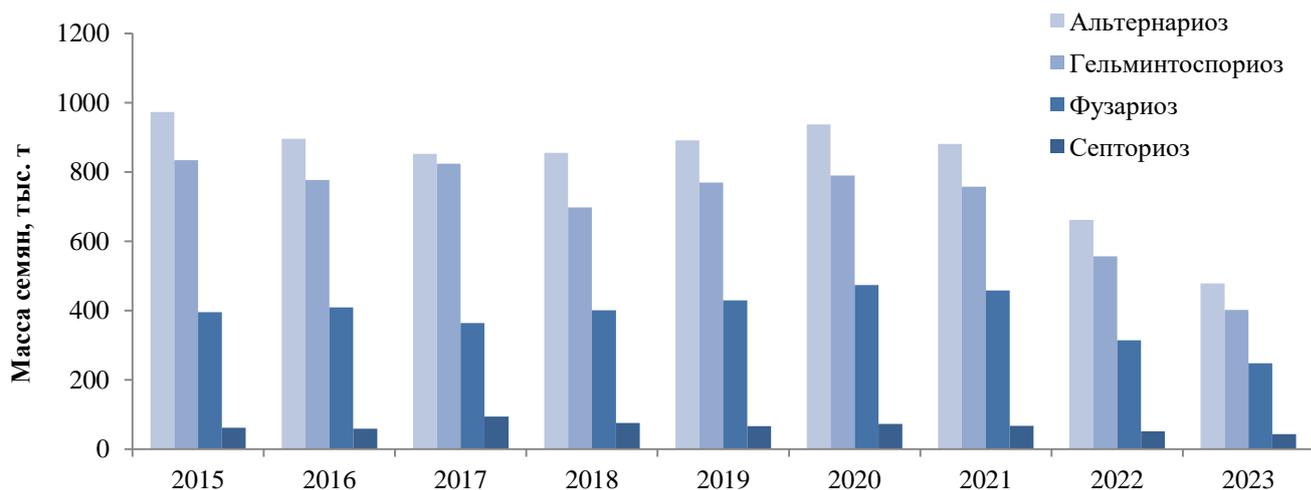


Рисунок 1.4 – Объем зараженных семян ярового ячменя 2015–2023 гг.

Обеспечение высокой продуктивности и устойчивости растений к негативным факторам при снижении энергетических затрат и неблагоприятного влияния на экологию существенно влияет на выбор способа подготовки семян к посеву [130; 133]. Трудность борьбы с инфекционными агентами зерна состоит в том, что они представлены спорами грибов и бактерий, имеющими высокую устойчивость к температурному нагреву [71].

Повсеместно применяются механические способы подготовки семян к хранению и посеву, такие как очистка, сортировка и т.д. [106].

Существующие методы предпосевной обработки по способу воздействия на семена можно условно разделить на три группы (рисунок 1.5) [37].

Химический метод основан на использовании органических и неорганических соединений, которые позволяют значительно уменьшить уровень зараженности от вредителей и болезней с учетом их особенностей [55].

Это метод имеет наибольшее распространение и для его реализации используют искусственно синтезированные регуляторы роста, микро- и макроэлементы, и пестициды. Главное преимущество способа состоит в возможности быстро и эффективно уничтожать несколько видов болезней и вредителей. При этом основным недостатком является экологическое загрязнение при накоплении токсичных веществ в растениях и почве, высокая стоимость препаратов [16; 63].



Рисунок 1.5 – Основные способы предпосевной обработки семян

Биологический способ основан на использовании гиперпаразитов и их антагонистов для борьбы с патогенными организмами. С этой целью используют препараты на основе жизнедеятельности микроорганизмов, грибов, бактерий, повышающих урожайность зерновых культур, а также фитогормоны, витамины и экстракты. Недостаток способа состоит в сложности дозирования и возможности возникновения аллергии.

Физические методы направлены на оздоровление и повышение посевных качеств семян, основаны на использовании тепловых, электрических, магнитных, электромагнитных и других полей, включают в себя физико-механические, фотоэнергетические, радиационный и электрофизические методы. Обработка семян стимулирующими дозами физических факторов не изменяет их генетическую информацию, но повышает активность генома, стимулирует ростовые и формообразующие процессы. Наиболее эффективными считаются способы на основе прямого или косвенно использования электрической энергии [13; 14; 143; 153; 155; 158; 162; 165].

Использование солнечной энергии для повышения температуры семенного материала непосредственно перед посевом в течение 5...7 дней позволяет повысить устойчивость семенного материала к болезням и вредителям. В условиях зо-

ны рискованного земледелия, к которым можно отнести Северо-Западный федеральный округ, использование данного метода крайне ограничено.

Активное вентилирование – принудительное продувание зерновой массы воздухом 30...35°C в течение 10...12 часов для повышения урожайности и энергии прорастания за счет прогрева семян. К недостаткам метода относится неравномерный прогрев по высоте слоя, длительность процесса и высокая энергоёмкость.

Ученые отмечают положительное влияние на качество семенного материала применения метода термотерапии, основанного на прогревание семян непосредственно перед посевом. Однако, значительные удельные энергозатраты данного метода и низкая производительность не обеспечивают возможность в достаточно сжатые сроки провести предпосевную обработку семян.

Исследования ученых по вопросам применения для предпосевной обработки семян на основе воздействия лучами инфракрасного диапазона свидетельствуют о значительной активности роста семян за счет кратковременного воздействия на зародыш и эндосперм зерна. Однако, низкий уровень проникновения в зерновку на этапе подготовки семян к посеву и особенности влияния на ростовые процессы, не позволяют обеспечить эффективное внедрение метода инфракрасного излучения. Альтернативой использования инфракрасного излучения является микронизация зерна, используемого в кормовых и продовольственных целях [62; 101; 144; 145; 154; 156].

По мнению ученых, использование на этапе предпосевной обработки семян ультрафиолетового излучения продолжительностью в диапазоне 10 секунд, обеспечивает повышение проницаемости клеточных мембран, приводящей к активности гидролитические и окислительно-восстановительные процессы [28; 121]. Однако, по мнению авторов, глубина воздействия волны на семенной материал незначительна по сравнению с другими методами.

По функциональному признаку исследователи подразделяют методы предпосевной обработки семян на следующие группы:

- электрофизические, обеспечивающие стимулирование роста семян;
- термохимические, способствующие к сокращению вирусной инфекции и повышению качества семенного материала;
- химические, позволяющие значительно сократить уровень патогенных организмов на семенах.

Основная особенность воздействий электрической, магнитной и электромагнитной природы состоит в восполнении энергетических потерь семенного материала, вызванных неблагоприятными условиями их выращивания или хранения, придании внутренней структуре семени качества био- и электрохимической природы для нормального развития [52; 129; 151].

Электромагнитные колебания, воздействуя на семя, вызывают электронное возбуждение во внутренней биологической системе семян. После такого воздействия в эндосперме и зародыше семян активизируются ферменты, приводящие к ускоренному переводу запасных питательных веществ в усвояемую форму – в виде сахаров, свободных аминокислот и органических кислот. При этом усиливается протекание окислительных процессов, приводящее к образованию физиологически активных веществ, положительно влияющих на зародыш и приводящих к его интенсивному росту и развитию [148...150].

Обработка материала в ЭМП СВЧ является комбинированным методом и объединяет в себе воздействие двух полей электромагнитного и теплового. Положительное действие данного способа предпосевной обработки основано не только на повышении жизнеспособности семян, но и на угнетающем действии на возбудителей семенных болезней, что связано с разной чувствительностью микроорганизмов и растений к этим видам излучений. Обработка семян в ЭМП СВЧ в сравнении с другими методами является перспективной, так как не оказывает вредного воздействия на окружающую среду и обслуживающий персонал, легко автоматизируется и встраивается в существующие технологические линии подготовки

семенного материала, а время и мощность воздействия точно и просто регулируют дозу облучения на семена любых сельскохозяйственных культур.

1.2 Анализ способов и конструктивно-технологических схем технических средств для СВЧ-обработки семенного и фуражного зерна

В настоящее время разработано большое количество электротехнологических установок для предпосевной обработки семян, основанных на явлениях электрической природы. Не смотря на разнообразие воздействующих физических факторов, установки имеют схожую структуру и конструкционное исполнение [128].

Длительность обработки определяется скоростью перемещения семян и габаритными размерами рабочего пространства. Дозу воздействия можно регулировать, изменяя размеры зоны обработки, скорость движения в ней, интенсивность воздействия.

Установки с непрерывным движением семян имеют высокую производительность, при этом в них можно создать циклические режимы, используя последовательно расположенные зоны обработки. Среди установок непрерывного действия наибольшее распространение получили установки транспортерного типа. Материал на них обычно движется в несколько слоев, поэтому основным недостатком таких установок является то, что различные слои получают неодинаковую дозу воздействия. При этом имеется возможность регулировки времени обработки за счет сменных рабочих органов различных размеров, а также за счет изменения регулируемого электрического привода транспортирующего органа. Однако все это ведет к усложнению конструкции, увеличению ее стоимости и габаритных показателей, и поэтому используется редко [10...12].

В патентах на изобретение RU 2542112 C2, RU 2537541 C1 предлагается способ и линия микронизации фуражного зерна (рисунок 1.6а), целью которой яв-

ляется обеспечение поточности процесса микронизации при регулировании экспозиции, температуры, перепада давления и влажности обрабатываемого продукта [82; 85].

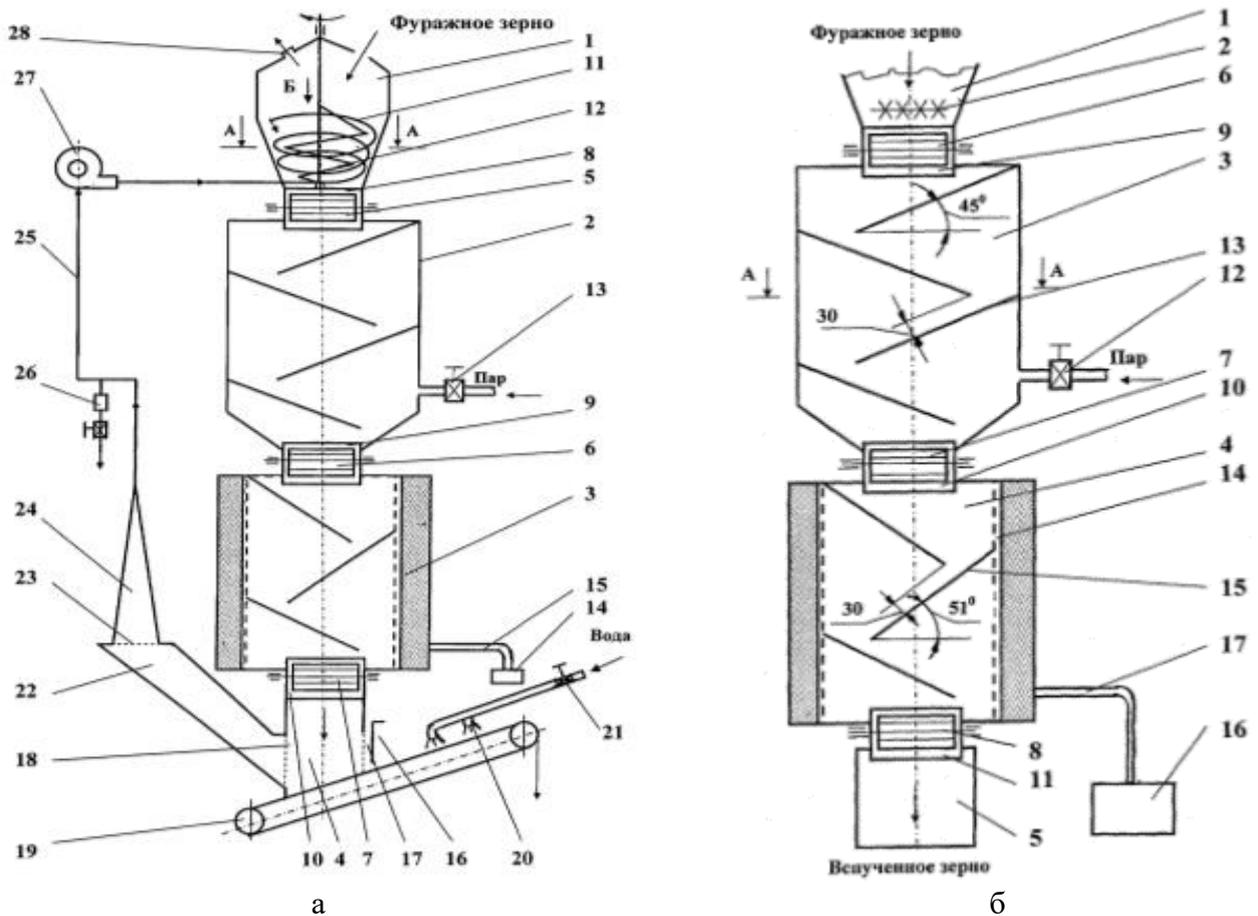


Рисунок 1.6 – Установка для микронизации фуражного зерна: а - патент RU 2542112 C2, RU 2537541 C1; б - патент RU 2537544 C1, RU 2537545 C1

Зерно из загрузочного бункера 1 вращающимся шнеком 12 через дозатор 5 попадает в теплообменник 2, где нагревается до температуры пара при заданной экспозиции за счет изменения температуры и давления пара, через дозатор 6 загружается в СВЧ-камеру 3 для повышения температуры внутри зерна и через дозатор 7 выгружается в камеру вспучивания 4, где за счет перепада давления взрывается-вспучивается и попадает самотеком на транспортер 19. Линия работает непрерывно и в замкнутом цикле.

В патентах RU 2537544C1, RU 2537545C1 предложена установка для микронизации фуражного зерна, отличающаяся совместным действием перегретого

пара и СВЧ-энергии (рисунок 1.6б), обеспечивающая высокое качество широкого ассортимента исходного материала [83; 84].

Зерно из загрузочного бункера 1 посредством ворошилки 2 через дозатор 6 поступает в теплообменник 3 для обработки перегретым паром, где перемещается направляющими дисками-рыхлителями 13, и через дозатор 7 попадает в СВЧ-камеру 4, представляющую собой диэлектрический цилиндр 14, где перемещается направляющими дисками-рыхлителями 15 к дозатору 8 и камере вспучивания 5.

К недостаткам этих конструкций (рисунок 1.6) следует отнести достаточно высокие энергетические затраты на подготовку пара, большое количество транспортирующих и дозирующих устройств, что в конечном итоге сказывается на сложности обеспечения и настройки работы этих установок, а также стоимости готового продукта.

В патенте на изобретение RU 2380632 С1 авторов И.Р. Ганеева, И.Х. Масалимова, В.Н. Пермякова предложена сушильно-сортировальная установка сыпучих материалов (рисунок 1.7), отличающаяся экологическим методом сушки с образованием псевдоожиженного слоя, мобильностью, сортировкой высушенного материала [70].

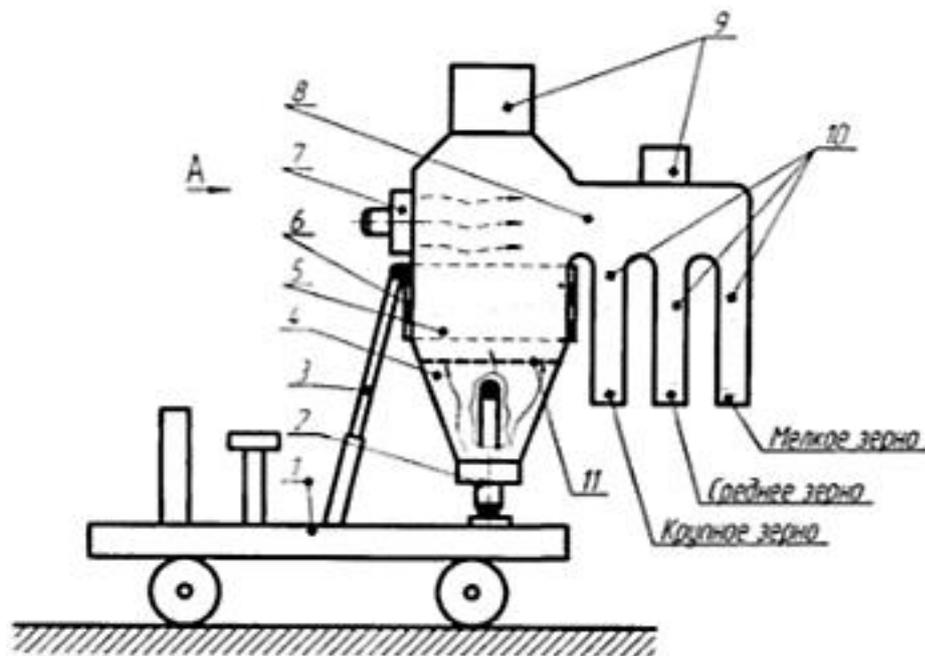


Рисунок 1.7 – Сушильно-сортировальная установка сыпучих материалов

Материал поступает из бункера 12 в камеру сушки 5, где под действием вентилятора 2 образуется псевдоожиженный слой, на который воздействуют СВЧ-генераторы. Высушенный материал под воздействие вентилятора 7 попадает в камеру сортировки 8. Механизм подъема/опускания 3 обеспечивает возможность транспортирования установки. К недостаткам следует отнести неравномерность обработки семян ввиду его расслоения по аэродинамическим свойствам.

Патент на изобретение RU2061351C1 предлагает способ СВЧ-обработки зерна и устройство для его осуществления (рисунок 1.8), основанное на дезинфекции зерна перед длительным хранением [67].

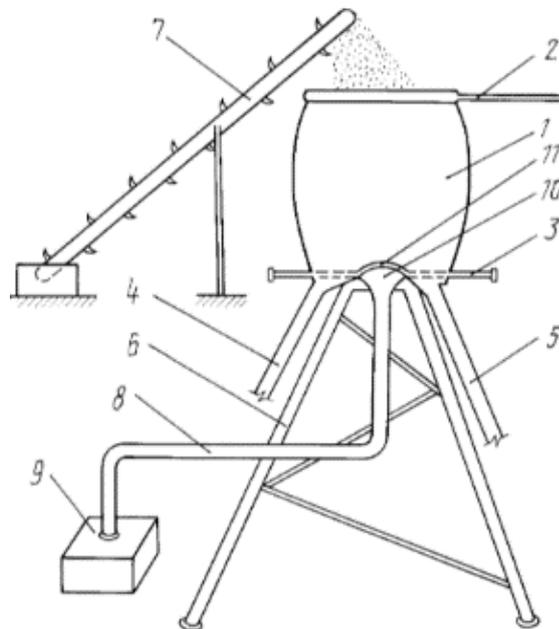


Рисунок 1.8 – Устройство для СВЧ-обработки зерна: 1 – емкость; 2 – заслонка; 3 – заслонка; 4 – выходные патрубки; 5 – выходные патрубки; 6 – опора; 7 – транспортер-дозатор; 8 – волновод; 9 – магнетрон; 10 – днище; 11 – диэлектрическая прокладка

К недостаткам следует отнести периодичность работы устройства и возможность неравномерности обработки зерна, вызванную временем его поступления в емкость.

Патент RU2013891C1 авторов Н.А. Тюрин, В.Н. Удалова предлагает установку для СВЧ-термообработки сыпучих продуктов и гранулированных материалов (рисунок 1.9), осуществляющую сушку, отличающуюся возможностью обеспечения высокой производительности при монтаже нескольких установок

на общем горизонтальном основании, непрерывностью процесса обработки и универсальностью в применении [66].

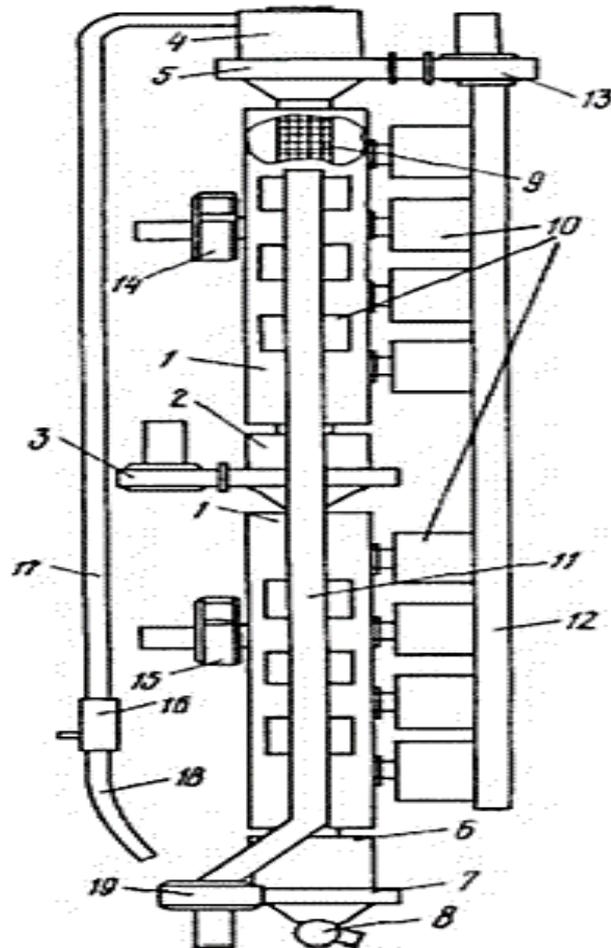


Рисунок 1.9 – Установка для СВЧ-термообработки сыпучих продуктов и гранулированных материалов: 1 – камеры нагрева; 2 – охлаждающий промежуточный бункер; 3 – вентилятор; 4 – входной бункер; 5 – кольцевой воздуховод; 6 – выходной бункер; 7 – кольцевой воздуховод; 8 – регулирующий ротационный клапан; 9 – цилиндрический сетчатый продуктопровод; 10 – генераторный блок; 11 – вытяжной воздуховод; 12 – вытяжной воздуховод; 13 – центробежный вентилятор; 14 – вытяжной центробежный вентилятор; 15 – вытяжной центробежный вентилятор; 16 – пневмотранспортер; 17 – продуктопровод; 18 – продуктопровод; 19 – центробежный вентилятор

Зерновой материал, опускаясь в камеру нагрева *1* и проходя по сетчатому продуктопроводу *9*, подвергается обработке и попадает в промежуточный бункер *2* для охлаждения, затем снова в камеру нагрева, после обработки поступает в выходной бункер *6*. К недостаткам этого устройства следует отнести достаточно сложную технологическую цепочку обработки материала и цикличность работы.

Патент RU2572033C1 авторов О.А. Морозова, А.О. Морозова, В.П. Требух и др. представляет способ обработки зерновых продуктов и устройство для его осуществления (рисунок 1.10), состоящий в использовании СВЧ-энергии для производства «взорванного зерна» в сельском хозяйстве и пищевой промышленности [91].

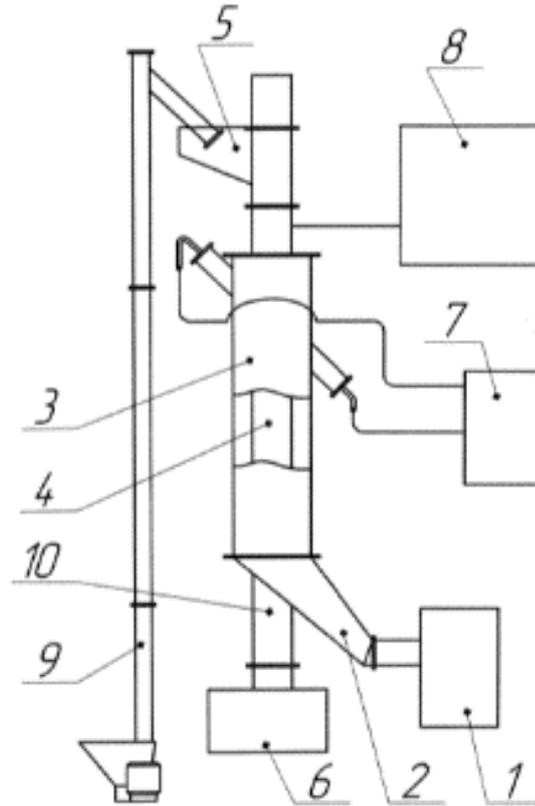


Рисунок 1.10 – Устройство для обработки зерновых продуктов: 1 – СВЧ-генератор; 2 – рупорный отрезок волновода; 3 – прямоугольный волновод; 4 – продуктопровод; 5 – загрузочное устройство; 6 – устройство выгрузки; 7 – секция с согласованной водяной нагрузкой; 8 – узел орошения зерна; 9 – шнековый транспортер

Патент RU2602281C2 авторов О.В. Михайловой, А.А. Белова, М.В. Беловой и др. описывает установку для измельчения и обеззараживания зерна и зернопродуктов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (рисунок 1.11), которая отличается совместным действием удара о подвижные части рабочей камеры и ЭМП СВЧ, совмещением функции энтолейтора, дезинтегратора и СВЧ-обеззараживателя [92].

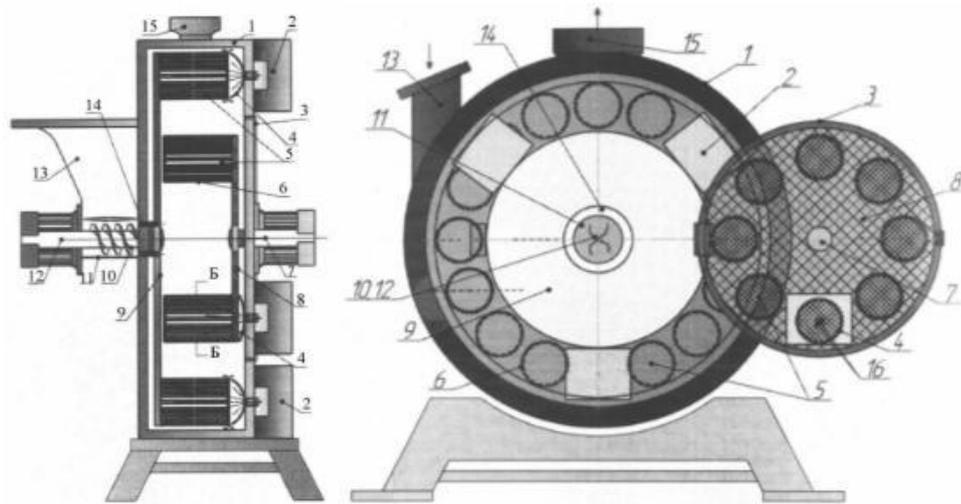


Рисунок 1.11 – Установка для измельчения и обеззараживания зерна и зернопродуктов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты

Зерно через центральное кольцевое отверстие 14 с помощью шнека 10 попадает в объемный резонатор 4 (рабочую камеру), снабженный СВЧ-генераторными блоками 2, где вращения ротор-дисков 8, 9, происходящие при включении электродвигателей 7 и 12, обеспечивают вращение цилиндрических подвижных частей 5 в неферромагнитных штифтах 6 объемного резонатора, которые при многократном ударе обеспечивают процесс измельчения.

В патентах: RU 2569005 С1 за авторством В.И. Сыроватка, Н.А. Жданова, Т.С. Комарчука и А.Д. Обухова предлагается способ производства взорванного продукта из фуражного зерна (рисунок 1.12а); RU 2569000 С1 авторы В.И. Сыроватка и Т.С. Комарчук предлагают способ производства взорванного продукта из фуражного зерна сорго (рисунок 1.12б); RU 2555446 С1, RU 2559635 С1 авторы В.И. Сыроватка, Н.А. Жданов, Т.С. Комарчук, А. Д. Обухов, А.Н. Векленко предлагают способ СВЧ обработки фуражного зерна и установку для СВЧ-обработки фуражного зерна (рисунок 1.12в), отличительной особенностью которых является повышение качества СВЧ-обработки фуражного зерна при снижении удельных энергозатрат по сравнению с прототипами [87...90]. Авторами В.И.Сыроватка, Т.С. Комарчук и А.Д. Обухова также предложены установка порционной СВЧ-обработки кормов [74] и устройство для непрерывной СВЧ-обработки кормов

[73], предназначенные для обработки семян с высоким содержанием жира и зерна перед измельчением и приготовлением комбикормов.

Зерно из приемного бункера 1 поступает в теплообменник 2, где обрабатывается паром при перешивании рыхлителями 6 на вертикальных осях 5, форма которых способствует процессу псевдооживления (рисунок 1.12а). Затем загружается в герметичную камеру 7 посредством затвора-дозатора 8, где на зерно одновременно воздействуют СВЧ-энергией, перегретым паром и механическим перемешиванием, в камеру всучивания 10 через затвор-дозатор 9 и выгрузной транспортер 16.

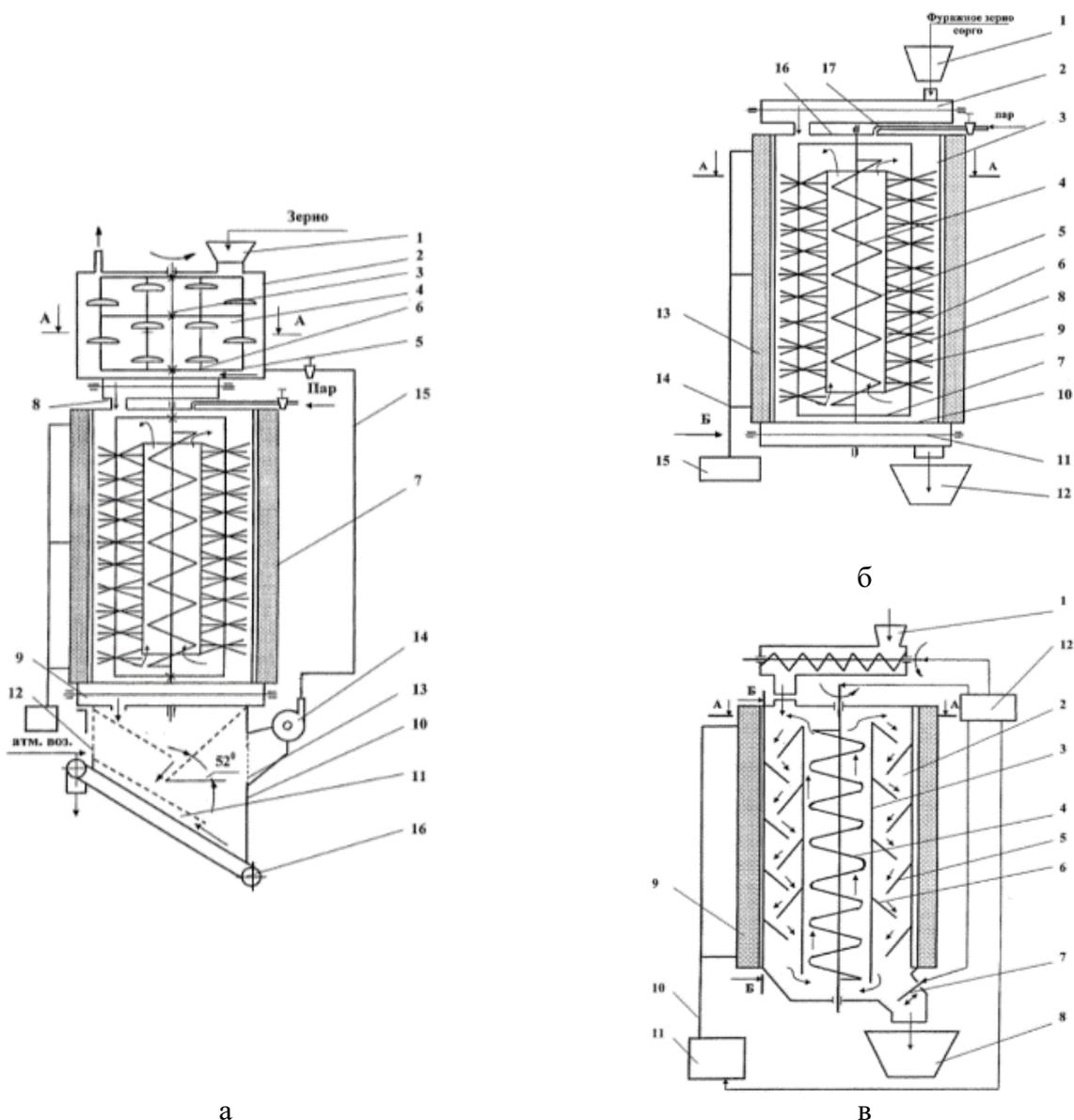


Рисунок 1.12 – Схема установок для производства взорванного продукта из фуражного зерна: а – патент RU 2569005 C1; б – патент RU 2569000 C1; в – патент RU 2555446 C1

Зерно сорго из приемного бункера 1 поступает в герметичную камеру 3 через загрузочный затвор-дозатор 2, где под действием вращающихся цилиндрических щеток 9, установленных на осях 8, и вертикального шнека 5, расположенного на валу 4, обеспечивается интенсивное ворошение продукта в процессе воздействия СВЧ-энергии и острого пара (рисунок 1.12б). Затем зерно через затвор-дозатор 11 под днищем 10 попадает в камеру взрыва 12.

Зерновой материал от загрузочного дозатора 1 поступает в СВЧ-камеру 2, снабженную устройством для перемещения зерна 3 с вертикальным шнеком 4 и направляющими усеченными конусами 5 и 6, обеспечивающими циклическую обработку рыхлого потока в состоянии псевдооживления заданное время (рисунок 1.12в), по истечении которого через шлюз 7 поступает в приемный бункер 8.

Патент RU2502450С2 авторов Н.К. Кириллова, Г.В. Новиковой, М.В. Беловой, А.А. Белова, опубликованный в 2013 г., представляет СВЧ-индукционную установку для микронизации зерна (рисунок 1.13), отличающуюся дополнительным уничтожением бактериальной микрофлоры вегетативной формы и безопасностью эксплуатации [81].

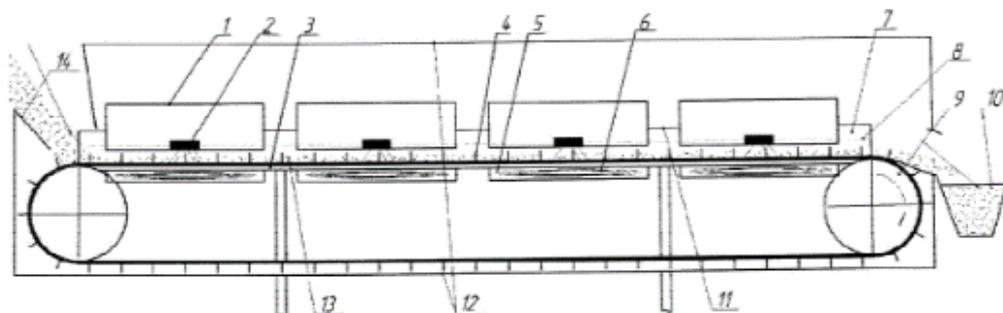


Рисунок 1.13 – СВЧ-индукционная установка для микронизации зерна

Зерно из загрузочного бункера 14 поступает на скребковый транспортер 4 в рабочую камеру 7, оборудованную источниками СВЧ-энергии 1 и индукционными плитами 5, для разрушения в результате эндогенного и кондуктивного нагрева, затем в выгрузной бункер 10 через выгрузное окно. К недостаткам следует отнести зависимость качества обработки от толщины слоя материала на поверхности транспортера.

Патент RU2754685C1 авторов Ф.А. Киприянова, П.А. Савиных, А.В. Палицына описывает установку для СВЧ-микронизации фуражного зерна (рисунок 1.14), отличающуюся свободным перемещением материала при обработке и очисткой от мелких примесей после выгрузки материала [97].

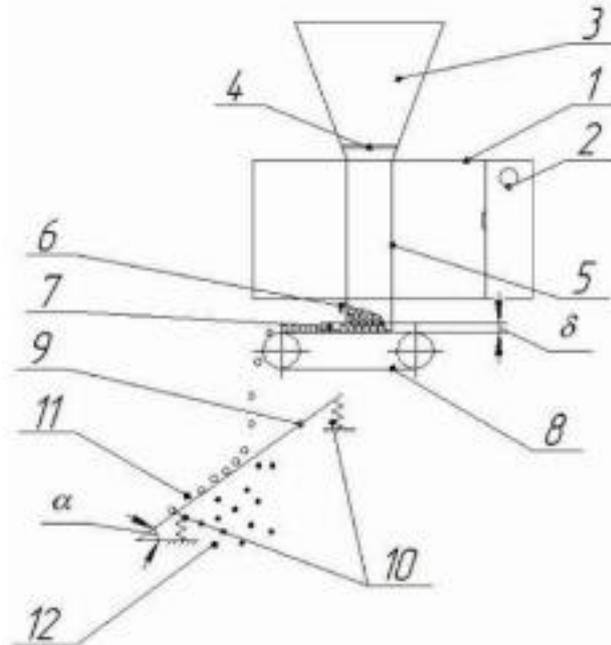


Рисунок 1.14 – Установка для СВЧ-микронизации фуражного зерна

Зерно из бункера-питателя 3 через магнитную сетку 4 поступает в зернопровод 5 внутри камеры СВЧ-нагревателя для обработки, затем через заслонку 6 попадает на транспортер 8 и сепарирующее решето 9, снабженное пружинной подвеской 10. К недостаткам следует отнести возможность неравномерности обработки зернового материала в виду его обработки в толстом слое.

Патент RU2496291C1 авторов В.И. Пахомова, А.И. Пахомова, К.Н. Буханцова и В.А. Максименко содержит способ обеззараживания зерна и семян сельскохозяйственных культур (рисунок 1.15) [77].

Зерно после увлажнения в машине 1 поступает в бункер отволаживания 9, откуда через перегрузочный скребковый транспортер 16 и бункер-накопитель 24 в проточную камеру СВЧ-обработки зерна 23. Конус выгрузки зерна 28 обеспечивает выход обработанного зерна из СВЧ-камеры на сушку и дальнейшее разделение по целевому назначению или использование в качестве посевного материала. К недостаткам следует отнести большую вероятность повреждения семян ввиду

использования большого количества скребковых и шнековых транспортёров в конструкции и как следствие большую установленную мощность.

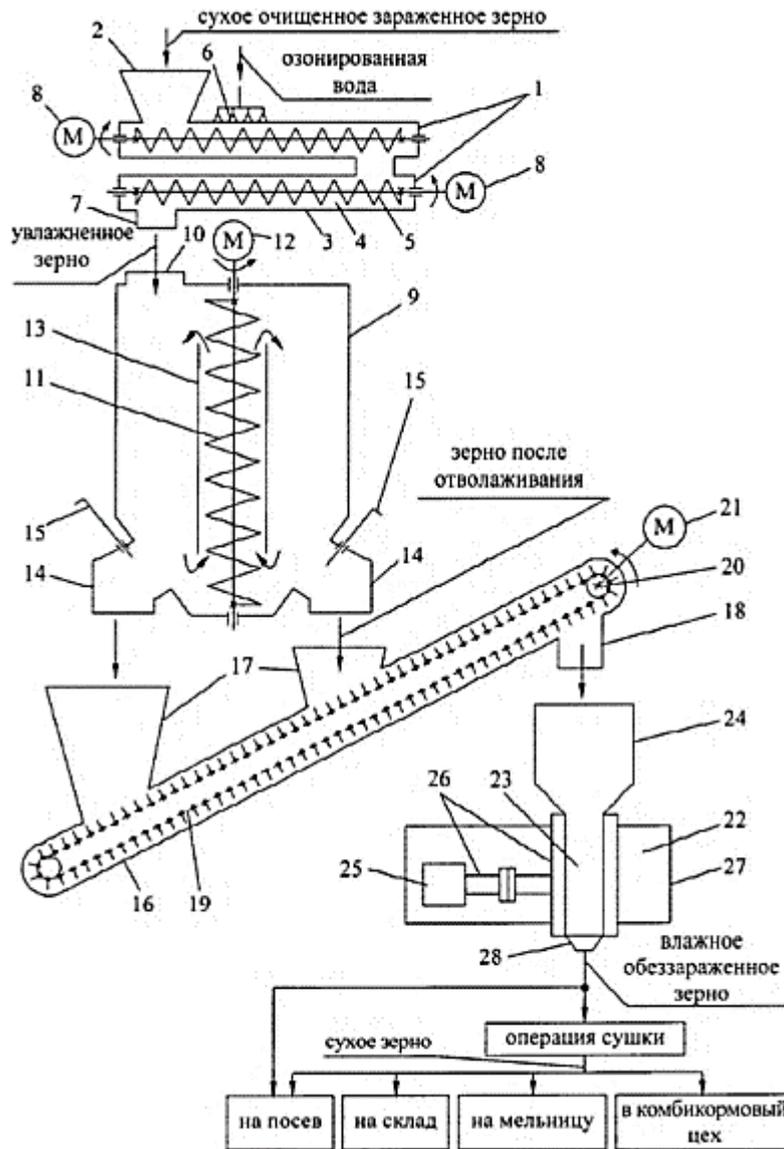


Рисунок 1.15 – Схема способа обеззараживания зерна и семян сельскохозяйственных культур

В патентах RU 2501203 C1 и RU 2501201 C1 авторов А.А. Васильева, Д.А., Будникова, А.Н. Васильева и В.Р. Краусп представлен способ обеззараживания зерна и продуктов его переработки, один из которых состоит в СВЧ-конвективной обработке увлажненного в течение определенного времени зерна с одновременным продуванием нагретым воздухом [80], а другой в обработке сухого зерна периодическим воздействием СВЧ-энергии с дальнейшей продувкой озono-воздушной смесью [79].

Патент RU 2459166C2 авторов Б.Г. Смирнова, А.Н. Васильева, А.А. Васильева представляет установку для сушки и обработки зерна и кормов (рисунок 1.16),

способную обеспечивать высокую производительность за счет компоновки дополнительными парами модулей обработки [72].

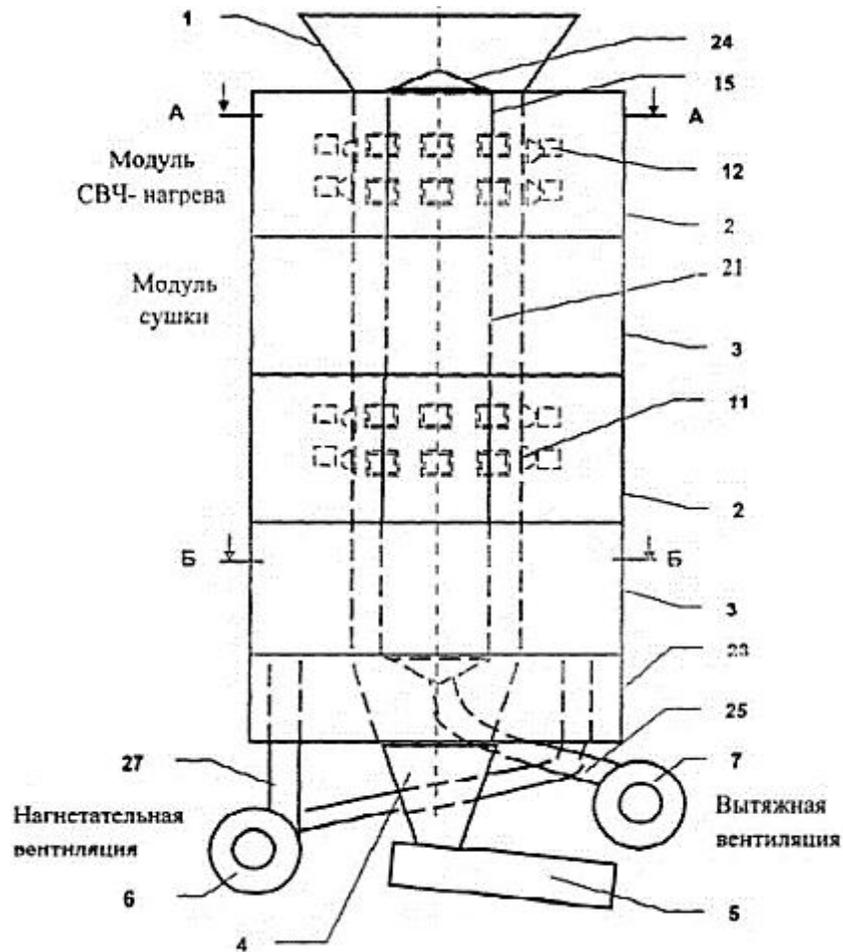


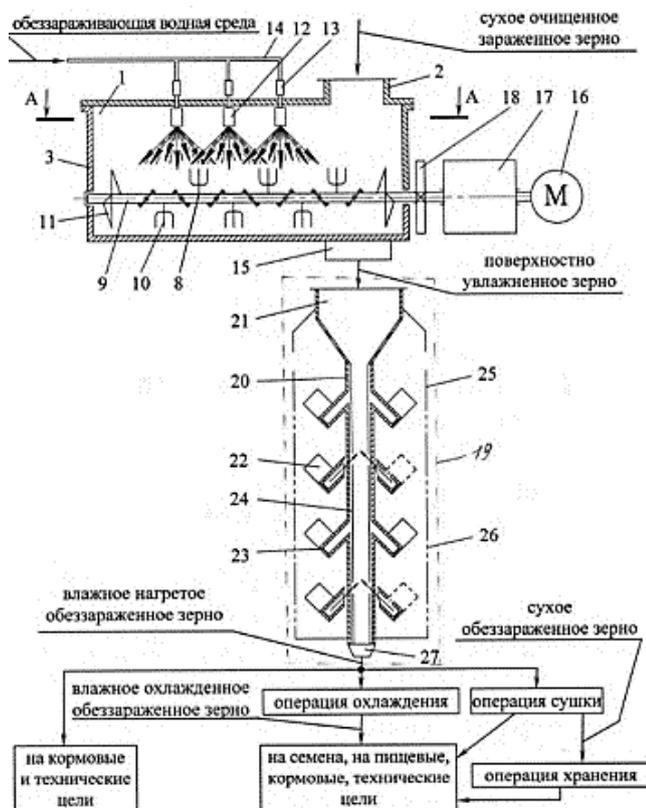
Рисунок 1.16 – Установка для сушки и обработки зерна и кормов

Зерновой материал из бункера 1 попадает в вертикальную сушильную камеру, состоящую из двух и более модулей обработки: модуль СВЧ-нагрева 2 и модуль сушки 3, откуда через разгрузочный бункер 4 на транспортер 5.

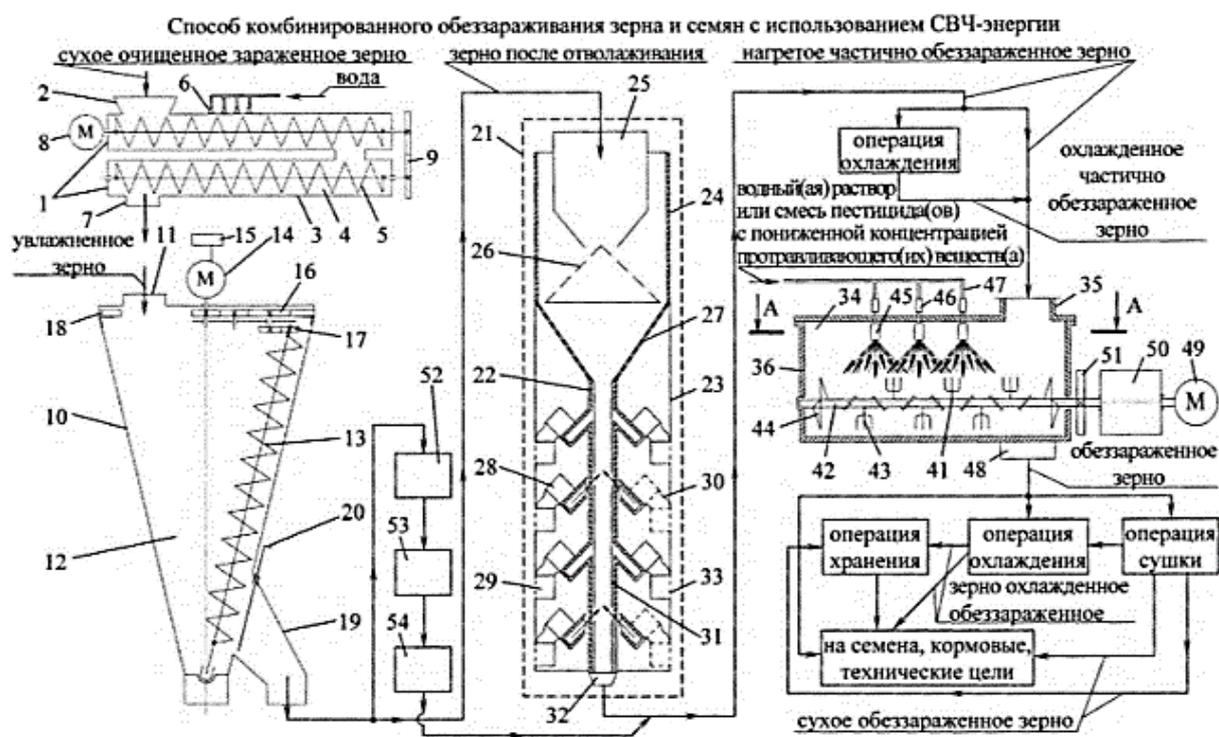
В патенте RU 2550479 С1 авторов В.И. Фисинина, Ю.Ф. Лачуга, В.И. Пахомова и др. описан способ комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты (рисунок 1.17а), отличающийся интенсификацией процесса обработки с возможностью широкого применения [86].

Зерно поступает в увлажнительную машину 1 для перемешивания при обработке обеззараживающим водным раствором, затем через окно выгрузки 15 и бункер-накопитель зерна 21 поступает в трубу-продуктопровод 24 камеры СВЧ-обработки 20, соединенную волноводом 23 с источником СВЧ-энергии 22. После

обработки зерно через конус выгрузки 27 поступает на охлаждение, сушку или дальнейшее использование.



а



б

Рисунок 1.17 – Схема способа комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты: а – патент RU 2550479 С1, б – патент RU 2640288 С1

В патенте RU 2640288 C1 авторов В.И. Пахомова, А.И. Пахомова, К.Н. Буханцова и В.А.Максименко описан способ комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием СВЧ-энергии (рисунок 1.176), предназначенный для эффективной обработки высоко зараженного зерна и семян разных сельскохозяйственных культур [94].

Зерно через увлажнительную машину 1, где перемешивается винтовым рабочим органом 5 при опрыскивании водой из форсунок 6, через конический бункер для отволаживания зерна 10 с перемешивающим шнеком 13 поступает в зону обработки зерна подогретым теплоносителем и СВЧ-энергией 21, откуда попадает в камеру ввода раствора с пониженным содержанием протравливающих веществ 37 с дальнейшим охлаждением, сушкой и последующим использованием.

Наиболее новым по состоянию на декабрь 2024 года является патент RU2764168C1, опубликованный в 2022 году, авторов А.Н. Васильева, Д.А. Будникова и А.А. Васильева, описывающий установку для сушки, обеззараживания зерна и предпосевной обработки семян (рисунок 1.18), отличающуюся равномерностью нагрева толщины зернового слоя за счет комбинированного СВЧ-конвективного воздействия [98].

Зерновой материал из загрузочного бункера поступает в вертикальную сушильную камеру 2, разделенную на СВЧ-конвективные зоны 3, оборудованные вентиляторами 4, где перпендикулярно движению зерна в порядке, обеспечивающем равномерность распределения СВЧ-воздействия, располагаются волноводы магнетронов клиновидной формы частично соединенные с воздуховодами вентиляторов, откуда после обработки под действием силы тяжести выгружается посредством выгрузного бункера 5 и выгрузного шнека 6.

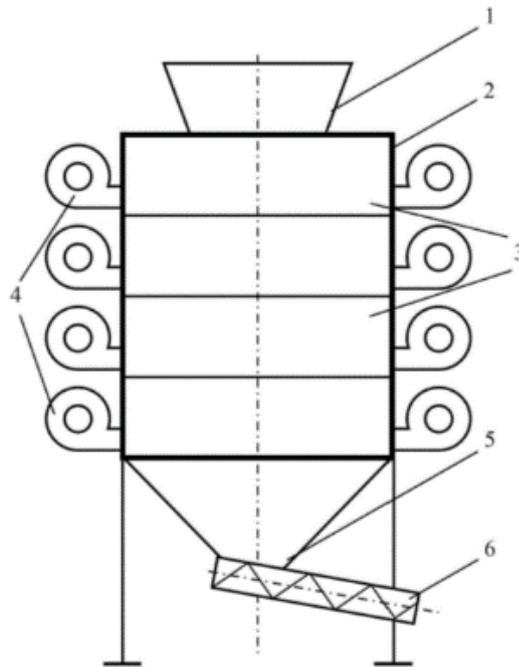


Рисунок 1.18 – Установка для сушки, обеззараживания зерна и предпосевной обработки семян

Анализ существующих патентов по вопросу СВЧ-обработки зерна показал, что основными направлениями использования установок является сушка, обеззараживание, микронизация сыпучего сырья, возможность предпосевной обработки семян; большинство установок основаны на совместном воздействии СВЧ и конвективного, СВЧ и механического воздействия; движение материала в зоне облучения происходит под действием силы тяжести или посредством транспортера; предложенные технологические линии дополнительно могут включать предварительную обработку паром, увлажнение, отволаживание, очистку, сушку, охлаждение, сортировку; к преимуществам всех установок относится экологичность, возможность обработки различных видов сыпучих материалов и обеспечение высокой производительности, непрерывность процесса обработки, высокая автоматизация процесса. В рассмотренных патентах вопрос повышения равномерности СВЧ-воздействия решается механическим или конвективным воздействием для дополнительного перемешивания или создания разрыхленного слоя, что недостаточно эффективно в процессе обеспечения псевдооживленного слоя для различных сельскохозяйственных культур, отличающихся по форме и размеру зерен. К недостаткам рассмотренных установок относятся сложность конструктивного ис-

полнения, многоступенчатость и связанная с ней трудоемкость процесса, высокая металлоемкость, сложность в регулировании времени СВЧ-воздействия.

1.3 Обзор теоретических исследований по проблеме обработки семян зерновых культур в электромагнитном поле СВЧ диапазона

Ранние исследования практического применения СВЧ-нагрева в сельском хозяйстве принадлежат А.В. Лыкову, Г.А. Максимову и Г. Пюшнер [56; 57; 58; 69; 104; 152]. Более детальное представление о механизме действия электромагнитного поля сверхвысокой частоты можно получить из работ С.В. Вендина, А.А. Бабенко, И.А. Рогова и С.В. Некрутман [4; 27; 108; 109]. Сюда относятся получение интегральных зависимостей температурного воздействия СВЧ-облучения на семена, определение наиболее подходящей толщины слоя при обработке, исследование возможности влияния на урожайность ряда зерновых культур, изучение взаимосвязи диэлектрической проницаемости семян и частоты электромагнитного поля.

В исследованиях М.В. Сухановой по вопросу совершенствования технологий и технических средств предпосевной обработки семян, оформленных в докторской диссертации, отмечается низкая эффективность внедрения прогрессивных способов обработки семенного материала из-за травмируемости семян рабочими органами [122; 123].

В.И. Пахомов занимался модернизацией параметров шахтных зерносушилок комбинированной сушки с применением электромагнитного поля сверхвысокой частоты [102], а совместно с В.Д. Кауном изучал процесс микронизации с применением электромагнитного поля сверхвысокой частоты и установил зависимость, которая определяет скорость потока влаги внутри зерна при его обработке [101].

О.М. Соболева, Е.П. Кондратенко совместно с рядом других ученых проводили исследования по влиянию СВЧ-обработки на аминокислотный состав, биологическую ценность, содержание алифатических спиртов, динамику численности микроорганизмов на поверхности зерновок различных злаковых культур, а также на количества микотоксинов в концентрированных кормах. При оценке воздействия электромагнитного поля СВЧ мощностью 700 Вт на микробное обсеменение злаковых культур исследователи пришли к выводу, что продолжительность облучения в течение 5 секунд приводит к стимулированию роста микроорганизмов на поверхности зерен, облучение в течение 15 секунд снижает количество микроорганизмов на 86% и более в зависимости от вида зерновых, а обработка в течение 45 секунд приводит к полной стерилизации зерен [116; 117].

Д.А. Будников отмечает, что обработка зерна в псевдооживленном и разряженном состоянии, в том числе с применением микроволновых полей, отличаются высокой эффективностью. Ученый разработал представление в компьютерных моделях взаимодействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты и зернового слоя, описав численный эксперимент для ячменя и пшеницы исходной влажностью от 16% до 24%, позволяющий рассматривать при моделировании обрабатываемое зерно в виде сплошной формы с определенными характеристиками, или в виде объема шарообразных объектов, эквивалентного зерну диаметра, с возможностью учета неравномерности распределения влаги внутри зерновки.

Результаты исследований Д.А. Будникова, представленные в докторской диссертации показывают, что рост температуры зерна при воздействии микроволнового поля зависит от диэлектрических свойств обрабатываемого материала; глубина проникновения микроволнового поля определяется свойствами материала на частоте воздействующего поля; оценку влияния неравномерности распространения поля по объему можно производить коэффициентом равномерности распространения электромагнитного поля (1.1), который по опытным данным снижается при увеличении влажности зерна, при этом минимальный коэффициент равномерности равен 0,368, что соответствует влажности 18,5...19% для пшеницы. При оценке коэффициента диэлектрических потерь (1.2), прямо пропорци-

онально влияющего на поглощающую способность материала, плотного, псевдооживленного и взвешенного слоя для пшеницы, ячменя, овса и тритикале на разных уровнях влажности обнаружено, что в плотном слое происходит значительное увеличение коэффициента при повышении влажности зерна, во взвешенном – практически не изменяется, в псевдооживленном – начинает увеличиваться при влажности зерна выше 22%. Автор отмечает возможность повышения качества проводимых измерений при механическом способе обеспечения требуемого слоя [20; 21; 75].

$$K_{\text{равн}} = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{макс}}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{ср}}}{Q_{\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{5,56 \cdot 10^{-11} \cdot E_{\text{ср}}^2 \cdot f \cdot \varepsilon \cdot \text{tg} \delta}{5,56 \cdot 10^{-11} \cdot E_{\text{макс}}^2 \cdot f \cdot \varepsilon \cdot \text{tg} \delta'}} \quad (1.1)$$

где $E_{\text{ср}}$ и $E_{\text{макс}}$ – среднее и максимальное значение амплитуды напряженности электрического поля в объеме обрабатываемого материала, В/м;

$Q_{\text{ср}}$ и $Q_{\text{макс}}$ – средняя и максимальная мощность, рассеиваемая в диэлектрическом материале, Вт/м³;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала;

$\text{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь;

f – частота электромагнитного поля, Гц.

$$\varepsilon = \frac{c_m \rho_m \Delta T + k_{\text{расс}}(T_{\text{нагр}} - T_{\text{окр}})}{5,56 \cdot 10^{-11} \cdot E^2 \cdot f \cdot \tau}, \quad (1.2)$$

где $T_{\text{нагр}}$ и $T_{\text{окр}}$ – температуры нагрузки и окружающей среды, °С;

$k_{\text{расс}}$ – коэффициент теплового рассеяния, Дж/(м³ °С);

c_m – теплоемкость материала, Дж/(кг °С);

ρ_m – плотность вещества образца, кг/м³;

ΔT – нагрев материала в процессе измерения, °С;

τ – время воздействия, с.

Д.А. Будников предлагает обеспечивать состояния псевдооживления посредством продувания через слой зерна воздуха с требуемой скоростью от вентилятора, с целью ускорения процесса равномерного испарения влаги.

В исследованиях И.Р. Ганеева рассматривается влияние СВЧ-сушки семян рапса на энергию прорастания и всхожесть [29; 146], а совместно с Ш.Ф. Файзрахмановым проведено моделирование данного процесса в СВЧ-установке конвейерного типа для семян подсолнечника и обоснована скорость воздушного потока вентилятора для создания псевдооживленного состояния слоя семян 5,4 м/с [30; 126], скорость начала псевдооживления слоя вычисляется по формуле (1.3):

$$v_{\text{по}} = \frac{Re_{\text{по}} \mu_c}{d \rho_c}, \quad (1.3)$$

где μ_c – динамическая вязкость воздуха, Н·с/м²;

d – эквивалентный диаметр семени, м;

ρ_c – плотность семян, кг/м³;

$Re_{\text{по}}$ – критерий Рейнольдса, при котором начинается псевдооживление по формуле (1.4):

$$Re_{\text{по}} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1.4)$$

где Ar – критерий Архимеда, рассчитываемый по формуле (1.5):

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_c - \rho_{\text{возд}})}{v_{\text{возд}}^2 \rho_{\text{возд}}}, \quad (1.5)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

$v_{\text{возд}}$ – кинематическая вязкость воздуха, м²/с;

$\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Однако при обеззараживающей СВЧ обработке зерна основой является температурное воздействие, продувание воздухом не только снизить данной воздействию, но и будет способствовать снижению влажности кондиционного зерна.

Н.П. Мишуровым под руководством В.И. Сыроватка проведены теоретические и экспериментальные исследования по виброперемещению псевдооживленного и кипящего слоя ячменя, обосновывающие зависимость коэффициента пропорциональности K , учитывающего степень влияния вышележащих слоев на нижний слой, непосредственно вступающий в контакт с вибрирующей плоско-

стью, от влажности (W) и высоты слоя зерна (h) (1.6). Для отсутствия расхождений теоретических и опытных данных введен коэффициент восстановления R , количественно описывающий упругость частицы при падении частицы на плоскость (1.7). Средняя скорость вибротранспортирования слоя зерна зависит от амплитуды вибрации A , угловой частоты ω , высоты слоя зерна, ускорения свободного падения, уклона вибрирующей плоскости j , влажности зерна W и может быть определена по формуле (1.8) [64].

$$K = 0,46 + 20h - 0,01W - 0,03hW - 300h^2 - 0,008W^2, \quad (1.6)$$

$$R = 0,385 + 4,4 \cdot 10^{-3}W - 3,3 \cdot 10^{-4}W^2, \quad (1.7)$$

$$V = 0,157A\omega\left(\frac{h}{A}\right)^{-0,49}\left(\frac{g}{A\omega^2}\right)^{-0,22}j^{0,42}W^{-0,38}. \quad (1.8)$$

Сверхвысокочастотное излучение или микроволновое – это электромагнитные волны длиной от одного миллиметра до одного метра. В промышленности используются магнетроны, работающие на двух частотах 915 МГц и 2450 МГц, что соответствует длине волны 32,76 см и 12,24 см. Магнетроны с частотой 915 МГц обладают повышенной глубиной проникновения, КПД до 90%, мощность до 100 кВт, но имеют большие габариты и массу, высокую стоимость. Магнетроны бытовых микроволновых печей имеют частоту 2450 МГц и являются изделиями массового производства с хорошим соотношением цена-качество, удобны для нагревания материалов, содержащих воду, что способствует их распространению в исследованиях СВЧ-воздействия в сельском хозяйстве.

Современные исследования влияния СВЧ-энергии на зерно в сельском хозяйстве разделены на несколько направлений: сушка [160; 163; 164], подготовка фуражного зерна к вскармливанию [44; 50; 65], обеззараживание семенного, фуражного и продовольственного зерна [9; 95; 157], предпосевная обработка [51; 59; 113].

Исследования А.Г. Аксенова по предпосевной обработке семян различных зерновых культур в электромагнитном поле низкой частоты свидетельствуют об улучшении посевных качеств семенного материала, о повышении энергии про-

растания и всхожести, о повышении урожайности, за счет роста и густоты растений, что подтверждает актуальность применения ЭМП при предпосевной обработке семенного материала [1; 2; 141].

Г.В. Степанчук рассматривает применение электромагнитного поля при комбинированной предпосевной обработке семян для обеззараживания и повышения посевных качеств [119...121].

На качество предпосевной обработки влияют исходное состояние семян и их жизнеспособность, а также срок выдержки до посева. Исследования воздействия физических факторов имеют положительный результат для семян низких посевных качеств в повышении энергии прорастания и всхожести в сравнении с регулятором роста и химическими протравливателями [8; 38].

А.Г. Хныкина под руководством В.И. Рубцовой, исследуя процесс предпосевной обработки семян, акцентирует внимание на широком применении электромагнитного поля как альтернативы химическим методам, что связано с простотой и быстротой контролирования режимов и возможностью автоматизации процесса, отмечая также угнетающее действие на возбудителей семенных болезней при повышении посевных качеств [131].

А.А. Беловым проведен анализ технологий воздействия на кормовое зерно на основе электрофизических факторов с обоснованием воздействия ЭМП СВЧ как наиболее эффективного и перспективного, что связано с оздоровлением зерна от грибов, вирусов и бактерий за счет совместного действия электромагнитного и теплового полей. Исследования термомеханического воздействия на основе СВЧ излучения на фуражное зерно маломощными генераторами 1...5 кВт с повышением напряженности электрического поля за счет конструкции резонатора позволили обосновать конструкцию установки и режимы, способствующие снижению микробиологической обсемененности с последующим повышением кормовой ценности в соевых бобах [6; 76; 81; 92].

Е.И. Егоровой под руководством Е.П. Кондратенко представлены исследования влияния СВЧ обработки мощностью 1,2 кВт и частотой излучения в рабочей камере 2,45 ГГц сухих, увлажненных до 18%, замоченных в 0,1%-ном раство-

ре тиамин, нескольких сортов семян яровой пшеницы разной спелости в течение 5, 10 и 15 секунд в микроволновке Panasonic. В результате сделан ряд выводов: во-первых, сорт семян пшеницы влияет на результат СВЧ-воздействия, при этом повышение всхожести наблюдается только при обработке в течение 5 секунд в среднем по сортам на 3,6% для неувлажненных семян, 4,3% – для увлажненных и 10,6% – для обработанных в растворе; во-вторых, обработка СВЧ-излучением замоченных в растворе семян способствует более развитой системе корней, повышению урожайности, улучшению технологических характеристик зерна и положительному влиянию на содержание водорастворимых витаминов; в-третьих, проводить предпосевную обработку по предложенному режиму следует на универсальной микроволновой вакуумной установке «Родник» [43].

В исследованиях А.Е. Романюкина под руководством А.Г. Филиппова использование промышленного источника СВЧ-энергии «Хазар-2Р» с рабочей частотой 2375 МГц и регулируемой мощностью 0,18–2,5 кВт для предпосевной обработки ярового ячменя в течение 3-х секунд приводит к повышению показателей качества семян в среднем на 5%, к повышению содержания белка в зерне на 9,5% и лизина в белке на 6%, к повышению урожайности за счет повышения количества продуктивных стеблей на 5,2%, озерненности колоса на 1,7%, крупности зерен на 7,5% и продуктивности колоса на 10,3% [110].

А.А. Васильевым под руководством профессора В.Р. Краусп предлагается проводить СВЧ-обработку для обеззараживания семенного зерна в послеуборочный период, чтобы не допустить развития плесеней и грибков и снизить затраты на дезинфекцию в процессе хранения и дальнейшего использования [24]. В основу предлагаемого устройства для обработки положен магнетрон 900 Вт с частотой 2,45 ГГц, работающий в постоянном или импульсном с длиной импульса 4 секунды режиме. Расчет удельных мощностей облучения проведен в зависимости от расстояния между магнетроном и зерновкой, глубины проникновения, датчика электрофизических свойств обрабатываемого материала, с использованием методики и специального устройства, разработанного в соавторстве с Д.А. Будниковым [100].

Исследования О.Г. Толмашовой под руководством Н.В. Цугленок по влиянию предпосевной СВЧ-обработки на предварительно увлажненные раствором микроэлементов и биологически активных веществ семена пайзы источником с частотой 2400 МГц, обеспечивающим удельную мощность $1,7...3,3 \text{ Вт/см}^3$, в течение $30...90$ секунд, располагающимся на ленточном транспортере, обосновывают максимальный обеззараживающий эффект при удельной мощности $3,3 \text{ Вт/см}^3$ и времени 90 секунд; при этом положительное влияние на всхожесть оказывает мощность $2,5 \text{ Вт/см}^3$, которая дает повышение урожая зеленой массы при воздействии $60...90$ секунд за счет увеличения величины растений [124]. Авторами предложен интегральный показатель качества для комплексного решения задач обеззараживания семян, повышения их всхожести, урожайности и питательной ценности кормов из пайзы (1.9):

$$f(x_1, x_2) = \frac{2,4}{x_2} - \frac{0,7}{x_2^2} - 0,1(\ln x_2)^2 + \frac{3,4}{x_2 x_1} + \frac{0,4 x_2}{x_1} - \frac{1,2 \ln x_2}{x_1} - \frac{21,0}{x_1^2} - \frac{10,4}{x_1} - 1,8 \quad (1.9)$$

где x_1 – экспозиция, с;

x_2 – удельная мощность, Вт/см^3 .

Исследования А.В. Заплетинной под руководством Н.В. Цугленок по влиянию СВЧ-поля на качественные показатели предварительно увлажненных в течение 10 минут семян гречихи [46; 47; 68] при движении по ленточному конвейеру с распределением семян по ячейкам с бортиками внутри микроволновки с инвертором Panasonic при излучении мощностью воздействия $900...1800 \text{ Вт/дм}^3$ (x_2) в течение $30...90$ секунд (x_1), позволили сделать вывод о снижении инфицированности бактериозом до 98 %; о снижении зараженности грибами рода фузариум в 2-2,5 раза; об увеличении полевой всхожести на 15% и урожайности на 10%; при этом увеличивается крупность семян и степень зрелости – при мощности 900 Вт/дм^3 и экспозиции в интервале $30...90$ секунд. Дисперсионный и регрессионный анализы позволили получить уравнения регрессии для y_1 – зараженности семян бактериозом (1.10) и y_2 – полевой всхожести (1.11):

$$y_1 = 2,44 + 1,83x_1 + 2,17x_2 + 1,75x_1x_2; \quad (1.10)$$

$$y_2 = 314,33 + 40,88x_1^2 + 15,13x_2^2 - 62,71x_1 - 316,04x_2 - 11,25x_1x_2. \quad (1.11)$$

А.В. Исаевым, А.В. Бастроном и А.В. Мещеряковым проведены исследования по влиянию предпосевной СВЧ-обработки на семена рапса после 3...5-минутного увлажнения раствором с микроэлементами при удельной мощности облучения 509...2548 Вт/дм³ (x_2) с частотой излучения 2450 МГц и мощностью 900 Вт в течение 30...90 секунд (x_1), что позволило выявить эффективный режим при 1529 Вт/дм³ и 60 секунд с повышением урожайности в 18,9% при снижении семенных инфекций в 67...90% [49]. По данным исследования в лабораторных условиях семян рапса после СВЧ обработки получены уравнения регрессии для y_1 – всхожести (1.12), для y_2 – зараженности альтернариозом (1.13), для y_3 – зараженности фузариозом (1.14):

$$y_1 = 89,7 - 19x_1^2 - 18x_1 - 7,25x_2 - 13,37x_1x_2, \quad (1.12)$$

$$y_2 = 1,27 - 1,25x_1 - 1,08x_2 + 0,88x_1x_2, \quad (1.13)$$

$$y_3 = 6,16 - 2,5x_1 - 1,33x_2 - 1,5x_1x_2. \quad (1.14)$$

Исследования предпосевной СВЧ-обработки А.А. Василенко, А.В. Василенко, Г.И. Цугленок и А.П. Халанской, проведенные на предварительно увлажненных в течение 10 минут до 30% влажности семенах ячменя частотой излучения 2450 МГц при удельной мощности 650...1550 Вт/дм³ (x_2) в течение 30...90 секунд (x_1) на конвейерной установке, обосновывают повышение всхожести на 25% и урожайности от 4 до 14% с одновременным снижением зараженности растений ячменя семенными болезнями от 33 до 100% и листостебельными от 43 до 78% при режиме 1100 Вт/дм³ и экспозиции – 60...90 секунд [23; 93; 99]. Получены уравнения регрессии, показывающие зависимость y_1 – зараженности семян ячменя пивоваренного грибами рода фузариум (1.15), y_2 – зараженности семян ячменя пивоваренного грибами рода альтернария (1.16), y_3 – урожайности семян ячменя пивоваренного (1.17):

$$y_1 = 0,61 - 0,79x_1 - 0,71x_2, \quad (1.15)$$

$$y_1 = 18,54 - 3,04x_1 - 3,125x_2 - 7,96x_1^2, \quad (1.16)$$

$$y_1 = 23,98 - 4,75x_2^2 - 0,66x_1 - 1,07x_2 - 1,29x_1x_2. \quad (1.17)$$

Исследования Р.А. Зубовой под руководством А.В. Бастроны по влиянию на посевные качества семян козлятника СВЧ-излучения удельной мощностью 665...1545 Вт/дм³ (x_2) в течение 20...80 секунд (x_1) показали практически линейную зависимость температуры нагрева семян от мощности и времени обработки с повышением всхожести семян на 2,2% при режиме 1545 Вт/дм³ и 20 секунд, со снижением зараженности альтернариозом на 40%, бактериозом – на 71% и фузариумом на 83% [48]. Дисперсионный и регрессионный анализы позволили получить уравнения регрессии для y_1 – лабораторной всхожести семян козлятника (1.18), для y_2 – зараженности фузариумом (1.19), для y_3 – зараженности альтернариозом (1.20), для y_4 – зараженности бактериозом (1.21):

$$y_1 = 70,78 - 1,5x_1 - 1,3x_2 - 3,25x_1x_2 \quad (1.18)$$

$$y_2 = 2 - 1,33x_2 \quad (1.19)$$

$$y_3 = 19 - x_1^2 - x_2^2 - 1,67x_1 - 2x_2 \quad (1.20)$$

$$y_4 = 4,67 - 1,17x_1 - 2,17x_2 + 1,25x_1x_2 \quad (1.21)$$

Исследования Г.Г. Юсуповой обосновывают актуальность использования СВЧ-энергии для обеззараживания зерна пшеницы, кукурузы и продуктов их переработки от гельминто-альтернариозно-фузариозного комплекса возбудителей, преобладающих в помольных партиях, в послеуборочный период на стадии стабилизации влажности, совмещая с процессом отволаживания, при наличии двух факторов, влияющих на процесс: x_2 – скорость нагрева (0,4...0,8°C/с); x_1 – экспозиция (30...90 с) [138]. Возбудители фузариума относятся к экзогенным инфекциям и не обезвреживаются в технологическом процессе обработки зерна перед помолом, однако эффективно поддаются СВЧ-воздействию. По результатам исследований автором получены модели для y_1 – зараженности пшеницы возбудителем рода фузариум (1.22) и для y_2 – зараженность зерна кукурузы возбудителем рода

физариум (1.23), обосновывающие оптимальные режимы при скорости нагрева 0,6...0,8°C/с в течение 60...90 с. с температурой нагрева зерна свыше 60°C.

$$y_1 = 11,8 + 7,3x_1^2 + 13,3x_2^2 - 26,7x_1 - 22,7x_2 + 18x_1x_2, \quad (1.22)$$

$$y_2 = 21,4 - 7,7x_1 - 14,7x_2 + 7,3x_2^2. \quad (1.23)$$

Исследования Г.А. Клундук под руководством Г.И. Цугленок связаны с предпосевной СВЧ-обработкой семян льна удельной мощностью 204...1022 Вт/дм³ в течение 10...30 с с возможностью дальнейшей отлежки от 1 до 8 дней при оценке лабораторной и полевой всхожести, урожайности, количества плодов растений, массы одного растения и массы семян единичного растения на протяжении трех лет. Авторы утверждают, что семена после СВЧ-воздействия способствуют формированию растений с более развитой корневой системой и ассимиляционной поверхностью, с увеличенной биологической массой и количеством плодов, а период отлежки в семенах позволяет резко активизировать дыхательные процессы, что также сказывается на конечном результате, а именно: урожайность обработанных семян льна без отлежки повысилась на 60,64%, с отлежкой – на 224,34% [54]. Для обеззараживающего эффекта и повышения урожайности рекомендован режим: 613 Вт/ дм³ и 20...30 с, при этом уравнение регрессии для y – урожайности семян в последний год имеет вид (1.24):

$$y = 272,5 - 35,16x_1 + 101,7x_1^2 - 99,26x_2^2. \quad (1.24)$$

Изучение влияния электромагнитных полей на объекты биологического происхождения позволило выявить, что эффекты, которые при этом проявляются, носят неспецифический и часто непостоянно проявляющийся характер, который определяется влиянием как энергетических параметров воздействия – частотой питающего тока, амплитудой прикладываемого напряжения, напряженностью электрического и магнитного поля и др., так и внутренними свойствами объекта обработки, например чувствительностью биообъекта к электрофизическому воздействию.

При этом характер и уровень воздействия могут вызывать у растительных организмов разнообразные реакции – от стимуляции в развитии до угнетения и полной гибели.

Исследования по применению СВЧ-излучения в сельском хозяйстве при обработке зерновых и других материалов не теряют актуальности и в последние 5 лет [6; 118; 125; 140; 147; 159; 161; 166], в том числе при проведении предпосевной обработки семян злаковых культур [60; 61; 111; 137; 167].

1.4 Заключение по первой главе. Цель и задачи исследований

Обработка семян в ЭМП СВЧ в сравнении с другими методами является перспективной, так как не оказывает вредного воздействия на окружающую среду и обслуживающий персонал, являясь экологичной, легко автоматизируется и встраивается в существующие технологические линии подготовки семенного материала, а время и мощность воздействия точно и просто регулируют дозу облучения на семена любых сельскохозяйственных культур.

Литературный обзор показал актуальность исследования влияния электромагнитного поля сверхвысокой частоты с обеспечением равномерности нагрева на посевные качества и зараженность семян различных сельскохозяйственных культур. Для решения этого вопроса перспективным является перемещение зерна в зоне обработки с обеспечением перемешивания зерновок, в том числе при создании псевдооживленного и разряженного состояния зернового слоя.

На основании вышеизложенного сформулирована цель исследования – Повышение качества семенного материала зерновых культур предпосевной обработкой электромагнитным полем сверхвысокой частоты, совершенствованием конструкции и оптимизацией конструктивно-технологических параметров установки.

В соответствии с этой целью поставлены следующие задачи исследования:

- разработать конструктивно-технологическую схему установки для СВЧ обработки семян злаковых культур;
- разработать математическую модель движения частицы в зависимости от геометрических параметров и кинематических режимов работы вибрирующего желоба установки для предпосевной обработки зерна;
- провести экспериментальные исследования по установлению рациональных конструктивных и технологических параметров транспортирующего устройства установки для предпосевной обработки зерна, обеспечивающих равномерное облучение семенного материала;
- обосновать экономическую эффективность предпосевной обработки семян зерновых культур электромагнитным полем СВЧ диапазона.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ПО ВИБРИРУЮЩЕМУ ВОГНУТОМУ ЖЕЛОБУ

2.1 Обоснование теоретических исследований

Целью предлагаемого нами решения повышения эффективности и равномерности предпосевной обработки в СВЧ-установках семенного материала является создание псевдооживленного слоя зерна в результате использования вибрационного транспорта (приложение Б).

Результат достигается (рисунок 2.1) за счет того, что зерно из бункера питателя, состоявшего из непосредственно бункера (1) и дозирующего устройства (2), поступает в желоб вибрационного транспортера (3), закрепленного на поворотной раме (4), где под воздействием движущей силы, формируемой колебательными движениями эксцентриков (5) с массой $m_э$ и эксцентриситетом e , вращающихся с частотой $n_э$, расположенными на концах вала электродвигателя (6), и изменяемым углом наклона желоба транспортера α движется по транспортеру. При движении зерна по транспортеру оно попадает в СВЧ-камеру, где подвергается воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты (СВЧ), создаваемого магнетроном (7), где происходит его предпосевная обработка.

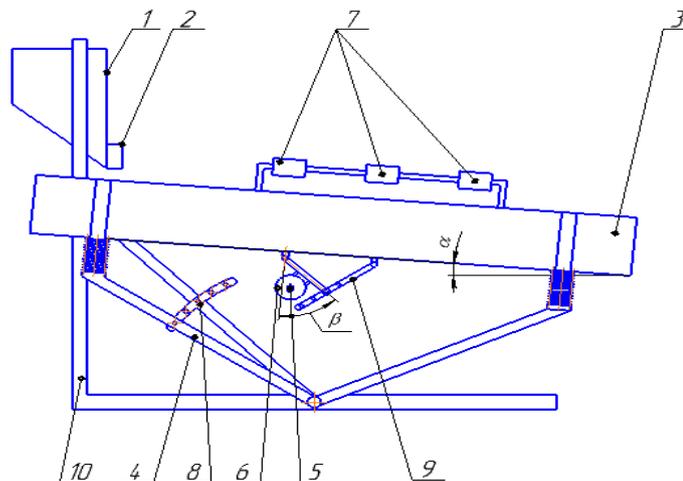


Рисунок 2.1 – Установка для предпосевной СВЧ-обработки семенного зерна

Скорость движения зерна по транспортеру, а соответственно и время обработки токами СВЧ, регулируется изменением: угла наклона α желоба транспортера (8), частоты вращения $n_э$ эксцентриков (5) и угла положения двигателя (6) относительно нормали к днищу транспортера (угол направления колебаний β) в результате изменения угла положения двигателя (6) относительно лотка транспортера механизмом (9), остов (10) крепится неподвижно, обеспечивая при первоначальной установке горизонтальное положение днища желоба вибротранспортера.

Псевдооживленный слой, повышающий эффективность обработки токами СВЧ, формируется в зависимости от вида зерна путем изменения частоты вращения $n_э$, массы $m_э$ и эксцентриситета e эксцентриков (5) и изменения угла направления колебаний β .

В предлагаемой конструкции проблема уменьшения неравномерности воздействия ЭМП СВЧ решается следующим образом (рисунок 2.2): эксцентрики 1, помимо продольных и вертикальных колебаний желоба за счет диаметрально противоположного положения на оси двигателя, вызывают колебания пружинной подвески 2 в поперечном сечении, а пружинная подвеска придает поперечным колебаниям дугообразные движения желобу транспортера 3, формируя при этом поворотно-колебательные движения в плоскости поперечного сечения желоба.

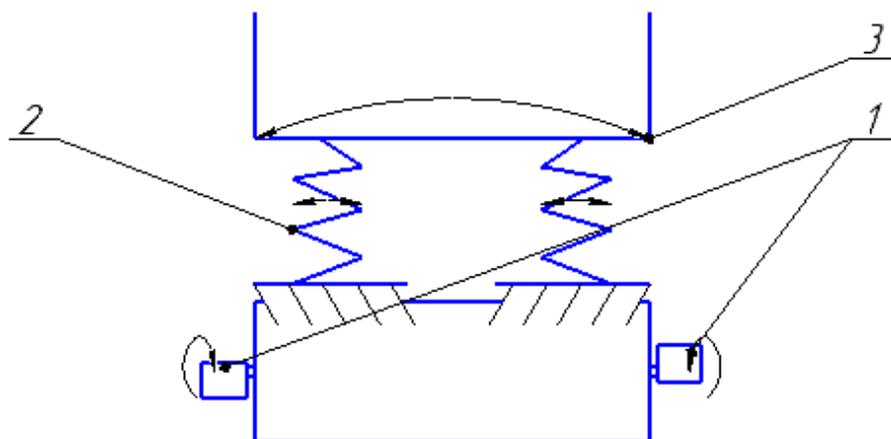


Рисунок 2.2 – Схема поворотно-колебательных движений желоба

Тем самым днище и стенки транспортера формируют динамическую камеру, изменяющую свое положение относительно неподвижного СВЧ излучателя.

Колебания днища и стенок желоба транспортера, постоянно изменяя условия отражения и рассеивания волн, выравнивают напряженность электромагнитного поля, повышая равномерность и эффективность обработки семян.

Таким образом, использование предложенной установки для СВЧ обработки семенного зерна обеспечивает повышение качества его обработки при широком диапазоне регулировок, позволяющем проводить обработку различных сельскохозяйственных культур, снизить металлоемкость и удельные затраты энергии.

Работа устройства осуществляется следующим образом, зерно из бункера-дозатора подается на поверхность вибротранспортера, где подвергается воздействию ЭМП СВЧ. За счет наличия вертикальной составляющей в результирующей продольного движения зерна по транспортеру создается псевдооживленный слой, повышающий эффективность обработки семенного материала. Колебания желоба вибротранспортера при этом создают условия для снижения неравномерности воздействия ЭМП СВЧ [53].

Результаты предварительных экспериментов и наблюдений за процессом движения зерна по желобу с плоским дном выявили следующее [112]:

1. Колебательные движения желоба вызывают смещение зерновок от центра транспортера к его периферии;
2. Возле стенки транспортера скорость движения зерна замедляется и формируется эллипс (рисунок 2.3);
3. В начале движения по вибрирующей поверхности желоба наблюдается общее снижение скорости движения зерна.

Для решения обозначившейся проблемы снижения общей скорости движения зернового материала и устранения эффекта «эллипса» при вибротранспортировании была предложена гипотеза о компенсации негативного воздействия круговых колебаний за счет изменения кривизны рабочей поверхности транспортирующего органа.

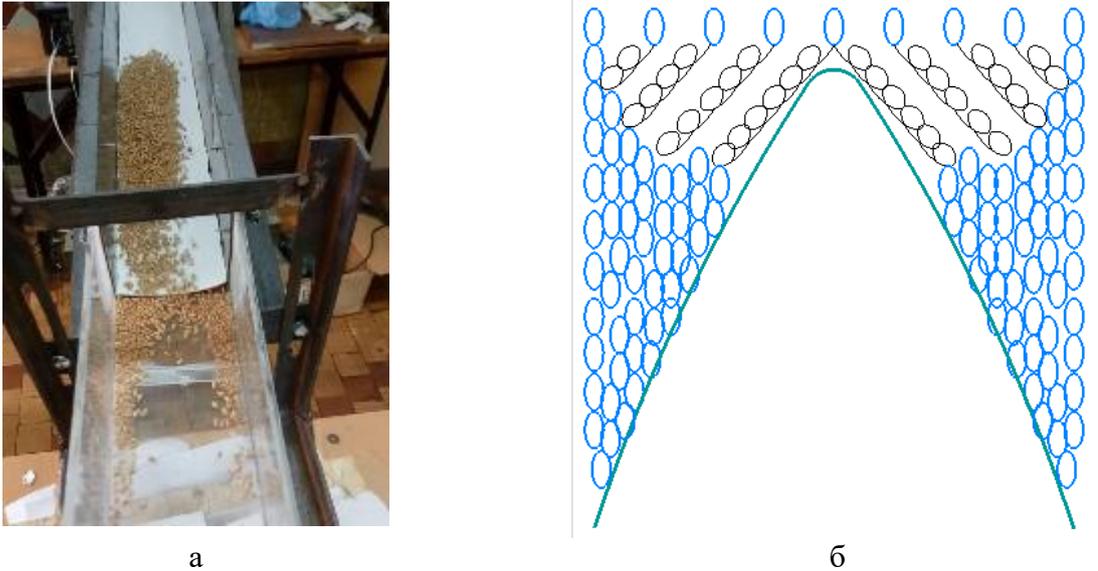


Рисунок 2.3 – Пример движения зерна по желобу вибротранспортера:
 а – в лабораторной установке, б – графическая иллюстрация
 образовавшегося эллипса

Таким образом, поверхность вибротранспортера должна обеспечивать интенсивное перемешивание материала по трем взаимно перпендикулярным направлениям, создавая псевдооживленное состояние.

2.2 Теоретический расчет перемещения частиц по вибрирующей цилиндрической поверхности

Вогнутая поверхность вибротранспортера представляет собой цилиндр радиуса R . Ось цилиндра имеет наклон к горизонту под углом α . Поверхность совершает поступательные колебания вдоль неподвижных осей Ox_1 , Oz_1 и вращательные колебания вокруг оси Ox , которая параллельна оси цилиндра и проходит через полюс O (рисунок 2.4). Двигатель вибратора жестко закреплен снизу подпружиненного цилиндрического лотка, по которому перемещаются частицы [5; 18; 19; 22; 134; 139].

Уравнения, описывающие переносное движение зерновки, которое обеспечивается двумя эксцентриками, расположенными на разных концах вала и вращающимися с частотой p , имеют следующий вид:

для поступательной составляющей

$$\begin{cases} x_1 = A_x \cos(2p \cdot t); \\ z_1 = A_z \sin(2p \cdot t); \end{cases} \quad (2.1)$$

и для вращения вокруг оси Ox

$$\varphi = A_\varphi \sin(p \cdot t). \quad (2.2)$$

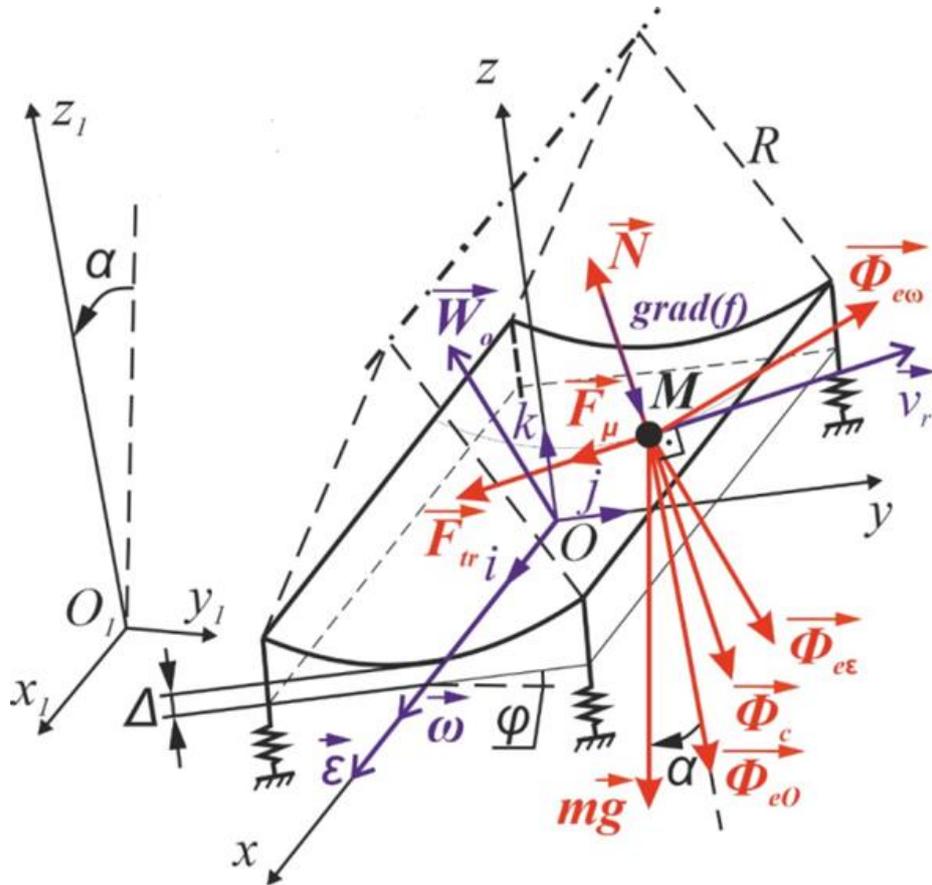


Рисунок 2.4 – Силы, действующие на частицу в относительном движении

Эксцентрики смонтированы в противофазе друг другу, поэтому за один оборот двигателя полюс O совершает два поступательных колебания с частотой $2p$ и амплитудами A_x, A_z , м. Цилиндрический лоток поворачивается на угол φ вокруг оси Ox с амплитудой вращательных колебаний A_φ , рад. и частотой p , c^{-1} .

Дифференциальное уравнение относительного движения частицы по поверхности лотка имеет вид:

$$m\vec{W}_r = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{tr} + \vec{\Phi}_e + \vec{\Phi}_c + \vec{F}_\mu, \quad (2.3)$$

где m – масса частицы; \vec{W}_r – относительное ускорение; \vec{g} – ускорение свободного падения; \vec{N} – нормальная реакция поверхности; \vec{F}_{tr} – сила сухого трения скольжения; $\vec{\Phi}_e$ – переносная сила инерции; $\vec{\Phi}_c$ – кориолисова сила инерции; \vec{F}_μ – сила сопротивления относительному движению со стороны соседних частиц.

Дифференциальное уравнение движения зерновки после отрыва от поверхности запишем так:

$$m\vec{W}_r = m\vec{g} + \vec{\Phi}_e + \vec{\Phi}_c + \vec{F}_\mu. \quad (2.4)$$

Определим силы, входящие в правую часть уравнений (2.3) и (2.4).

Сила тяжести:

$$m\vec{g} = mg \sin(\alpha) \cdot \vec{i} - mg \sin(\varphi) \cdot \vec{j} + (-mg \cos(\alpha)) \cos(\varphi) \cdot \vec{k} \quad (2.5)$$

где α – острый угол между вертикалью и осью z_1 (рисунок 2.4);

Далее в силу малости угла φ для всех векторов сил, полагаем

$$\sin(\varphi) = 0, \cos(\varphi) = 1$$

и

$$m\vec{g} = mg \sin(\alpha) \cdot \vec{i} - 0 \cdot \vec{j} + (-mg \cos(\alpha)) \cdot \vec{k};$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы координатных осей x, y, z , соответственно, которые жестко связаны с цилиндрической поверхностью.

\vec{N} – нормальная реакция цилиндрической поверхности;

$$\vec{N} = \lambda \text{grad}(f), \quad (2.6)$$

где $\text{grad}(f)$ – вектор-градиент к поверхности $f = f(x, y, z)$; λ – неопределенный множитель Лагранжа.

Уравнение поверхности представим в виде

$$y^2 + (z - (R + \Delta))^2 - R^2 = 0, \quad (2.7)$$

тогда проекции градиента на оси равны:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial y} = 2y \\ \frac{\partial f}{\partial z} = 2(z - (R + \Delta)) \end{cases} . \quad (2.8)$$

Модуль вектора-градиента равен

$$|\text{grad}(f)| = 2\sqrt{y^2 + (z - (R + \Delta))^2}. \quad (2.9)$$

Нормальная реакция определится так

$$\vec{N} = 0 \cdot \vec{i} + 2\lambda \cdot y \cdot \vec{j} + 2\lambda \cdot (z - (R + \Delta)) \cdot \vec{k}, \quad (2.10)$$

при вогнутом желобе $\lambda < 0$.

И модуль

$$|\vec{N}| = |\lambda| |\text{grad}(f)| = 2|\lambda| \sqrt{y^2 + (z - (R + \Delta))^2}. \quad (2.11)$$

Сила трения о поверхность противоположна относительной скорости

$$\vec{v}_r = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}; \quad (2.12)$$

$$\vec{F}_{tr} = -\eta |\vec{N}| \frac{\vec{v}_r}{|\vec{v}_r|}, \quad (2.13)$$

где η – коэффициент трения частицы о поверхность.

Тогда

$$\vec{F}_{tr} = -\eta |\vec{N}| \frac{\dot{x}}{|\vec{v}_r|} \vec{i} - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{y}}{|\vec{v}_r|} \vec{j} - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{z}}{|\vec{v}_r|} \vec{k}. \quad (2.14)$$

Когда частица движется в зерновом слое, на нее действует сила сопротивления \vec{F}_μ , пропорциональная скорости относительного движения

$$\vec{F}_\mu = -\mu \cdot m \cdot \vec{v}_r = -\mu \cdot m \dot{x} \vec{i} - \mu \cdot m \dot{y} \vec{j} - \mu \cdot m \dot{z} \vec{k}. \quad (2.15)$$

Определим переносную силу инерции $\vec{\Phi}_e$, которую разложим на три составляющие

$$\vec{\Phi}_e = \vec{\Phi}_{e0} + \vec{\Phi}_{e\omega} + \vec{\Phi}_{e\varepsilon}, \quad (2.16)$$

где $\vec{\Phi}_{e0}$ – сила инерции, обусловленная ускорением полюса \vec{W}_0

$$\vec{\Phi}_{e0} = -m\vec{W}_0.$$

Ускорение полюса \vec{W}_0 в проекции на оси координат $Oxyz$ равно:

$$\begin{cases} W_{0x} = -4p^2 A_z \cos(2p \cdot t) \\ W_{0y} = 0 \\ W_{0z} = -4p^2 A_z \sin(2p \cdot t) \end{cases}, \quad (2.17)$$

и тогда

$$\vec{W}_0 = \ddot{z}_1 \vec{k} = -4p^2 A_z \cos(2p \cdot t) \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j} - 4p^2 A_z \sin(2p \cdot t) \vec{k}; \quad (2.18)$$

$$\vec{\Phi}_{e0} = -mW_{0x} \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j} - mW_{0z} \vec{k}, \quad (2.19)$$

где $\vec{\Phi}_{e\omega}$ – сила инерции, обусловленная осеостремительным ускорением, равным $\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$, причем \vec{r} – радиус вектор частицы в относительном движении:

$$\vec{\Phi}_{e\omega} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}), \quad (2.20)$$

Учитывая, что

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}, \quad (2.21)$$

перемножим векторно угловую скорость на радиус-вектор в относительном движении

$$\vec{\omega} \times \vec{r} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega & 0 & 0 \\ x & y & z \end{vmatrix} = 0 \cdot \vec{i} - \omega z \cdot \vec{j} + \omega y \cdot \vec{k}$$

и результат на вектор угловой скорости слева, получим

$$\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega & 0 & 0 \\ 0 & (-\omega z) & \omega y \end{vmatrix} = 0 \cdot \vec{i} - \omega^2 y \cdot \vec{j} - \omega^2 z \cdot \vec{k}$$

где $\vec{\Phi}_{e\omega}$ – сила инерции, обусловленная осеостремительным ускорением (центробежная сила) равна

$$\overrightarrow{\Phi_{e\omega}} = 0 \cdot \vec{i} + m\omega^2 y \cdot \vec{j} + m\omega^2 z \cdot \vec{k}. \quad (2.22)$$

Величина угловой скорости ω определится дифференцированием уравнения (2.2)

$$\omega = \dot{\varphi} = A_\varphi p \cos(p \cdot t), \quad (2.23)$$

$\overrightarrow{\Phi_{e\varepsilon}}$ – сила инерции, обусловленная вращательным ускорением, которое равно $\vec{\varepsilon} \times \vec{r}$ и в проекциях на оси запишем

$$\vec{\varepsilon} \times \vec{r} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \varepsilon & 0 & 0 \\ x & y & z \end{vmatrix} = 0 \cdot \vec{i} - \varepsilon z \cdot \vec{j} + \varepsilon y \cdot \vec{k}$$

тогда

$$\overrightarrow{\Phi_{e\varepsilon}} = 0 \cdot \vec{i} + m \varepsilon z \cdot \vec{j} - m \varepsilon y \cdot \vec{k}, \quad (2.24)$$

где угловое ускорение есть производная от угловой скорости

$$\varepsilon = \dot{\omega} = -A_\varphi p^2 \sin(p \cdot t). \quad (2.25)$$

Определим кориолисову силу инерции $\overrightarrow{\Phi_c}$ через ускорение Кориолиса

$$\overrightarrow{W_c} = 2\vec{\omega} \times \vec{v}_r = 2 \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega & 0 & 0 \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} = 0 \cdot \vec{i} - 2\omega \dot{z} \cdot \vec{j} + 2\omega \dot{y} \cdot \vec{k}.$$

Тогда

$$\overrightarrow{\Phi_c} = -m\overrightarrow{W_c} = 0 \cdot \vec{i} + 2m \omega \dot{z} \cdot \vec{j} - 2m \omega \dot{y} \cdot \vec{k}. \quad (2.26)$$

Спроецируем уравнение (2.2) на оси координат

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin(\alpha) - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{x}}{|\vec{v}_r|} - \mu \cdot m\dot{x} - mW_{0x} \\ m\ddot{y} = 2\lambda \cdot y - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{y}}{|\vec{v}_r|} - \mu \cdot m\dot{y} + m \omega^2 y + m \varepsilon z + 2m \omega \dot{z} \\ m\ddot{z} = -mg \cos(\alpha) + 2\lambda \cdot (z - (R + \Delta)) - \\ - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{z}}{|\vec{v}_r|} - \mu \cdot m\dot{z} - mW_{0z} + m\omega^2 z - m\varepsilon y - 2m \omega \dot{y} \end{cases}. \quad (2.27)$$

При движении по поверхности две из трех координат (2.27) независимы, а одна определяется через уравнение связи (2.7) и нужна для определения множителя Лагранжа λ .

Выразим координату z из уравнения связи (2.7) при вогнутой поверхности лотка

$$z = R + \Delta - \sqrt{R^2 - y^2}. \quad (2.28)$$

Возьмем производную по времени от уравнения (2.27), получим

$$\dot{z} = -\frac{y\dot{y}}{\sqrt{R^2 - y^2}} \quad (2.29)$$

Для нахождения ускорения по оси z продифференцируем по времени еще раз, запишем

$$\ddot{z} = -\frac{\dot{y}^2}{\sqrt{R^2 - y^2}} - \frac{y^2\dot{y}^2}{(R^2 - y^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{y\ddot{y}}{\sqrt{R^2 - y^2}} \quad (2.30)$$

Таким образом, из третьего уравнения (2.27), учитывая, что $|\vec{N}|$ выражается через λ по соотношению (2.11), получим уравнения для определения \ddot{x}, \ddot{y} и λ (причем $\lambda < 0$)

$$\left\{ \begin{array}{l} m\ddot{x} = mg \sin(\alpha) - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{x}}{|\vec{v}_r|} - \mu \cdot m\dot{x} - mW_{Ox} \\ m\ddot{y} = 2\lambda \cdot y - \eta |\vec{N}| \frac{\dot{y}}{|\vec{v}_r|} - \mu \cdot m\dot{y} + m\omega^2 y + m\epsilon z + 2m\omega\dot{z} \\ \lambda = \frac{m\ddot{z} + mg \cos(\alpha) + \mu \cdot m\dot{z} + mW_{Oz} - m\omega^2 z + m\epsilon y + 2m\omega\dot{y}}{2 \cdot (z - (R + \Delta)) - \eta \cdot 2\sqrt{y^2 + (z - (R + \Delta))^2} \frac{\dot{z}}{|\vec{v}_r|}} \end{array} \right. \quad (2.31)$$

Подставив выражения (2.29) и (2.30) в (2.31), находим величину λ , по ней проекции и модуль нормальной реакции цилиндрической поверхности \vec{N} .

Эти значения используем на следующем шаге численного интегрирования первых двух уравнений (2.31). При обращении в нуль множителя Лагранжа λ считаем, что частица отрывается от поверхности и в дальнейшем расчет осуществляем по уравнению (2.4) в проекции на подвижные оси координат до тех пор, пока

расстояние от оси цилиндра до частицы не станет равным или большим R . Затем принимаем конечные значения скоростей этого этапа движения в начальные условия для нового этапа движения, описываемого по уравнениям (2.31) до очередного отрыва от поверхности.

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin(\alpha) - \mu \cdot m\dot{x} \\ m\ddot{y} = -\mu \cdot m\dot{y} + m \omega^2 y + m \varepsilon z + 2m \omega \dot{z} \\ m\ddot{z} = -mg \cos(\alpha) - \mu \cdot m\dot{z} - mW_0 + m\omega^2 z - m\varepsilon y - 2m \omega \dot{y} \end{cases}, \quad (2.32)$$

Определение начальных скоростей после соударения с поверхностью проводим в соответствии с теорией квазипластического удара

$$\frac{v_{\tau H} - v_{\tau K}}{v_{\tau H}} = \theta, \quad (2.33)$$

где $v_{\tau H}$ – начальная скорость соударения частицы и поверхности в проекции на касательную плоскость к поверхности, $v_{\tau K}$ – конечная скорость соударения частицы и поверхности в проекции на касательную плоскость к поверхности, θ – эмпирический коэффициент, имеющий значение в пределах $0,3 < \theta < 0,7$.

Так как поверхность цилиндра слабо искривлена по отношению к плоскости (x, y) , то полагаем, что относительные скорости частицы после соударения меняются в соответствии с (2.33) по выражениям

$$\begin{cases} \dot{x}_K = \dot{x}_H(1 - \theta) \\ \dot{y}_K = \dot{y}_H(1 - \theta) \\ \dot{z}_K = -\frac{y\dot{y}_K}{\sqrt{R^2 - y^2}} \end{cases}, \quad (2.34)$$

где индекс "H" – обозначает начало удара, а "K" – окончание удара.

Кроме того, полагаем, что время удара существенно меньше, чем время полета частицы, то есть за время удара положение лотка не меняется.

По результатам теоретических исследований процесса движения зерновки по поверхности желоба вибротранспортера составлена программа, реализующая данный алгоритм расчета движения частицы, на языке С# [3; 136]. По результатам расчетов исследовались траектории частиц, имеющих разные начальные координаты. Интенсивность перемешивания оценивалась по вероятности пребывания

частиц в разных зонах поверхности транспортера по оси Oy . Наиболее эффективным является равновероятное пребывание частиц на разных участках по ширине жёлоба u при различных начальных координатах x_0, y_0 . При этом варьируемыми факторами являются $R, \Delta, p, A_x, A_z, A_\varphi, \alpha$.

2.3 Результаты моделирования траектории движения частицы на рабочей поверхности вибротранспортера

С целью описания движения псевдооживленного слоя написана программа для моделирования траектории движения частицы по наклонной вибрирующей цилиндрической поверхности, позволяющая на основании исходных данных рассчитать траекторию движения, как отдельной зерновки, так и слоя обрабатываемого зерна. Также предусмотрено визуальное представление траектории, что обеспечивает наглядность результатов расчета. Данная программа позволяет выбрать наиболее подходящую геометрическую форму поверхности транспортера и получить рациональные режимы работы установки при расчете движения частицы по вибрирующей поверхности (приложение В).

Работа программы осуществляется вводом кинематических и геометрических параметров (таблица 2.1), влияющих на движение зерна по вибротранспортеру. В результате обработки данных имеется возможность вывода на экран графического изображения траектории движения частицы в проекции на плоскости Oyz, Oxz, Oxy . Расчетные значения координат частицы, наличие контакта с поверхностью и некоторые другие параметры во временном интервале с заданным шагом выводятся в виде таблицы [15; 142].

Программа «Моделирование траектории движения частицы по цилиндрической вибрирующей поверхности» написана на языке C#. Она имеет оконный графический интерфейс и использует стандартный набор компонентов библиотеки MS Visual Studio [114].

В таблице 2.1 приведен список параметров, используемых в качестве входных данных для расчета в программе.

Окно программы (рисунок 2.5) содержит несколько расчетных блоков: таблица исходных данных (поз.2 рисунок 2.5), окно с траекторией частицы на плоскость (поз.4 рисунок 2.5), окно выбора закладки плоскости построения (поз.5 рисунок 2.5), окно результатов расчетов (поз.3 рисунок 2.5).

Таблица 2.1 – Используемые входные параметры в программе

Обозначение переменной	Описание переменной
ρ	Угловая скорость ротора вибратора, рад/с
R	Радиус цилиндра, м
Delta	Смещение от нижней точки желоба до оси X, м
Az	Амплитуда колебаний по z, м
Afi	Амплитуда колебаний угла вокруг x, рад
alfa	Продольный угол наклона лотка к горизонту, рад
dt	Шаг по времени
n	Максимальное число шагов по времени
Эта	Коэффициент сухого трения скольжения
Mu	Коэффициент вязкого трения в слое частиц
x0	Начальная координата по оси x, м
y0	Начальная координата по оси y, м
Teta	Коэффициент поглощения касательной скорости при ударе
Ax	Амплитуда колебаний вдоль оси x, м

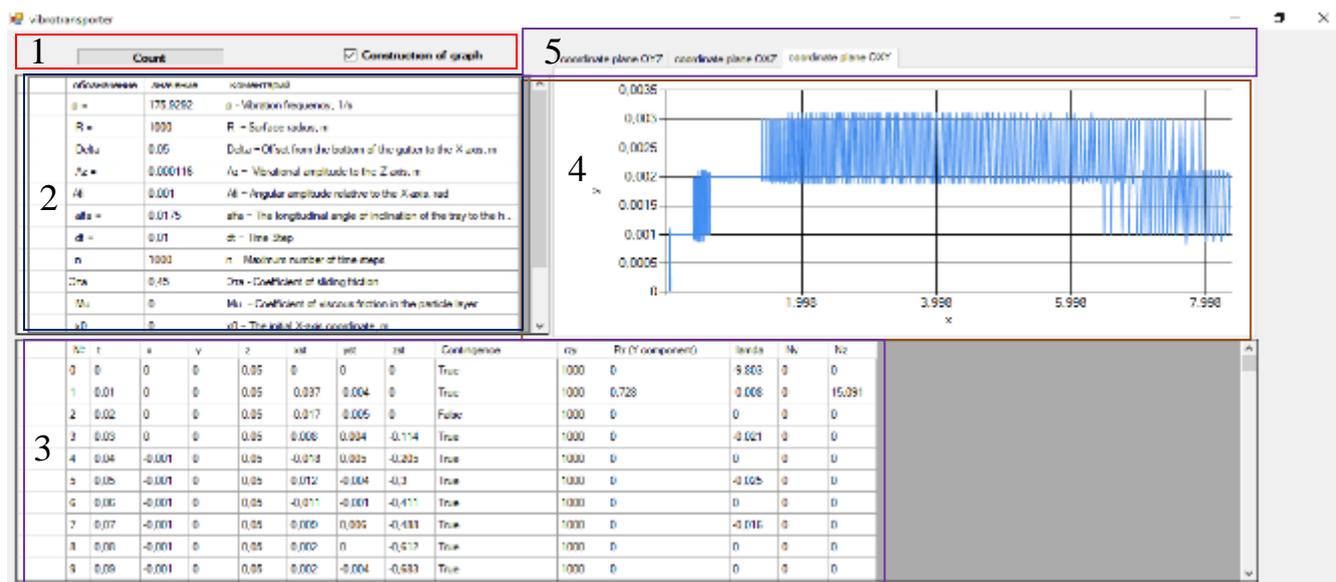


Рисунок 2.5 – Окно программы

Работа с программой начинается с ввода пользователем исходных данных в таблицу (поз. 1 рисунок 2.5). Затем необходимо активировать кнопку «Выполнить

расчет» (поз. 1 рисунок 2.5) и пользователь увидит промежуточные результаты расчетов в данный момент времени: координаты частицы в проекции на оси; значение проекций скорости частицы на оси координат; информацию о наличии контакта частицы с поверхностью; радиус поверхности; значение силы трения в проекции на ось Oy ; значение множителя Лагранжа; значения проекций нормальной силы реакции на ось y и z (поз. 3 рисунок 2.5).

Активировав опцию «График» и активировав кнопку «Выполнить расчет» (поз.1 рисунок 2.5), пользователь получает траекторию движения частицы в проекции на плоскости (поз.4 рисунок 2.5). Выбор необходимой плоскости осуществляется в результате активации соответствующей закладки (поз.5 рисунок 2.5) [115].

Для предварительного поиска диапазона варьирования параметров в ходе проведения экспериментальной части исследования проведем моделирование движения частицы по поверхности желоба. Для чего проведем анализ графиков (рисунки 2.6, 2.7, 2.9, 2.10), полученных в результате расчета траектории движения частицы при разных значениях варьируемых параметров: амплитуда колебаний по оси Ox , угловая скорость ротора вибратора, радиус цилиндрической поверхности желоба вибротранспортера, продольный угол наклона лотка к горизонту и других [115].

2.3.1 Влияние амплитуды колебаний вибротранспортера вдоль оси абсцисс (Ox) на траекторию движения частицы

Рассмотрим траекторию движения частицы в проекции на плоскость Oxy и Oxz при изменении амплитуды колебаний по оси абсцисс Ox , получаемую при следующих параметрах (рисунок 2.6): $R = 1$ м, ω (p) = 60 с⁻¹; Δ (Delta) = 0,08 м; η (Эта) = 0,2; α (Alfa) = 3°; μ (Mu) = 0,3; θ (Teta) = 0,5; A_z (Az) = 0,001 м; A_φ (Afi) = 0,005 м; x_0 (x0) = 0, y_0 (y0) = 0, $dt = 0,01$ с, $n=1000$, A_x (Ax) = $15 \cdot 10^{-4}$, $15 \cdot 10^{-3}$ и $15 \cdot 10^{-2}$ м.

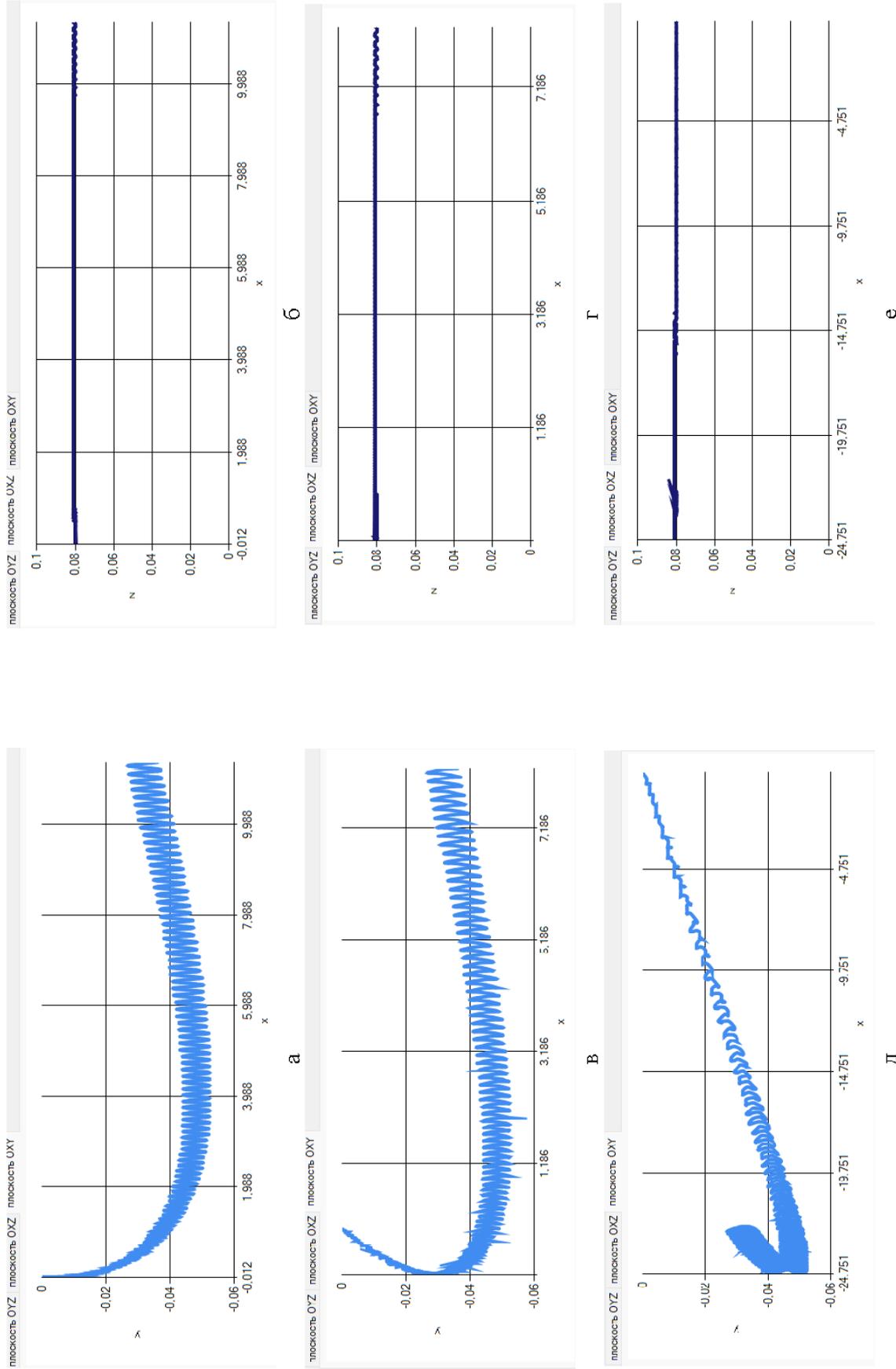


Рисунок 2.6 – Результаты построения траектории движения частицы в проекции на плоскость Oxy и Oxz при амплитуде колебаний вдоль оси $Ox - A_x - A_x(Ax)$, м: а, б – $5 \cdot 10^{-4}$; в, г – $15 \cdot 10^{-3}$; д, е – $15 \cdot 10^{-2}$

Анализ траекторий движения частиц, представленных на рисунке 2.6, показывает, что:

- с ростом A_x (A_x) амплитуды вдоль оси Ox от $15 \cdot 10^{-4}$ до $15 \cdot 10^{-3}$ м (рисунке 2.6 а, в) можно говорить о торможении скорости движения частицы, которое выражается в сокращении пройденного расстояния вдоль оси Ox , а при амплитуде A_x (A_x) $15 \cdot 10^{-2}$ уже наблюдается движение вверх по желобу, т.е. против угла наклона желоба α (рисунке 2.6 д);

- значительных перемещений частицы вдоль оси Oz не наблюдается и составляет $0,08 \dots 0,083$ м, что говорит об устойчивости движения частицы в плоскости Oxz (рисунок 2.6 б, г, е). В результате чего основным направлением движением частицы является движение вдоль желоба или оси Ox , т.е. смещение к периферии желоба отсутствует либо им можно пренебречь.

Таким образом, для обеспечения устойчивого движения частицы вдоль оси Ox желоба и недопущения скопления зернового материала в точке начала движения необходимо обеспечивать амплитуду колебаний вдоль оси Ox - A_x (A_x) не более $15 \cdot 10^{-4}$ м.

2.3.2 Влияние угловой скорости вращения эксцентриков на траекторию движения частицы

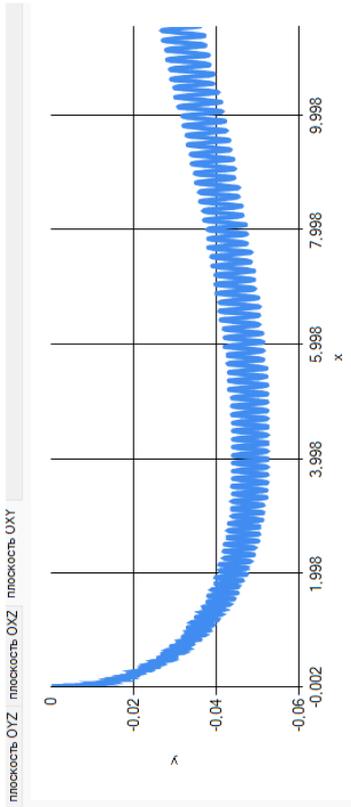
Рассмотрим траекторию движения частицы при изменении угловой скорости ротора вибратора (эксцентриков) ω (р), например, при следующих входных параметрах: $R = 1$ м, Δ (Delta) = 0,08 м; η (Эта) = 0,2; α (Alfa) = 3° ; μ (Му) = 0,3; θ (Teta) = 0,5; A_x (A_x) = 0,0005 м; A_z (A_z) = 0,001 м; A_φ (A_φ) = 0,005 м; x_0 (x_0) = 0, y_0 (y_0) = 0, $dt = 0,01$ с, $n=1000$, ω (р) = 60, 120 и 180 с^{-1} .

Анализ траекторий движения частиц, представленных на рисунке 2.7, показывает, что:

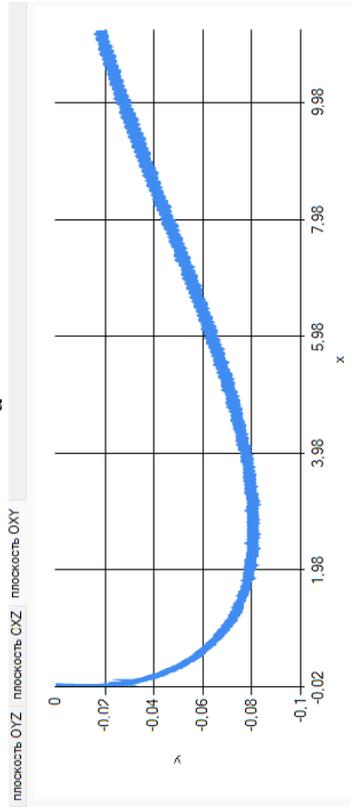
– с увеличением угловой скорости вращения эксцентриков ω от 60 до 120 с⁻¹ (рисунок 2.7 а, в, г) уменьшается «паразитное» движение частицы (уменьшение амплитуды колебаний частицы вдоль основного вектора движения). Также следует отметить, что при частоте 180 с⁻¹ (рисунок 2.7 д, е) частица начинает двигаться в противоположную сторону от направления уклона желоба, т.е. «вверх» по желобу, а затем скатывается по нему;

– при рассмотрении траекторий движения частицы в плоскости Oxz (рисунок 2.7 б, г, е) наблюдается устойчивый рост преобладания инерциальных сил над гравитационными выражающийся в росте значений оси Oz с ростом частоты вращения эксцентриков ω от 60 до 120 с⁻¹.

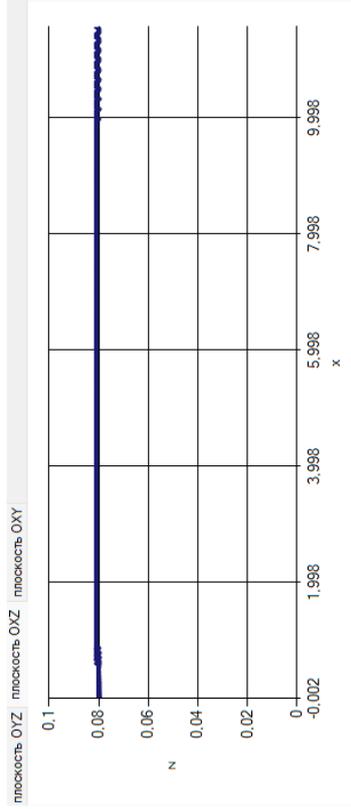
Таким образом, для обеспечения устойчивого движения частицы вдоль оси абсцисс Ox и минимального отклонении от нее частоту вращения эксцентриков ω (p) следует принимать не более 120 с⁻¹. При этом увеличение частоты ω (p) в некоторых случаях будет способствовать собиранию материала в точке начала движения и тем самым снижать пропускную способность вибротранспортера.



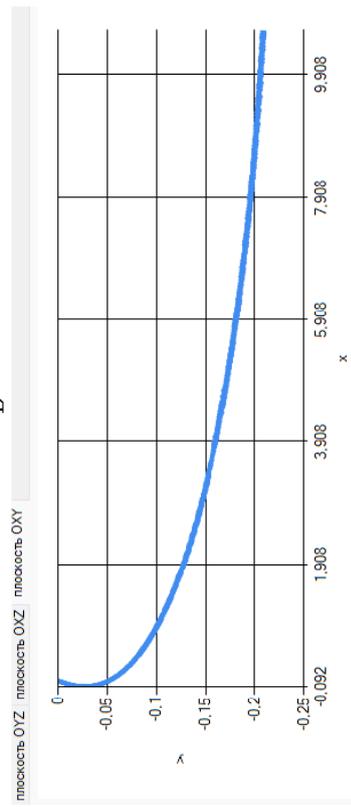
а



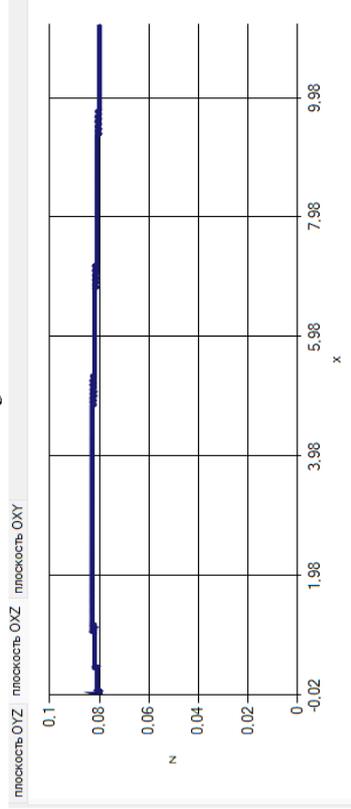
б



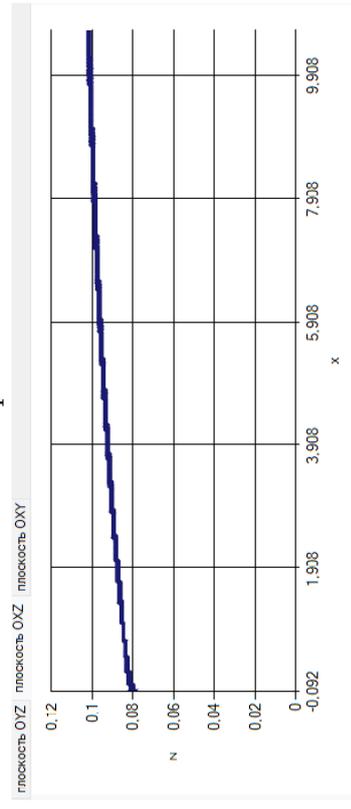
в



д



е



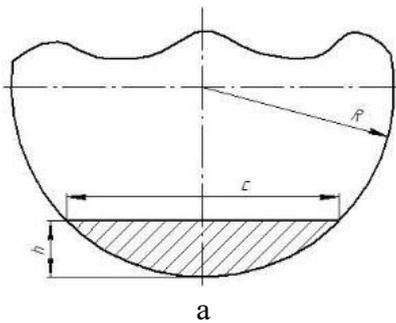
з

Рисунок 2.7 – Результаты построения траектории движения частицы в проекции на плоскость Oxy и Oxz при угловой скорости вращения эксцентрик – ω (р), с⁻¹: а, б – 60; в, г – 120; д, е – 180

2.3.3 Влияние радиуса желоба на траекторию движения частицы

Рассмотрим траекторию движения частицы при изменении радиуса желоба R , например, при следующих входных параметрах: $R = 50, 500$ и 5000 м; Δ (Delta) = $0,08$ м; η (Эта) = $0,2$; α (Альфа) = 3° ; μ (Му) = $0,3$; θ (Тета) = $0,5$; A_x (Ах) = $0,0005$ м; A_z (Аз) = $0,001$ м; A_φ (Афи) = $0,005$ м; x_0 (x_0) = 0 , y_0 (y_0) = 0 , $dt = 0,01$ с, $n=1000$, ω (ρ) = 60 с $^{-1}$.

Стоит отметить, что при радиусе R свыше 1000 м длину окружности, ограниченную хордой c длиной 1 м (рисунок 2.8), возможно принимать прямой линией.



а

Радиус R , м	Высота h , м
1	0,134
50	0,0025
500	0,00025
1000	0,000125

б

Рисунок 2.8 – К определению высоты сегмента h (а) и результаты расчета высоты сегмента h при длине хорды $c = 1$ м (б)

Из анализа полученных данных (рисунок 2.9) видно, что:

– с увеличением радиуса цилиндрического желоба R от 50 до 500 м (рисунок 2.9 а, в) наблюдается увеличение скорости движения частицы и рост отклонения от оси абсцисс, которое выражается в увеличении пройденного расстояния вдоль оси Ox с 8 до $9,2$ м и отклонении от $0,013$ до $0,017$ м. Тогда как при радиусе $R=5000$ м (рисунок 2.9 д) наблюдается уменьшение паразитных колебаний и устойчивое стремление частицы отдалиться от оси абсцисс Ox в отличие от других случаев (рисунок 2.9 а, в).

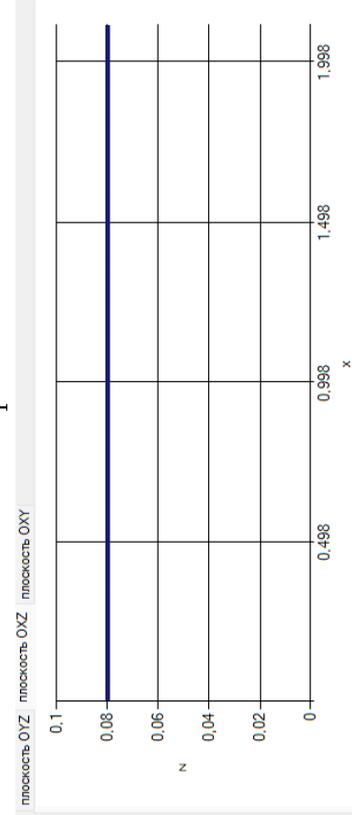
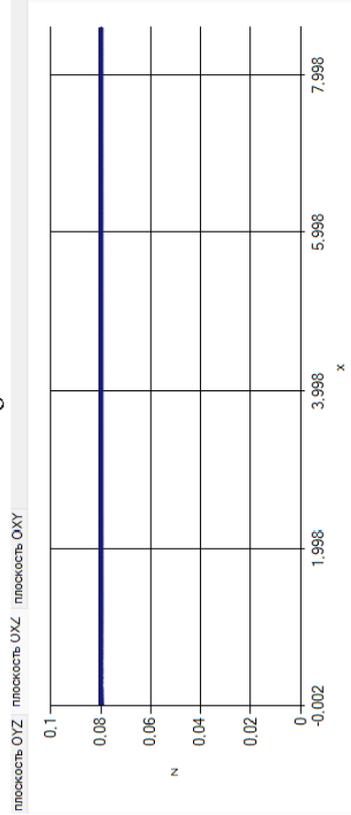
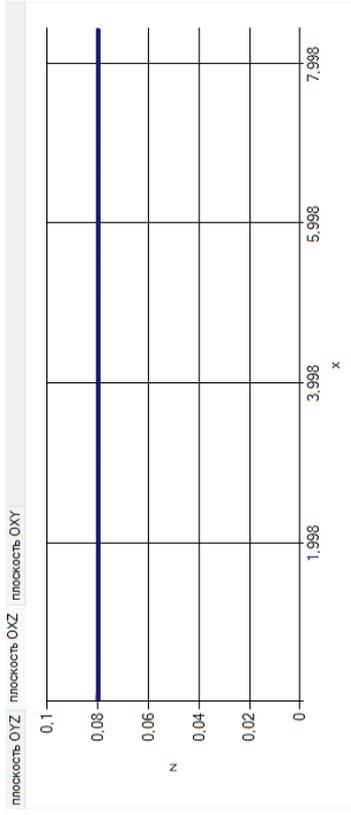
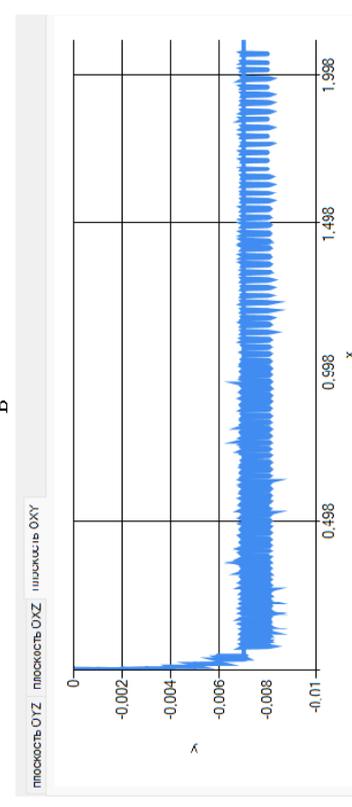
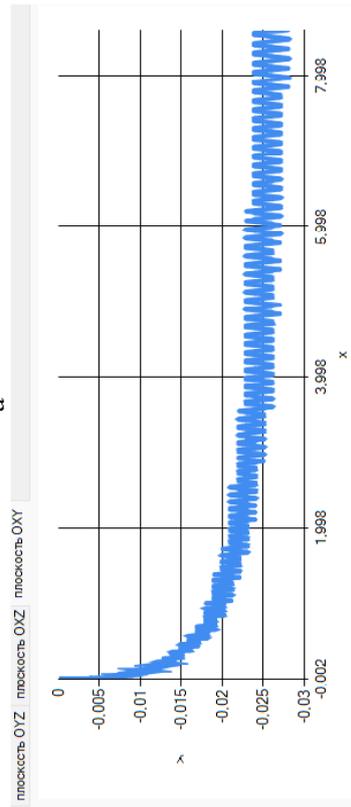
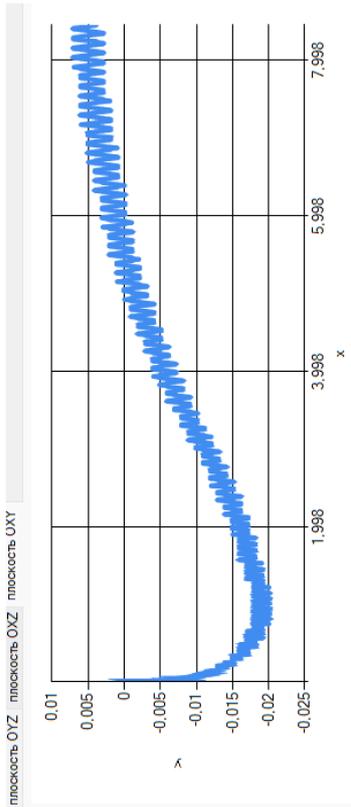


Рисунок 2.9 – Результаты построения траектории движения частицы в проекции на плоскость Oxy и Oxz при радиусе желоба – R, м: а, б – 50; в, г – 500; д, е – 5000

– с увеличением радиуса R цилиндрического желоба (рисунок 2.9 б, г, е) стремление частицы двигаться вдоль оси Oz минимально или им можно пренебречь.

Таким образом, искривление дна желоба радиусом менее 500 м способствует возврату частицы к оси абсцисс и уверенному движению вдоль цилиндрического желоба. Тогда как движение по желобу с плоским или близким к плоскому $R=5000$ м способствует смещению частицы к периферии.

2.3.4 Влияние продольного угла наклона желоба на траекторию движения частицы

Рассмотрим траекторию движения частицы при изменении продольного угла наклона желоба α , например, при следующих входных параметрах: $R = 1$ м, Δ (Delta) = 0,08 м; η (Эта) = 0,2; α (Alfa) = 0, 5 и 10°; μ (Mu) = 0,3; θ (Teta) = 0,5; A_x (Ax) = 0,0005 м; A_z (Az) = 0,001 м; A_φ (Afi) = 0,005 м; x_0 (x0) = 0, y_0 (y0) = 0, $dt = 0,01$ с, $n=1000$, ω (p) = 60 с⁻¹.

Из анализа траекторий движения частицы (рисунок 2.10) следует, что:

– с увеличением угла наклона желоба α транспортера происходит увеличение скорости движения за счет увеличения пройденного частицей пути по оси Ox , так при угле $\alpha=5$ и 10° (рисунок 2.10 в, д) перемещение составляет более 20 и 40 м соответственно, а при угле $\alpha=0^\circ$ перемещение не превышает 0,115 м и частица вверх по желобу – «крутится на месте» (рисунок 2.10 а);

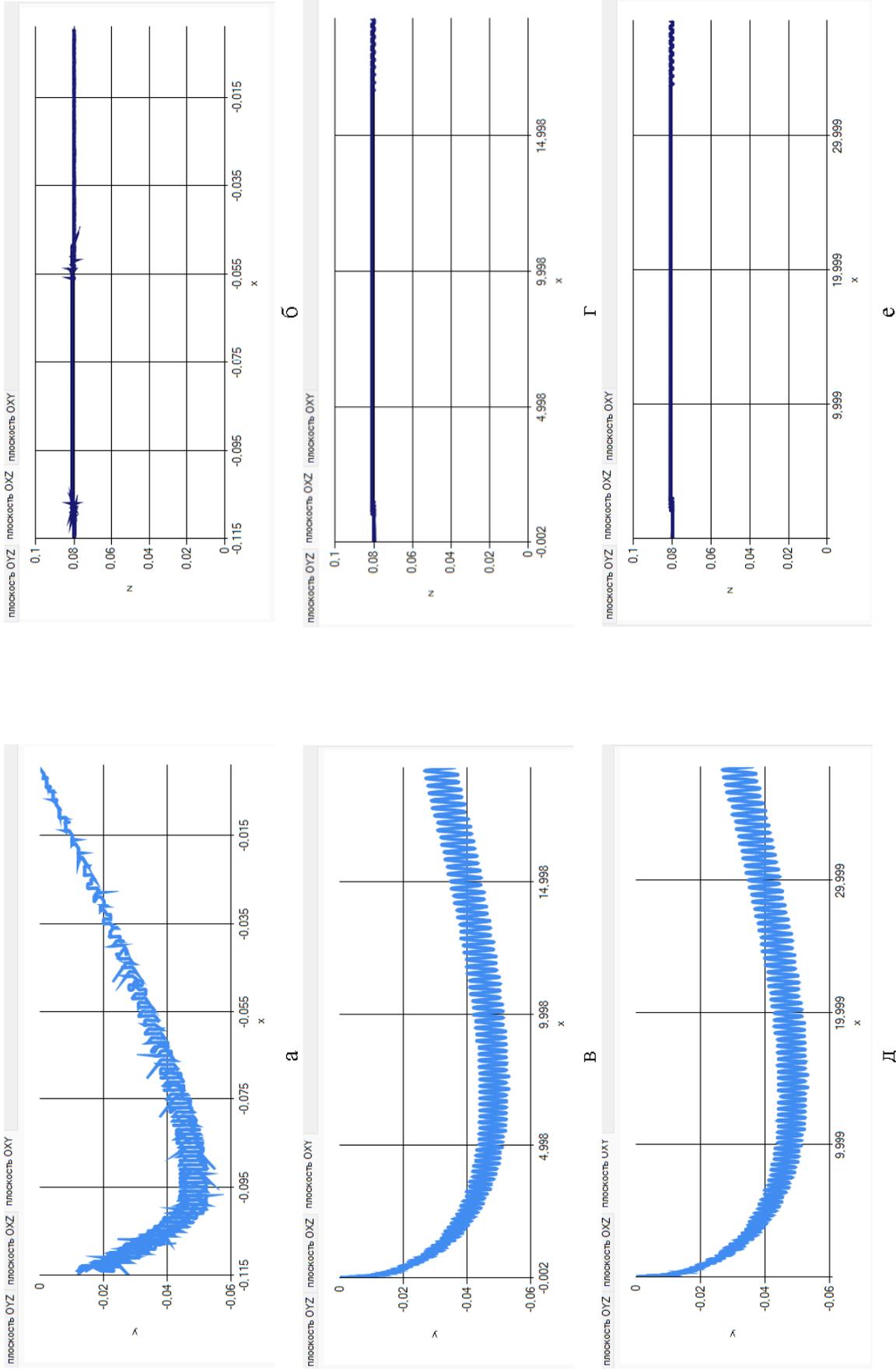


Рисунок 2.10 – Результаты построения траектории движения частицы в проекции на плоскость Oxy и Oxz продольного угла наклона желоба к горизонту – α (Alfa), град.: а, б – 0; в, г – 5; д, е – 10

– изменение угла наклона желоба не способствует удалению частицы от оси абсцисс и наибольшее отклонение от этой оси одинаково для всех рассматриваемых случаев траектории движения частицы в плоскостях Oxy (рисунок 2.10 а, в, д) и Oxz (рисунок 2.10 б, г, е).

Таким образом, с увеличением продольного угла наклона желоба α возрастают гравитационные силы, и частица приобретает дополнительное ускорение для движения вдоль оси Ox .

2.4 Заключение по второй главе

Предложена конструктивно-технологическая схема установки для предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле СВЧ (сверхвысокой частоты), позволяющая обрабатывать зерновой материала в псевдооживленном слое (патент РФ № 2754444).

Получена математическая модель движения частицы по цилиндрической вибрирующей поверхности с тремя степенями свободы (2.32). С учетом достаточно большого объема входных параметров: угловой скорости эксцентриков, радиуса кривизны цилиндрической поверхности (желоба), продольного угла наклона к горизонту, амплитуды колебаний и т.д. – дают достаточно обширную сферу для моделирования поведения частицы на цилиндрической поверхности.

На основании полученной математической модели движения частицы по поверхности вибротранспортера разработана программа «Моделирование траектории движения частицы по цилиндрической вибрирующей поверхности» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023615207), которая может быть применена для проектирования технологических линий и оборудования, например, предпосевной обработки зерна токами сверхвысокой частоты (СВЧ).

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Для решения поставленных задач разработана программа экспериментальных исследований:

1. Провести экспериментальные исследования по обоснованию необходимости обработки семян зерновых культур СВЧ-излучением.
2. Разработать конструктивно-технологическую схему и изготовить опытный образец установки для предпосевной обработки зерна в ЭМП СВЧ.
3. Провести экспериментальные исследования по определению наиболее значимых факторов, влияющих на технологический процесс СВЧ-обработки (пропускную способность и время воздействия ЭМП СВЧ), и определить интервалы их варьирования.
4. Провести экспериментальные исследования по обоснованию рационального сочетания конструктивных и технологических параметров работы установки при предпосевной обработке зерна, обеспечивающих максимальную пропускную способность и требуемое в зоне облучения время воздействия ЭМП СВЧ.
5. Провести лабораторные и полевые опыты в условиях Вологодской области по исследованию ярового ячменя, обработанного в ЭМП СВЧ.
6. Провести производственные испытания и дать технико-экономическую оценку результатам исследования.

3.2 Описание экспериментальной установки

Экспериментальные исследования проводились на опытном образце установки, изготовленной на базе ФГБОУ Вологодская ГМХА в соответствии с конструктивно-технологической схемой согласно патенту на изобретение № 2754444 [96].

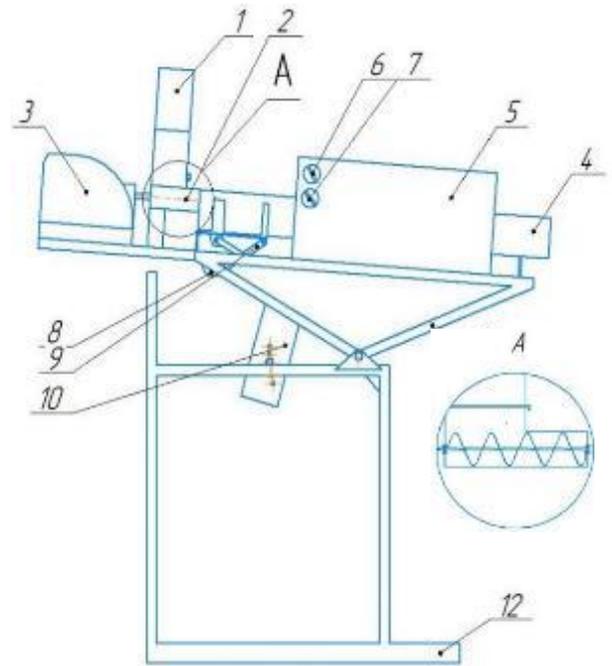
При этом на стадии предварительных исследований использовалась установка, представленная на рисунке 3.1, а последующие исследования проводились на доработанном образце экспериментальной установки (рисунок 3.2), в котором устранены выявленные в ходе эксплуатации установки (рисунок 3.1) недостатки. Внесение изменений в конструкцию экспериментальной установки заключалось в повышении удобства эксплуатации установки и повышении качества исследовательской работы.

Одна из особенностей исследуемого устройства заключается в том, что вибротранспортер позволяет создавать псевдооживленный слой из зернового материала, отвечающий за интенсивное перемешивание зерна во время обработки, что способствует более равномерному и эффективному облучению зерна ЭМП СВЧ. Так как вибрация желоба вибротранспортера передается к находящемуся на его поверхности зерновому материалу [53].

Работа установки (рисунок 3.2 б) происходит следующим образом: зерно из бункер-питателя гравитационного типа со щелевым дозатором 1 поступает на желоб вибротранспортера 2, соединенный посредством пружинной подвески с поворотной рамой 8, изменяющей свое положение относительно горизонта с помощью механизма изменения угла наклона желоба 5.



а



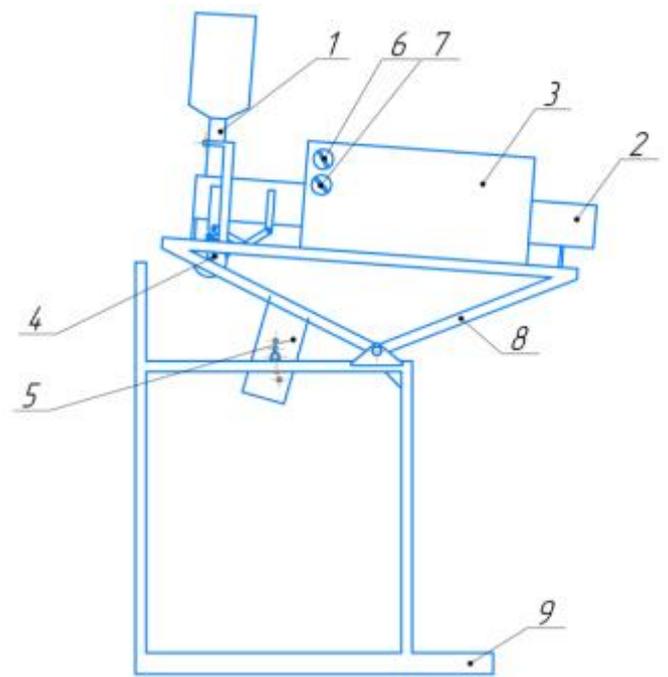
б

Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка для СВЧ-обработки семян (а) и доработанная конструктивно-технологическая схема (б): 1 – бункер с регулированием подачи заслонкой; 2 – шнековое дозирующее устройство; 3 – двигатель дозирующего устройства; 4 – желоб вибротранспортера, установленный на пружинной подвеске; 5 – СВЧ-камера; 6 – переключатель мощности СВЧ-облучения; 7 – переключатель времени СВЧ-облучения; 8 – электродвигатель с диаметрально установленными эксцентриками; 9 – механизм изменения угла положения двигателя; 10 – механизм изменения угла наклона желоба; 11 – поворотная рама; 12 – остов

Зерно, находящееся в желобе вибротранспортера, за счет вибрации образует зерновой слой в псевдооживленном состоянии, который перемещается в СВЧ-камеру 3, где подвергается воздействию источника излучения ЭМП СВЧ, с последующим сходом обработанного материала в приемную тару. Поворотная рама 8 соединена через резиновые демпферы с П-образной рамой-остовом 9, которая установлена на анкерных болтах. Работа экспериментальной установки, представленной на рисунке 3.1, а также регулировка дисбалансного механизма осуществлялась аналогично [10].



а)



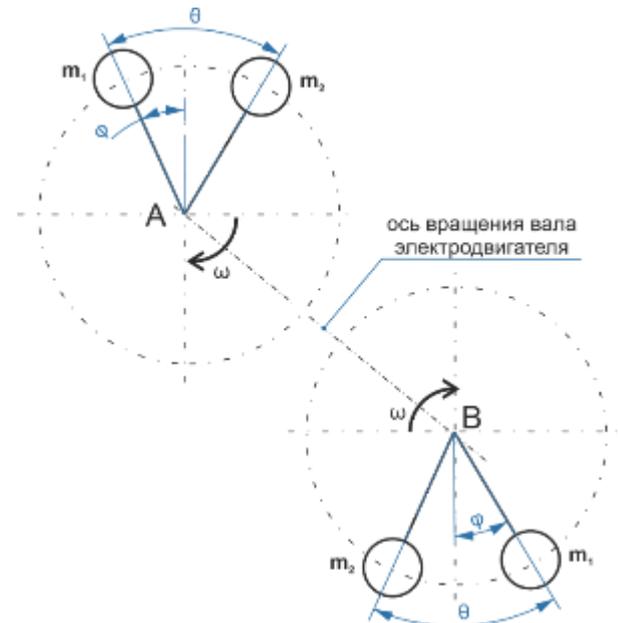
б)

Рисунок 3.2 – Усовершенствованная экспериментальная установка (а) и ее конструктивно-технологическая схема (б) : 1 – бункер-питатель гравитационного типа с щелевым дозатором; 2 – желоб вибротранспортера, установленный на пружинной подвеске; 3 – СВЧ-камера; 4 – электродвигатель с диаметрально установленными дисбалансными устройствами; 5 – механизм изменения угла наклона желоба; 6 – активатор первого источника СВЧ-излучения; 7 – активатор второго источника СВЧ-излучения; 8 – поворотная рама; 9 – П-образная рама-остов

Желоб вибротранспортера установлен на пружинной подвеске, к которому жестко прикрепляется электродвигатель с дисбалансным устройством (рисунок 3.3 а). Дисбалансное устройство представляет из себя диаметрально и противоположно разнесенные по концам вала электродвигателя эксцентрики (рисунок 3.3 б). Эксцентрик состоит из двух одинаковых стержней (грузов), перпендикулярно расположенных к оси вала электродвигателя. Благодаря изменению угла между стержнями (грузами) осуществляется изменение эксцентриситета эксцентрика. В ходе исследовательской работы угол между стержнями изменялся от 60° до 150° с шагом в 30° (таблица 3.1) [16].



а



б

Рисунок 3.3 – Дисбалансное устройство (эксцентрик) на валу электродвигателя (а) и схема к определению угла между грузами-эксцентриками дисбалансного устройства (б)

Таблица 3.1 – Параметры дисбалансного устройства усовершенствованной экспериментальной установки

Угол между грузами эксцентриками	150°	120°	90°	60°
Эксцентриситет, мм	3,92	7,8	11,21	13,86
Масса эксцентрика, гр.	79			

Частота вращения дисбалансного механизма изменялась с помощью частотного преобразователя (рисунок 3.9) при этом: $2940 \pm 30 \text{ мин}^{-1}$ (погрешность $\pm 1\%$) при 50 Гц; $3500 \pm 65 \text{ мин}^{-1}$ (погрешность $\pm 1,9\%$) при 60 Гц; $4050 \pm 100 \text{ мин}^{-1}$ (погрешность $\pm 2,5\%$) при 70 Гц.

3.3 Приборы и оборудование

В ходе проведения экспериментальных исследований использовалось разнообразное оборудование. Основная часть этого оборудования с их техническими характеристиками представлена на рисунках 3.4 – 3.15.



Характеристика	Значение
Откалиброван при частоте, МГц	2450
Диапазон измерений, мВт/см ²	0-9,99
Точность, дБ	±1
Допустимый уровень излучения, мВт/см ²	5

Рисунок 3.4 – Тестер утечек микроволнового излучения Microwave Leakage Detector DT-2G и его технические характеристики



Характеристика	Значение
Диапазон измерений, °С	от -50 до 900
Точность:	от -50 до 0 °С ±3 (±3%) от 0 до 900 °С ±1,5 (±1,5%)
Разрешение показаний, °С	0,1
Оптическое разрешение	12:1
Температура эксплуатации, °С	0...40

Рисунок 3.5 – Пирометр TemPro 900 и его технические характеристики



Вид измерения	Температура	Отн. влажность
Диапазон измерения и погрешность	от -20 до 0 °С включит.;	От 5 до 80 %;
	± 0,8%	
Разрешение	от 0 до 60 °С; ±0,5%	0,1
Температура эксплуатации, °С		от -20 до +50

Рисунок 3.6 – Смарт-зонд Testo 605i и его технические характеристики



Характеристика	Значение
Диапазон измерений, °С	I: от -30 до 100
	II: от 0 до 650
Точность:	от -30 до -20,1 °С ±3 °С
	от -20 до +100 °С ±2 °С
	свыше 100 °С ±2%
Рабочая температура, °С	-15 до 50
Инфракрасное разрешение	320x240
Чувствительность, мК	60
Геометрическое разрешение, мрад	2,3
Миним. размер изображения, МР	3,1

Рисунок 3.7 – Тепловизор Testo 872 и его технические характеристики



Вид измерения	Диапазон и погрешность измерения	Диапазон частот, Гц
ускорение, м/с ²	0,1 ... 199,9 ±5%	10... 10 ⁴
скорость, см/с	0,01 ... 19,99 ±5%	10... 10 ³
перемещение, мм	0,001 ... 1,999 ±5%	10... 500
Температура эксплуатации, °С		0...50

Рисунок 3.8 – Виброметр UNI-T UT315A и его технические характеристики



Характеристика		Значение
Номинальная мощность ЭД, кВт		1,5
Входные данные:	Частота, Гц	50/60 200...240;
	Напряжение, В	24
	Сила тока, А	
Выходные данные:	Частота, Гц	0...400
	Напряжение, В	0...240
	Сила тока, А	7,5
Степень защиты		IP20
Температура эксплуатации, °С		от -10 до 50

Рисунок 3.9 – Преобразователь частоты векторный Oni A400 и его технические характеристики



Характеристика		Значение
Измерение частоты вращения, об/мин		0,3 ... 3·10 ⁵
Погрешность:	от 0,3...120 мин ⁻¹	±0,03%
	от 120...3·10 ⁵ мин ⁻¹	±0,006%
Степень защиты		IP40
Диапазон рабочих температур, °С		5...40

Рисунок 3.10 – Тахометр ДО-03-02 и его технические характеристики



Характеристика		Значение
Предел взвешивания, кг		8/15
Дискретность, гр.		1/2
Класс точности		III (средний)
Погрешность:	от 40 г до 1 кг вкл.	±1
	от 1 кг до 4 кг вкл.	±2
	от 4 кг до 15 кг вкл.	±3
Температура эксплуатации, °С		от 5 до 35

Рисунок 3.11 – Весы ВПС-8/15 и их технические характеристики



Характеристика		Значение
Точность взвешивания		0,001 г
Дискретность		0,001 г
Предел взвешивания, гр.		50
Температура эксплуатации, °С		от 5 до 35

Рисунок 3.12 – Весы СХ-298 и их технические характеристики



Характеристика		Значение
Температура в рабочей камере, °С		40...200
Основная погрешность стабилизации температуры, °С		±1
Время разогрева шкафа до 200 °С, мин.		100
Мощность, потребляемая шкафом, В·А		560
Номинальное напряжение сети, В		220
Температура эксплуатации, °С		От 15 до 35

Рисунок 3.13 – Шкаф сушильный 2В-151 и его технические характеристики



Характеристика	Значение	
Номинальная / базовая (максимальная) сила переменного тока, А	5 (7,5)	
Номинальное / максимальное напряжение переменного тока, В	3×230 / 400	
Класс точности при измерении энергии:	активной	0,5S
	реактивной	1,0
Номинальная частота переменного тока, Гц	50	
Температура эксплуатации, °С	от -40 до 55	

Рисунок 3.14 – Счетчик электрической энергии трёхфазный многотарифный Меркурий 230 ART и его технические характеристики



Характеристика	Значение
Температура эксплуатации, °С	От 10 до 35
Класс точности	0,5
Рабочая область частот при токах 10А, Гц	65-400 (для 75В)
	65-500 (для 150-600В)
Нормальная область частот	40-65 Гц

Рисунок 3.15 – Измерительный комплект К505 и его технические характеристики

Для регистрации данных в режиме Online использовался персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением и интерфейсом связи. Подобный способ получения опытных данных применялся при использовании, например, тахометра (рисунок 3.10) и виброметра (рисунок 3.8).

3.4 Методика проведения исследований по оценке влияния конструктивно-технологических параметров экспериментальной установки на ее пропускную способность

Из обзора научных работ и анализа применяемых технических решений по осуществлению процесса предпосевной обработки зерна, представленного в первой главе нашей работы, установлено, что продолжительность воздействия на зерно (семена) или экспозиция является ключевым фактором, оказывающим влияние на качество этой обработки. Теоретические исследования выделили конструктивно-технологические параметры установки, обеспечивающей создание

псевдооживленного слоя зерна, формируемого в процессе его движения по поверхности вибрирующего желоба лабораторной установки – вибротранспортера (рисунок 3.1) и влияющие на время нахождения его на поверхности вибрирующего желоба, в частности, продолжительность нахождения зерновок в зоне интенсивного воздействия ЭМП СВЧ. К этим параметрам / факторам относят: подачу зернового материала, эксцентриситет вращающихся грузиков (эксцентриков), частоту вращения эксцентриков и угол наклона желоба вибротранспортера. Для регулирования которых использовались методы, представленные в таблице 3.2 [11].

Таблица 3.2– Факторы и способы их варьирования

Фактор	Способ регулирования
Подача зернового материала или зазор выгрузного окна бункера-питателя (x_1), мм	Осуществлялся установкой заслонки выгрузного бункера на необходимую величину (зазор) с контролем времени истечения зернового материала из выгрузного окна бункера-питателя
Эксцентриситет дисбалансного механизма или угол между грузами-эксцентриками (x_2), град.	Процесс изменения эксцентриситета в дисбалансном механизме представлен на рисунке 3.3 и описан в пункте 0
Угол наклона желоба / дна вибротранспортера (x_3), град.	При помощи механизма изменения угла наклона желоба вибротранспортера 10 (рисунок 3.1)
Частота вращения вала с эксцентриками или частота тока (x_4), Гц	В результате изменения частоты питающего тока в частотном регуляторе (рисунок 3.9), подключенном к электродвигателю дисбалансного механизма

Определение среднего времени облучения и пропускной способности установки в опытах многофакторного эксперимента осуществлялось на основе последовательного выполнения операций, зафиксированных в алгоритме, представленном на рисунке 3.16.

3.5 Особенности проведения исследований при использовании СВЧ-излучения на семена зерновых культур

Анализ экспериментальных и теоретических изысканий в вопросе воздействия на зерно ЭМП СВЧ выявил два основных управляемых фактора: время воздействия или экспозиция и поглощаемая материалом удельная мощность. Для расчета удельной мощности используют формулу (3.1).

$$P = 5,56 \cdot E^2 \cdot \varepsilon'' \cdot f \cdot 10^{-11} \quad (3.1)$$

где E – напряженность электромагнитного поля, В/м;
 f – частота поля, Гц;
 ε'' – фактор диэлектрических полей материала.

А.А. Васильев [23] отмечает, что в реальных условиях удельная мощность СВЧ-поля зависит от расстояния до магнетрона, его мощности, влажности зерна, поэтому расчет требуемой удельной мощности микроволнового поля необходимо проводить при заданной влажности зерна и времени обработки.

Источник СВЧ-излучения характеризуется двумя параметрами: частота поля и мощность. В основу рассмотренных технологий СВЧ обработки зерна положен или сам промышленный магнетрон частотой 2450 МГц и выдаваемой мощностью 700...900 Вт, используемый в бытовых микроволновках как наиболее доступный и дешевый, либо микроволновка с этим магнетроном как часть установки, благодаря наличию вентилятора для охлаждения магнетрона и защиты от вредного воздействия излучения на человека. В большинстве существующих микроволновок режимы со сниженной мощностью отличаются варьированием диапазонов включения/выключения магнетрона определенной мощностью, поэтому в качестве фактора, влияющего на процесс СВЧ-обработки семенного зерна в предлагаемой установке, выбрано время СВЧ-воздействия частотой 2450 МГц и мощностью 900 Вт,

настройка которого происходит регулированием конструктивных параметров (рисунок 3.16) [12].

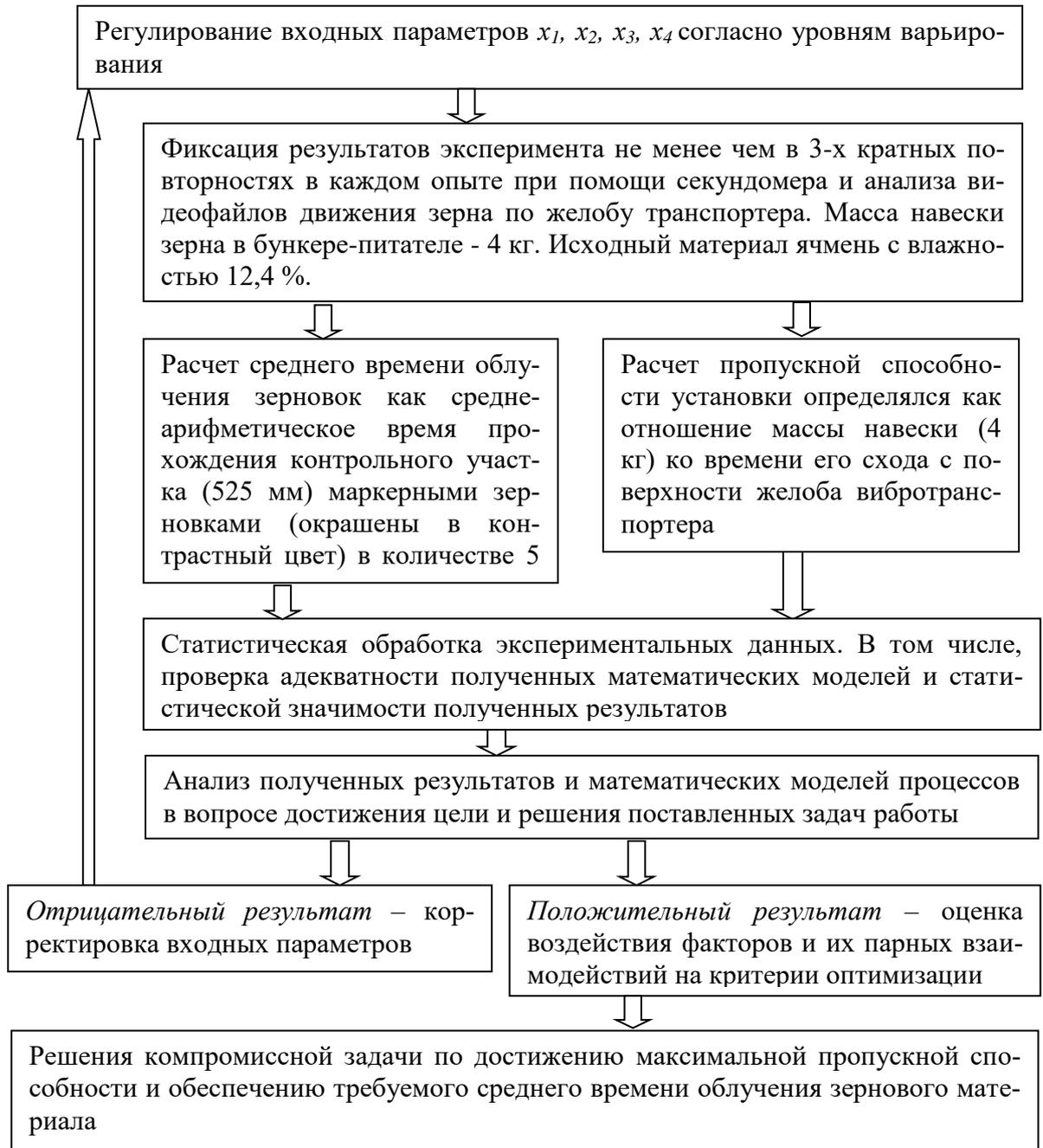


Рисунок 3.16 – Алгоритм проведения экспериментальных исследования влияния конструктивных параметров установки на время СВЧ обработки и пропускную способность

Интенсивность СВЧ-воздействия на зерновой материал непосредственно в лабораторной установке (рисунок 3.1) регулируется временем нахождения зернового материала в зоне облучения. В нашей конструкции предусмотрено 2 магнетрона по 900 Вт и зона облучения 100x525 мм.

Контроль температуры нагрева поверхности зернового слоя в результате воздействия ЭМП СВЧ осуществлялся при помощи тепловизора (рисунок 3.17), установленного на стойке и направленного на сход с лотка вибротранспортера.

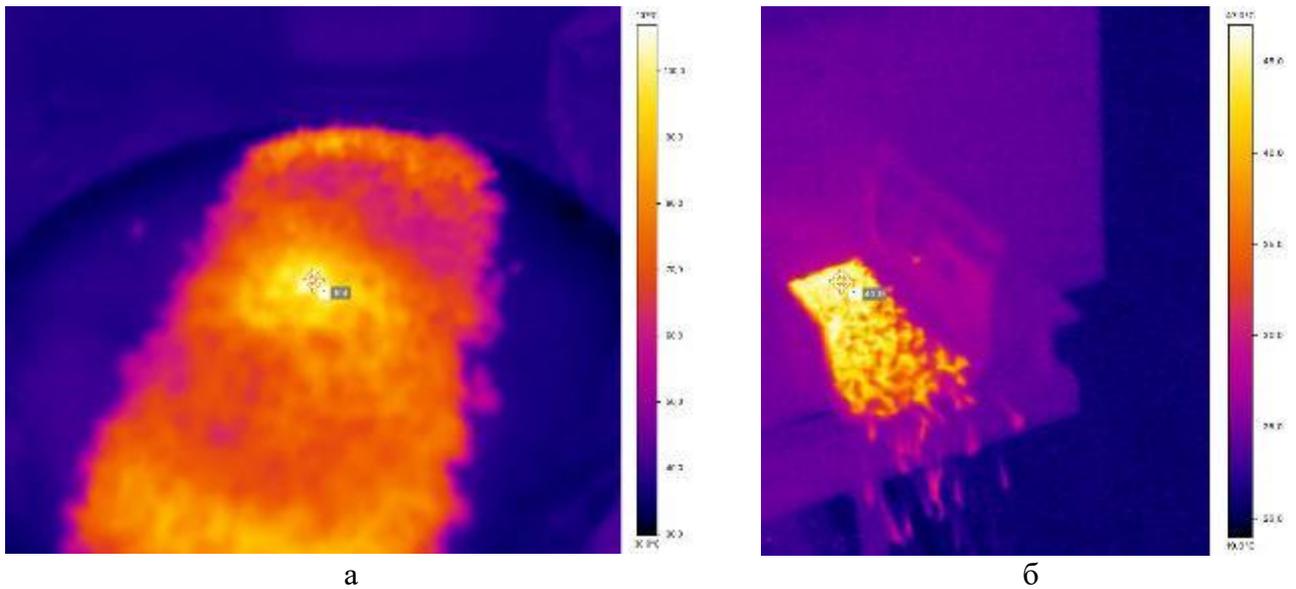


Рисунок 3.17 – Тепловизионные снимки неподвижного зернового слоя (а) и подвижного / псевдооживленного слоя (б) после СВЧ-обработки

Текущие показания с тепловизора передавались посредством связи на компьютер. Тем самым создавалась возможность оценивать температуру слоя семян и равномерность ее распределения как в процессе обработки, так и в конце обработки. Алгоритм процесса СВЧ-обработки семян в выбранном временном диапазоне представлен на рисунке 3.18 [8].

Предложенный алгоритм обеспечивает возможность оценки влияния конструктивных параметров разработанной экспериментальной установки на качественные показатели семенного материала злаковых культур и позволяет контролировать вибрационные параметры и уровень микроволнового излучения.



Рисунок 3.18 – Алгоритм процесса СВЧ-обработки семян зерновых культур

Оценку равномерности воздействия СВЧ-излучения на зерновой слой производили с помощью коэффициента вариации, размаха вариации, среднего линейного и среднеквадратического отклонения, дисперсии, относительного размаха вариации и относительного отклонения по модулю (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Числовые характеристики случайных величин

Наименование	Обозначение	Формула
Размах вариации	R	$x_{max} - x_{min}$
Среднее линейное отклонение	a	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x} $
Среднеквадратическое отклонение	δ	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
Дисперсия	δ^2	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
Относительный размах вариации	ρ	R/\bar{x}
Относительное отклонение по модулю	m	a/\bar{x}
Коэффициент вариации	v	δ/\bar{x}

Использование статистических методов обеспечивает объективность оценки и интерпритации полученных результатов.

3.6 Методика оценки посевных свойств зернового материала

Качество посевного материала злаковых культур оценивали в соответствии с ГОСТ 12038–84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» и ГОСТ Р 52325–2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия». Согласно приведенным нормативным актам при проведении посевных работ всхожесть злаковых культур должна составлять не менее 92%, а энергия прорастания – не менее 70%.

Определение всхожести и энергии прорастания в лабораторных условиях осуществлялось следующим образом (рисунок 3.19): на двухслойную фильтровальную бумагу, помещенную в чашку Петри (диаметром 100 мм) и смоченную дистиллированной водой при комнатной температуре, помещались по 50 семян таким образом, чтобы они заполнили все пространство на смоченной салфетке, не соприкасаясь друг с другом [13; 115].

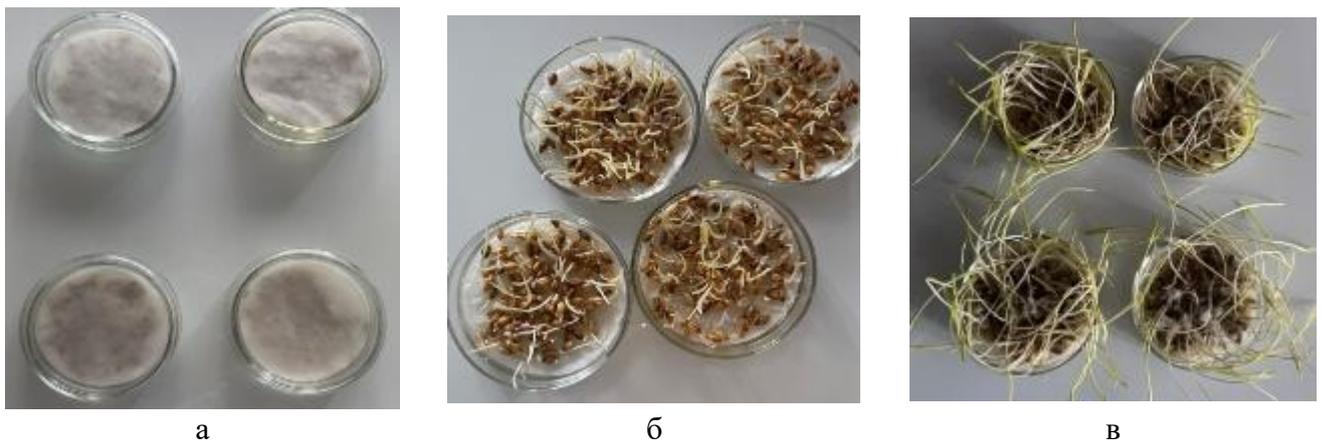


Рисунок 3.19 – Чашки Петри с семенами: а – в день закладки семян, б – на третьи сутки, в – на седьмые сутки

Каждый опыт реализовывался в 4-кратной повторности. Энергия прорастания подсчитывалась через трое суток, всхожесть подсчитывалась на 7-е сутки

[31]. К нормально проросшим относили семена, имеющие не менее двух нормально развитых корешков размером более длины семени, а также росток размером не менее половины его длины с просматривающимися первичными листочками. При этом размер первичных листов занимает не менее половины длины семени.

3.7 Условия и методика проведения полевого опыта

Влияние предпосевной обработки зерна в ЭМП СВЧ на качественные показатели возделывания зерновых культур с 2021 по 2024 годы проводился на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, находящемся в Вологодском районе Вологодской области. Район проведения исследования относится к континентальной части таежной зоны России. По почвенно-географическому распространению сформированы по большей части (85%) легкосуглинистые дерново-подзолистые почвы.

Расположение региона в зоне умеренно-континентального климата характеризуется продолжительной холодной зимой и относительно теплым коротким летом. Средняя месячная температура в июле составляет плюс 16,6...17,3°C, в январе – минус 10,8...13,8°C. Погода неустойчивая в течение всего календарного периода, например, возможны оттепели зимой и достаточно низкая температура в весенние месяцы (до минус 20°C). Среднегодовая относительная влажность воздуха находится в пределах 75...82%.

Агроклиматические условия в период наблюдений с мая по сентябрь сопровождались типичными для региона явлениями – засухами; продолжительными или сильными осадками; «температурными качелями» в результате попеременного вторжения волн теплого и холодного воздуха (рисунок 3.20).

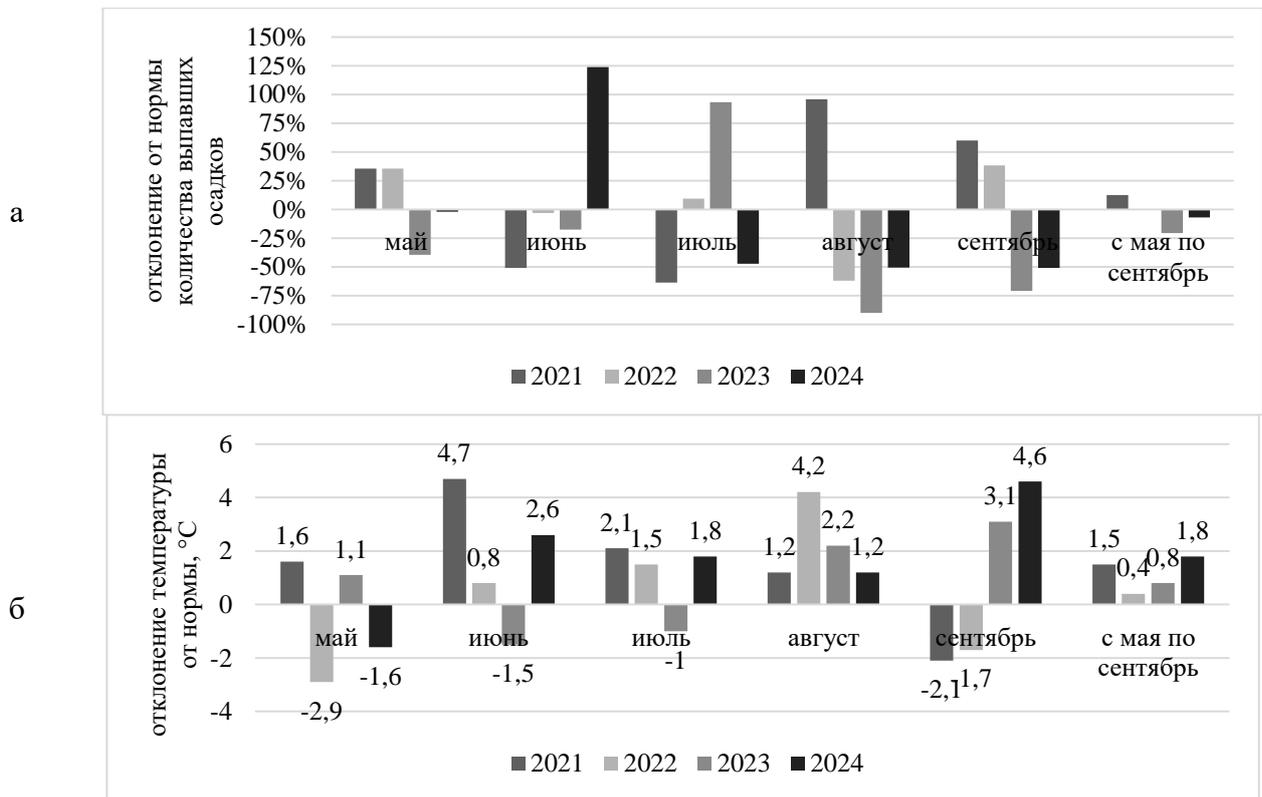


Рисунок 3.20 – Отклонение от среднемесячной нормы в 2021...2024 годах согласно данным ГМС Вологда: а – количества выпавших осадков, б – температуры воздуха

Погодные условия в период роста и развития ячменя в течение наблюдаемых лет исследований были разнообразны. Так, в 2023 и 2024 годах с мая по август гидротермический коэффициент по Селянину (ГТК) не превышал среднее многолетнее значение (таблица 3.4), а в остальные периоды был близок к норме (июнь–июль 2024 года) либо значительно превышал его (июнь–июль 2021 и 2022 годов).

Таблица 3.4 – Гидротермический коэффициент Селянинова за годы проведения исследования на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА (данные ГМС Вологда)

Гидротермический коэффициент (ГТК)	Года				Среднее многолетнее значение
	2021	2022	2023	2024	
ГТК (май-август)	1,9	1,8	1,02	1,3	1,4
ГТК (июнь-июль)	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4

Для поддержания обеспеченности почвы минеральными веществами осуществлялось внесение удобрений. В целом доза внесения НРК составляла 270 кг д.в./га (осень-весна). Калийные и фосфорные удобрения (P₄₅K₇₅) вносили

осенью. Азотные удобрения вносили весной при предпосевной культивации (N_{105}). Также весной при проведении полевых опытов применялось предпосевное внесение минеральных удобрений, согласно обоснованным нормам их внесения в условиях Вологодской области ($N_{15}P_{15}K_{15}$).

Для исследований использовался районированный для Северо-Западного региона РФ яровой ячмень сорта «Сонет» (№ 29164 в Государственном реестре селекционных достижений) со средней урожайностью – 38,5 ц/га. Сорт средне-поздний (вегетационный период 69...89 дней), устойчив к полеганию и засухе. Растение среднерослое и рекомендуемое для возделывания на фуражные цели. Масса одной тысячи зерен составляет 49...58 г [36].

Технология возделывания ячменя от посева до уборки являлась традиционной для условий Северо-Западного региона (приложение Г). Некоторые фрагменты этапов возделывания и развития ярового ячменя на учебно-опытном поле ФГБОУ Вологодская ГМХА представлены на рисунке 3.21.



а



б



в



г

Рисунок 3.21 – Фрагменты этапов возделывания и развития ярового ячменя на учебно-опытном поле ФГБОУ Вологодская ГМХА: а – посев; б – кушение; в – обработка гербицидами; г – колошение

Согласно методике проведения полевого опыта [39; 40] для оценки качественных вариантов предпосевной обработки выбрана 6-кратная повторность опыта на делянке с размером 4×25 м (100 м^2). Распределение делянок с повторностью опытов производили методом неорганизованной полной рандомизации. Участок проведения полевого опыта в общей площади составлял 2100 м^2 .

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты предварительных исследований по обоснованию необходимости обработки семян зерновых культур СВЧ-излучением

4.1.1 Влияние высоты слоя обрабатываемых семян на температуру их нагрева

Применение СВЧ-излучения для обработки семян перед посевом должно способствовать активизации ростовых процессов как альтернатива химическим способам защиты растений, а также повышению их всхожести.

На первом этапе исследований использовали микроволновую печь «Samsung» с инвертором, частотой поля 2450 МГц и мощностью СВЧ-излучения 900 Вт. Выходным параметром являлась температура нагрева зерна в зависимости от времени обработки СВЧ-излучением и толщины обрабатываемого слоя семян при сравнении с допустимой температурой нагрева семенного и фуражного зерна (таблица 4.1) [26].

Непосредственно для этих исследований использовался ячмень с исходной всхожестью 77% и энергией прорастания 55%. Температура в помещении и на поверхности зерна составляла 22°C.

При исследованиях высоту слоя семян изменяли от 3 мм до 18 мм с шагом 3 мм. Для опытов использовали емкость шириной 10 мм и длиной 25 мм. При каждом варианте время СВЧ-обработки варьировали в интервале от 5 до 60 с. с шагом в 10 с.

Таблица 4.1 – Допустимая температура нагрева зерна

Культура	Семенное зерно		Продовольственное и фуражное зерно	
	влажность, %	допустимая температура нагрева, °С	влажность, %	допустимая температура нагрева, °С
Пшеница	до 18	48	до 18	55
	18-21	48	18-22	52
	21-27	45	Выше 22	50
	Выше 27	43	-	-
Рожь, ячмень	до 18	48	до 18	65
	18-21	48	18-22	62
	21-27	45	Выше 22	60
	Выше 27	43	-	-
Овес	до 18	48	до 18	60
	18-21	48	18-22	55
	21-27	45	Выше 22	52
	Выше 27	43	-	-

Оценку распределения температуры по поверхности зернового слоя осуществляли с помощью тепловизионных снимков (рисунок 3.17), по градиентной шкале которых определяли максимальную и минимальную температуру поверхности зерна.

Результаты замеров температуры на поверхности семян, приведенные в таблице 4.2, показывают, что наиболее интенсивный нагрев наблюдается в первые 15 с, а затем его интенсивность несколько снижается вне зависимости от толщины слоя семян.

При этом нагрев происходит неравномерно, что может быть связано с размерами семян. Поэтому в различных точках обрабатываемого материала температура будет различаться. Однако снижение отклонений температурного воздействия наблюдается с повышением толщины слоя зерна от 9 до 12 мм, что говорит о наличии процесса теплообмена между слоями зерновок, а также о наличии теплоемкости [14].

Таблица 4.2– Результаты замера температуры поверхности слоя семян и их статистические показатели

Время обработки, с	$x_{\min}, ^\circ\text{C}$	$x_{\max}, ^\circ\text{C}$	$x_{\text{ср}}$	R	δ	ρ	m	v
Высота слоя семян 3 мм								
5	36,5	52,0	44,25	15,5	7,75	0,35	0,18	0,18
15	56,6	84,4	70,5	27,8	13,90	0,39	0,20	0,20
25	69,9	118	93,95	48,1	24,05	0,51	0,26	0,26
35	78,9	134	106,45	55,1	27,55	0,52	0,26	0,26
45	89,6	148	118,8	58,4	29,20	0,49	0,25	0,25
55	107	156	131,5	49	24,50	0,37	0,19	0,19
Высота слоя семян 6 мм								
5	36,7	46,8	41,75	10,1	5,05	0,24	0,12	0,12
15	56,4	68,7	62,55	12,3	6,15	0,20	0,10	0,10
25	76,2	97,4	86,8	21,2	10,60	0,24	0,12	0,12
35	89,9	133	111,45	43,1	21,55	0,39	0,19	0,19
45	102	149,1	125,55	47,1	23,55	0,38	0,19	0,19
55	114	153,1	133,55	39,1	19,55	0,29	0,15	0,15
Высота слоя семян 9 мм								
5	36,3	39,5	37,9	3,2	1,60	0,08	0,04	0,04
15	48,9	59,7	54,3	10,8	5,40	0,20	0,10	0,10
25	59,3	78,2	68,75	18,9	9,45	0,27	0,14	0,14
35	68,1	93,2	80,65	25,1	12,55	0,31	0,16	0,16
45	84,3	116	100,15	31,7	15,85	0,32	0,16	0,16
55	92,3	126	109,15	33,7	16,85	0,31	0,15	0,15
Высота слоя семян 12 мм								
5	31,8	35,2	33,5	3,4	1,70	0,10	0,05	0,05
15	48,1	61,3	54,7	13,2	6,60	0,24	0,12	0,12
25	51,7	75,1	63,4	23,4	11,70	0,37	0,18	0,18
35	60,5	104	82,25	43,5	21,75	0,53	0,26	0,26
45	70,9	110	90,45	39,1	19,55	0,43	0,22	0,22
55	78,7	127	102,85	48,3	24,15	0,47	0,23	0,23

Таким образом, экспериментальным путем подтвержден рост удельной теплоемкости зернового материала с ростом его массы / объема при сохранении площади воздействия СВЧ-излучения. В связи с этим в ходе дальнейших исследований для повышения пропускной способности установок предпосевной обработки зерна и обеспечения равномерности его нагрева следует располагать зерновой материал в один слой. А также обеспечить контроль нагрева семян.

4.1.2 Исследования по оценке влияния времени обработки СВЧ-излучением на всхожесть и энергию прорастания

Целью проводимого исследования являлось установление влияния мощности СВЧ-излучения и его продолжительности на неподвижный слой зерна.

Методика проведения исследований представлена в пункте 3.5. Толщина слоя зернового материала соответствовала толщине зерновок, располагающихся в один слой. Результаты определения лабораторной всхожести представлены на рисунке 4.1 [113].

Аппроксимация экспериментальных данных осуществлена с помощью полинома 2-й степени. При этом только достоверность уравнения регрессии $R^2=84,92\%$ при установленной мощности 700 Вт имеет удовлетворительное описание изменчивости экспериментальных данных ($R^2<85\%$). Тогда как остальные уравнения регрессии отлично описывают ($R^2>95\%$) изменчивость всхожести семян с течением времени в диапазоне от 0 до 45 с.

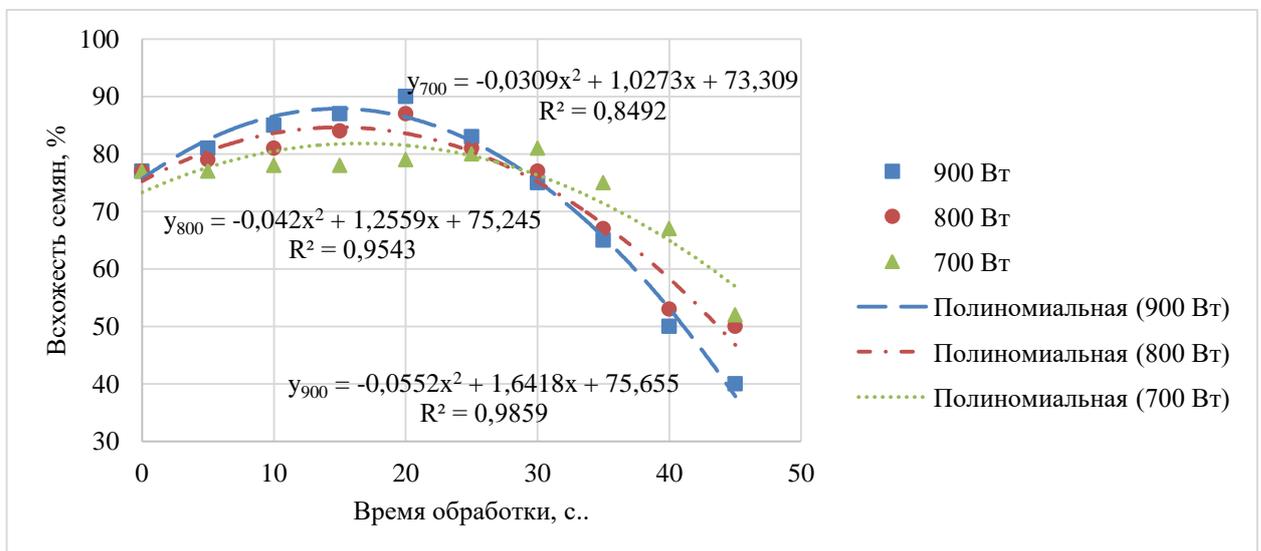


Рисунок 4.1 – Лабораторная всхожесть ячменя в зависимости от мощности СВЧ-излучения и времени обработки при неподвижном слое

Анализ полученных зависимостей показывает, что обработка СВЧ-излучением некондиционного зерна в одном слое (эквивалентном толщине зерновки) позволяет получать более высокую всхожесть, чем изначальная в течение

первых 25 с обработки вне зависимости от величины воздействующей мощности СВЧ-излучения в диапазоне от 700 до 900 Вт. При этом статистическая обработка экспериментальных данных позволяет говорить о том, что воздействие СВЧ-излучения в 700 Вт повышает всхожесть от первоначальной до 4%; при 800 Вт всхожесть повышается до 7%, а при 900 Вт на 10%. При этом время, обеспечивающее наибольшее повышение всхожести при мощности СВЧ-излучения 800 и 900 Вт, составляет 14,95 и 14,87 с. соответственно. При 700 Вт максимальная эффективность обработки по показателю получаемой всхожести зерна наблюдается при 16,62 с.

Оценка качества семенного материала на всхожесть и энергию прорастания в филиале ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Вологодской области, подтвердила полученные результаты (приложение Д).

Таким образом, наиболее эффективной комбинацией установленной мощности СВЧ-излучения 900 Вт и продолжительности воздействия в течение 15 с на зерно ячменя позволяет повысить его всхожесть на 10% и достичь значений в 87...88% с достоверностью $R^2=98\%$.

Проведенные исследования показали, что необходимость разработки технического средства для обработки семян зерновых культур с низкой всхожестью СВЧ-излучением является актуальной задачей.

4.2 Влияние СВЧ-обработки на равномерность распределения температуры при неподвижном и псевдооживленном состоянии семян, а также на энергию их прорастания и всхожесть

Для создания подвижного / псевдооживленного слоя семян в процессе проведения исследований использована лабораторная установка для обработки зерна СВЧ-излучением (рисунок 3.1). Параметры, обеспечивающие создание псевдо-

ожиженного слоя и перемещение зерна в зоне ЭМП СВЧ представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Время СВЧ-воздействия в зависимости от конструктивных параметров установки

Время СВЧ-воздействия, с	Угол между грузами-эксцентриками, град.	Угол наклона дна транспортера, град.	Частота тока электродвигателя дисбалансного механизма транспортера, Гц
5	120	11	70
10	120	11	60
15	120	11	50
20	150	15	60
25	150	15	50
30	150	15	40
35	120	7	50
40	120	11	50
45	150	11	60

В качестве исходного материала использовался ячмень с исходной всхожестью 77% и энергией прорастания 55%. Температура в помещении и на поверхности зерна составляла 22°C. Для сравнения полученных данных с неподвижным слоем зерна воспользуемся результатами для зернового слоя в 3 мм, представленными в таблице 4.2.

Результаты замеров распределения температуры поверхности зернового слоя приведены на рисунке 4.2 [113].

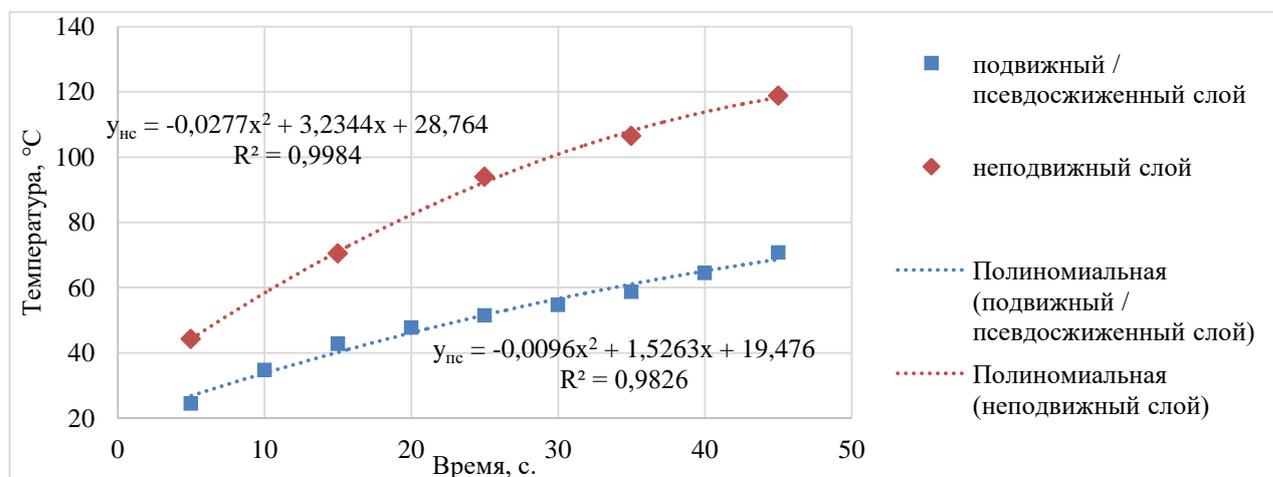


Рисунок 4.2 – Изменение средней температуры поверхности слоя зерна

На основании проведенных исследований распределения температуры по поверхности слоя семян под воздействием СВЧ-излучения в сравнении непо-

движного слоя зерна получаемого в микроволновой печи, и псевдооживленного слоя зерна, получаемого в лабораторной установке, установлено, что в случае псевдооживленного слоя зерна повышение температуры происходит более плавно и приводит к достижению критической температуры нагрева без потери посевных свойств в 45...50°C лишь по прошествии 20...25 с, тогда как, в случае неподвижного достаточно 5...7 с. Таким образом, применение псевдооживленного слоя позволяет более плавно контролировать текущую и критическую температуру нагрева семян.

Графики изменения энергии прорастания и всхожести семян в зависимости от времени СВЧ-обработки неподвижного и псевдооживленного слоя зерна представлены на рисунках 4.3 и 4.4 [13].

Описание экспериментальных данных на рисунках 4.3 и 4.4 полиномов 2-го порядка позволяет утверждать о превосходной степени описания происходящих процессов полученными уравнениями регрессии ($R^2 > 98\%$).

Из анализа полученных графиков следует, что характер изменения энергии прорастания и всхожести семян очень близок друг к другу, однако в обоих случаях зерно, обработанное в псевдооживленном слое имеет на 2...3% более высокие значения по всхожести и энергии прорастания семени. Это заключение также подтверждается результатами, представленными в таблице 4.4, где, при сопоставимом времени обработки, зерно, обработанное в псевдооживленном слое, имеет более высокие качественные показатели.

Таблица 4.4 – Точки максимума уравнений регрессии всхожести зерна и его энергии роста СВЧ-воздействия

	Время, с		Результат, %	
	Неподвижный слой	Подвижный слой	Неподвижный слой	Подвижный слой
Всхожесть	15,12	15,23	91,03	94,02
Энергия роста	16,42	16,53	67,96	72,36

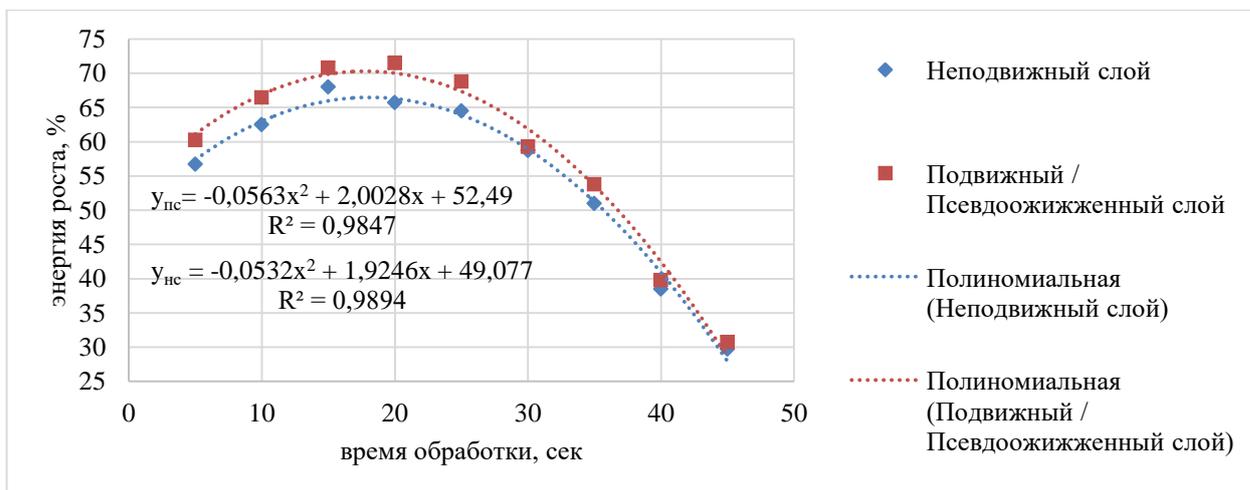


Рисунок 4.3 – Энергия прорастания семян в зависимости от продолжительности СВЧ-обработки подвижного / псевдооживленного и неподвижного слоя

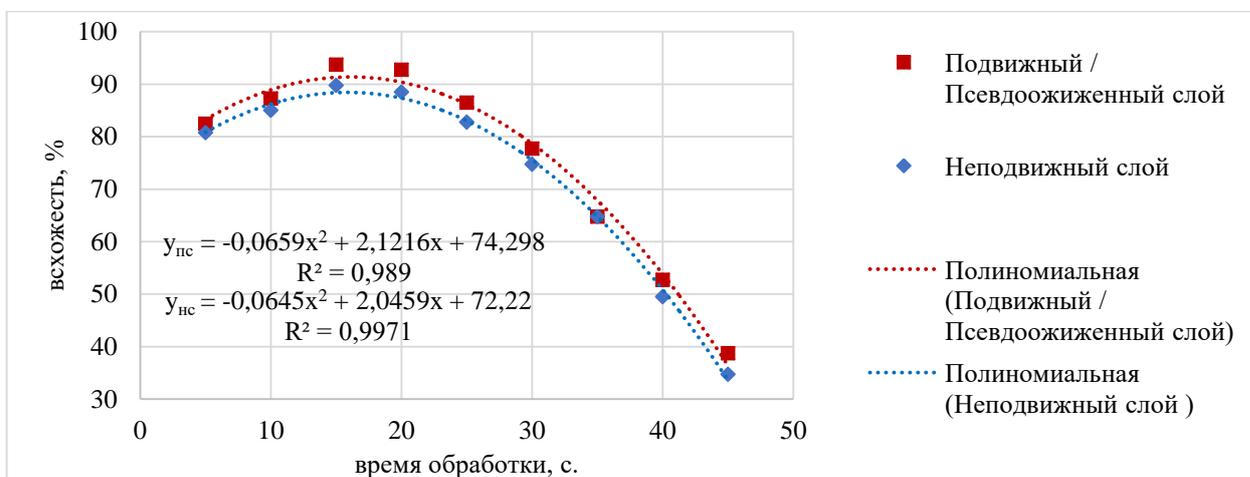


Рисунок 4.4 – Всхожесть семян в зависимости от продолжительности СВЧ-обработки подвижного / псевдооживленного и неподвижного слоя

Таким образом, на основании полученных данных предварительного исследования можно сделать вывод, что в ходе дальнейших исследований следует принять время СВЧ-обработки зерна в течение 15 с при мощности излучателя 900 Вт. Получено подтверждение превосходства в качестве обработки зернового материала в псевдооживленном слое по сравнению с его обработкой в неподвижном состоянии, заключающееся в повышении всхожести зерна на 3% и возможности более плавного регулирования температуры поверхности слоя зерна.

4.3 Исследование влияния конструктивно-технологических параметров вибротранспортера на время движения зернового слоя

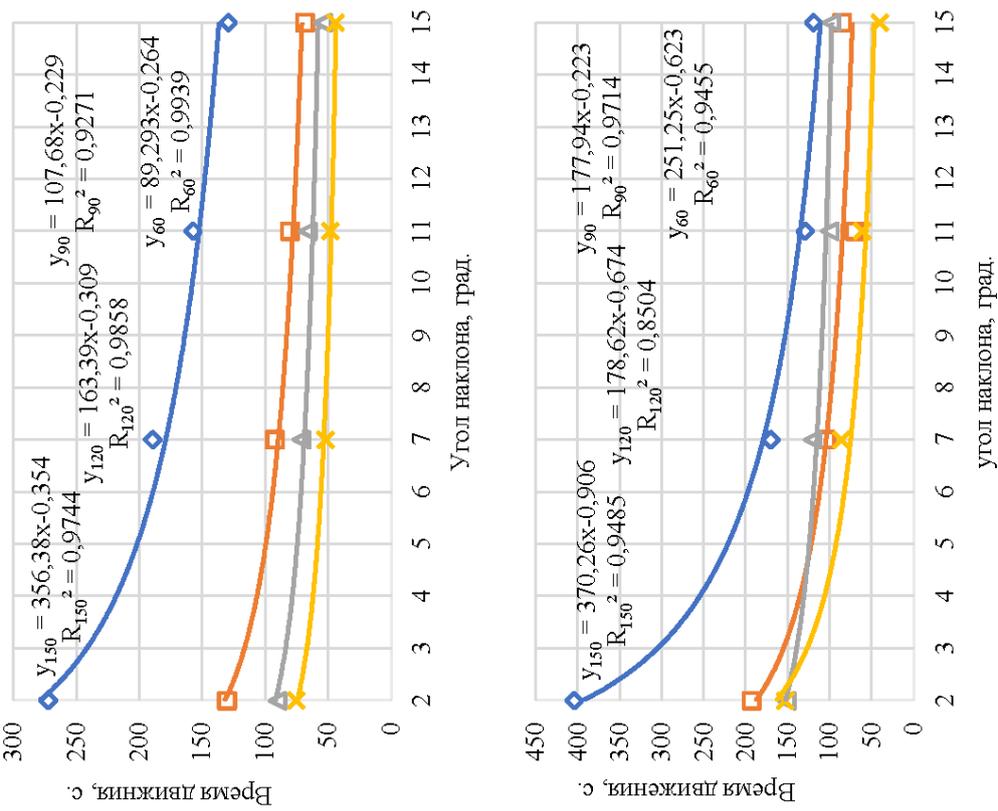
Целью исследования являлось установление режимов работы вибротранспортера установки для СВЧ обработки зерна злаковых культур, обеспечивающих получение максимальной пропускной способности / минимального времени движения зернового материала.

Результаты исследования времени движения зерна по поверхности вибротранспортера в зависимости от угла его наклона, угла установки грузов эксцентриксов, открытия выгрузного окна загрузочного бункера на 6 и 18 мм представлены на рисунках 4.5 и 4.6 соответственно [10].

Полученные в ходе статистической обработки данных зависимости аппроксимировали степенной функцией $y = kx^n$, где k – коэффициент; n – показатель степени. При этом коэффициент детерминации R^2 изменяется от 0,85 до 0,99, поэтому можно констатировать, что полученные математические зависимости довольно точно описывают рабочий процесс установки.

При открытии заслонки загрузочного бункера на 6 мм наибольшее время движения зернового материала по рабочей длине вибротранспортера достигается при угле установки грузов-эксцентриксов 150° , а наименьшее при 60° (рисунок 4.5).

По результатам исследований при открытии заслонки выгрузного бункера на 18 мм выделить какие-либо закономерности при изменении угла между грузами эксцентриками и частоты питающего тока электродвигателя дисбалансного механизма затруднительно (рисунок 4.6). С увеличением угла наклона вибротранспортера от 2° до 15° время нахождения материала на вибротранспортере уменьшается.



◆ 150 град. □ 120 град. ▲ 90 град. ✕ 60 град.

Рисунок 4.5 – Зависимость времени движения зернового материала по поверхности вибротранспортера от угла его наклона при открытии заслонки на б мм и частоте вращения дисбалансного механизма: а – 4000, б – 3000, в – 2500, г – 2000 МИН⁻¹

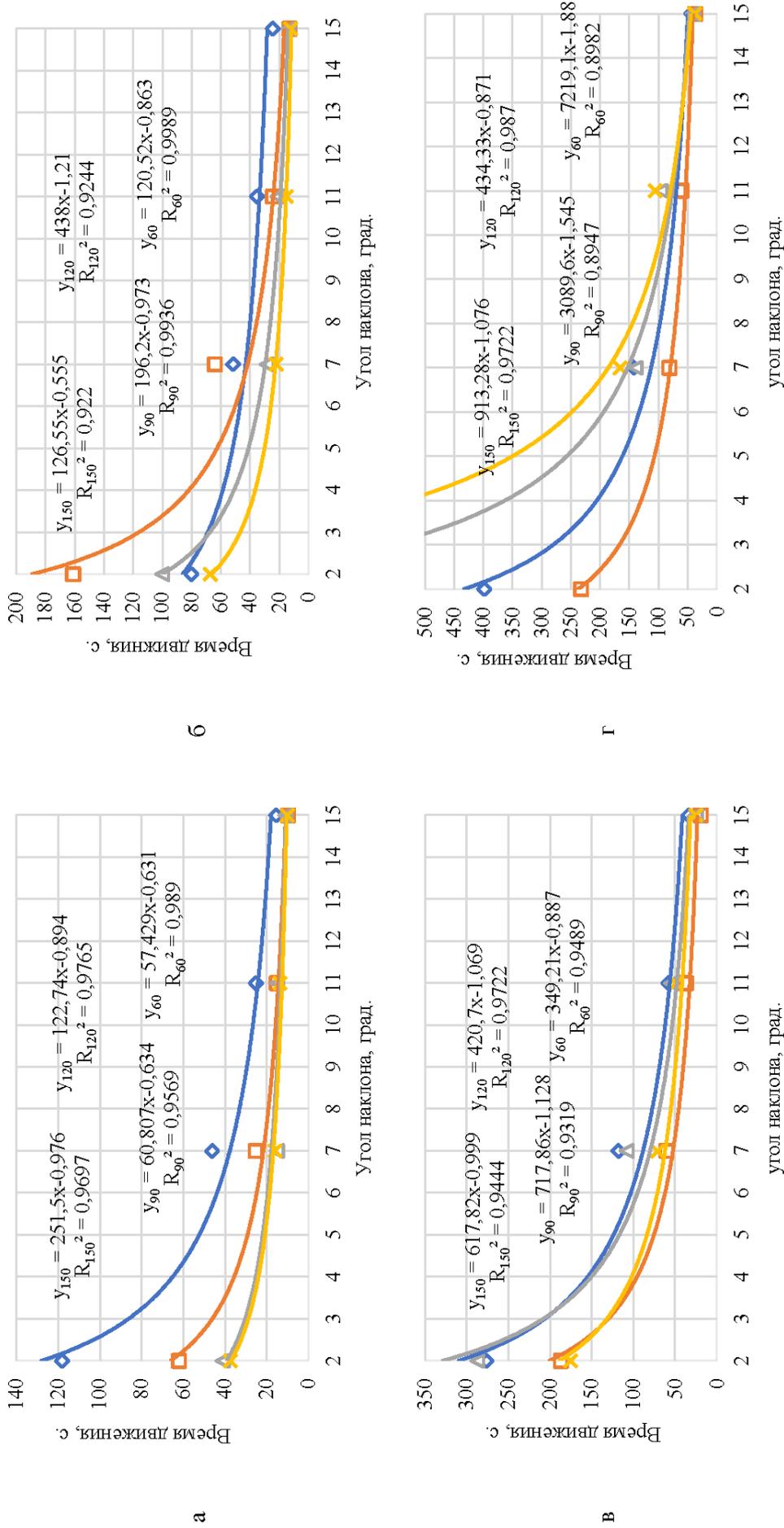


Рисунок 4.6 – Зависимость времени движения зернового материала по поверхности вибротранспортера от угла его наклона на при открытии заслонки на 18 мм и частоте вращения дисбалансного механизма а – 4000, б – 3000, в – 2500, г – 2000 МИН⁻¹

Таким образом, для увеличения пропускной способности вибротранспортера следует увеличивать число оборотов дисбалансного механизма и угол между грузами эксцентриками, поскольку эти параметры приводят к росту инерциальных сил, перемещающих зерновой материал. К параметрам, позволяющим «тонко» изменять время движения зернового материала по поверхности вибротранспортера следует отнести угол его наклона. Причем угол наклона следует ограничить интервалом от 4° до 15° . т.к. дальнейшее его увеличение приводит к скатыванию /скольжению зерна по поверхности желоба вибротранспортера, а при значениях менее 4° движение останавливается либо значительно тормозится.

Анализ зависимостей времени движения зернового материала по поверхности вибротранспортера от числа оборотов дисбалансного механизма при угле между грузами эксцентриков 150° (рисунок 4.7) и 60° (рисунок 4.8) и при открытии заслонки загрузочного бункера на 6 мм, 12 мм и 18 мм, которые аппроксимируются функцией вида $y = ax^2 + bx + c$, где a, b, c – постоянные коэффициенты, при этом достоверность аппроксимации R^2 составляет не менее 0,848, показывает, что наибольшее время движения зернового материала по поверхности вибротранспортера наблюдается при открытии заслонки выгрузного бункера на 6 мм. Причем при углах наклона вибротранспортера 7° , 11° и 15° линии аппроксимации выпуклые с точкой максимума, соответствующей частоте вращения электродвигателя дисбалансного механизма $2500 \dots 2700 \text{ мин}^{-1}$, а при угле наклона 2° , линия аппроксимации близка к линейному закону [11].

При этом коэффициент a в аппроксимирующей функции полинома второго порядка изменяется вместе с углом наклона $2, 7, 11$ и 15° в следующей последовательности: $-0,027, -0,14, -0,12$ и $-0,085$, что говорит о наличии в диапазоне углов наклона от 2 до 11° случая наиболее «чувствительного» отклика на изменение частоты питающего тока электродвигателя дисбалансного механизма в диапазоне от 40 и более Гц, т.к. при стремлении коэффициента a к бесконечности график параболы, описываемый полиномом второй степени, становится «уже», а при стремлении к нулю – «шире» или стремиться к линейному закону.

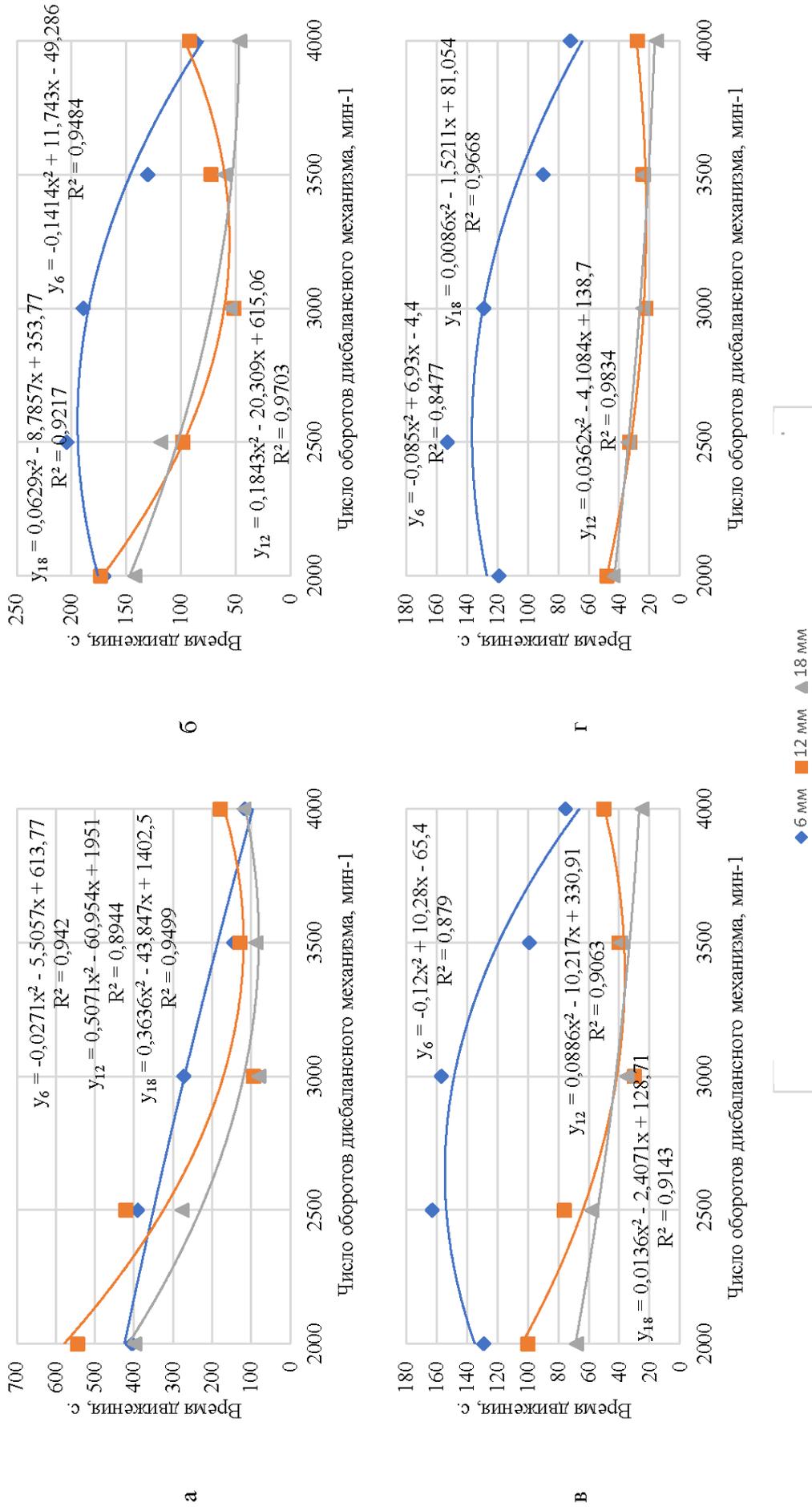


Рисунок 4.7 – Зависимость времени движения зернового материала по поверхности вибротранспортера от число оборотов электродвигателя дисбалансного механизма при угле между грузами эксцентриками 150°, открытии питающей заслонки 6, 12 и 18 мм, а также угле наклона вибротранспортера а – 2°, б – 7°, в – 11°, г – 15°

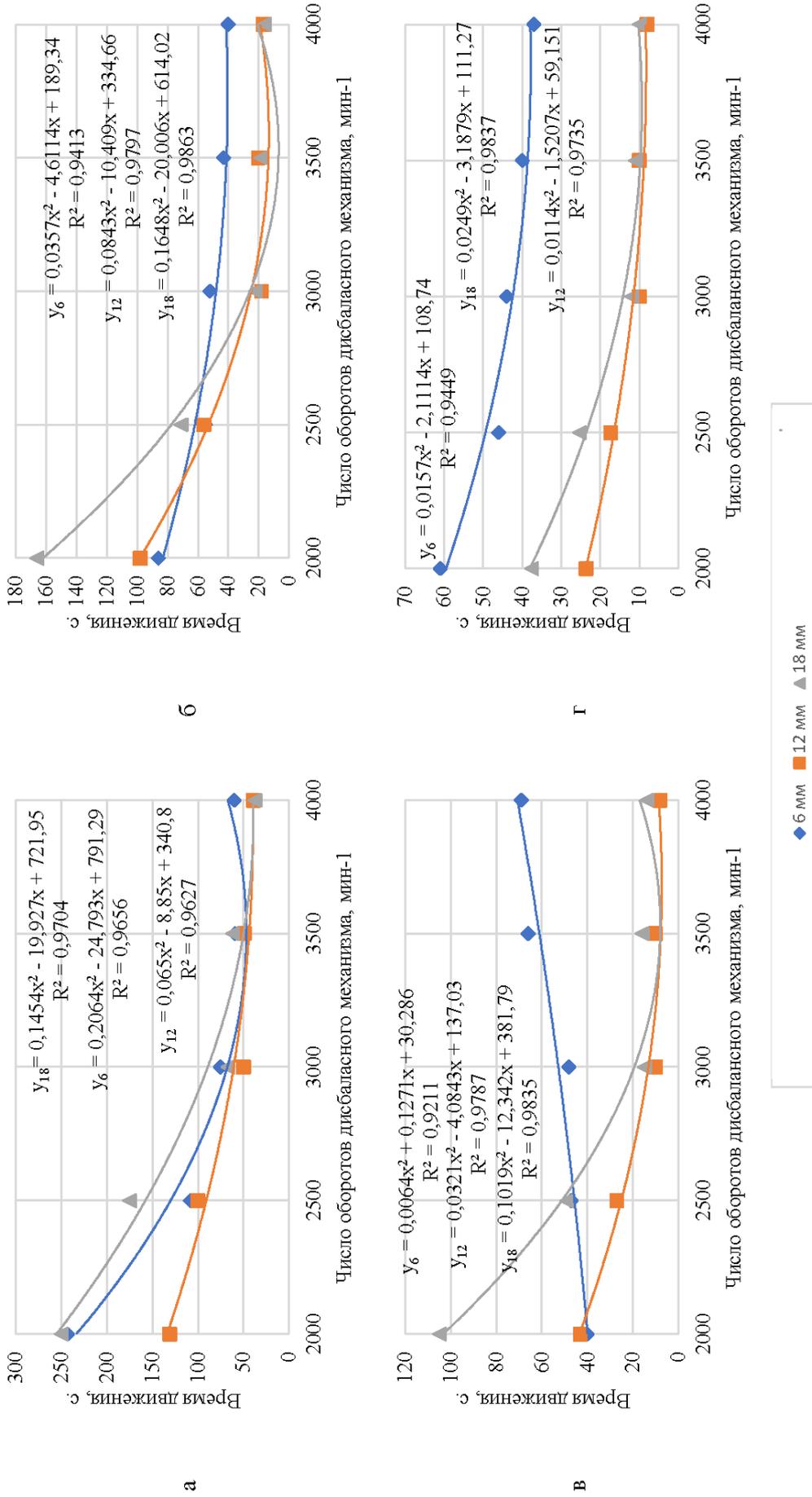


Рисунок 4.8 – Зависимость времени движения зернового материала по поверхности вибротранспортера от числа оборотов дисбалансного механизма при угле между грузами эксцентриками 60° , открытии питающей заслонки б, 12 и 18 мм, а также и угле наклона а – 2° , б – 7° , в – 11° , г – 15°

При открытии заслонки выгрузного бункера на 12 мм линии аппроксимации имеют вогнутый характер с точкой минимума в диапазоне $3500 \pm 100 \text{ мин}^{-1}$. Коэффициент a изменяется от 0,51, 0,18, 0,089 до 0,036 с увеличением угла наклона вибротранспортера от 2 до 15° соответственно. Откуда следует, что увеличение угла наклона прямо пропорционально росту времени движения зернового материала в отличии от частоты вращения электродвигателя дисбалансного механизма.

Линии аппроксимации, соответствующие открытию заслонки выгрузного бункера – 18 мм, также как при открытии заслонки выгрузного бункера на 12 мм вогнутые. Однако точка минимума достигается только при угле наклона вибротранспортера в 2° . В остальных случаях $7, 11$ и 15° она смещается вправо и за пределы рассматриваемого диапазона изменения частоты вращения электродвигателя дисбалансного механизма.

Время движения зернового материала уменьшается с открытием заслонки выгрузного бункера от 6 до 18 мм вне зависимости от угла наклона вибротранспортера. Однако с ростом угла наклона вибротранспортера расстояние между линиями аппроксимации при 12 и 18 мм стремиться к нулю, а между линиями 6 и 12 мм увеличивается. Что связано с недостаточностью сил инерции, необходимых для создания вибрационного движения отдельных частиц зернового материала при открытии заслонки более 12 мм [12].

Таким образом, для получения максимальной пропускной способности (минимального времени движения) зернового материала следует рассматривать частоты вращения вала электродвигателя дисбалансного механизма в интервале от 2500 до 4000 мин^{-1} . Обеспечить рост количества перемещаемого материала за счет открытия заслонки питающего бункера, так как в этом случае поведение перемещаемого материала на поверхности вибротранспортера изменяется – сокращается время на его перемещение. Изменение угла наклона вибротранспортера от 0 до 15° позволяет достаточно равномерно регулировать время движения зернового материала.

4.4 Оптимизация конструктивно-технологических параметров

Целью проводимого исследования является установление оптимальных конструктивно-технологических параметров вибротранспортера лабораторной установки, обеспечивающих максимальную пропускную способность и среднее время облучения в 15 с.

Для достижения поставленной цели реализована матрица плана Бокса-Бенкина для четырех факторов. План-матрица эксперимента, уровни варьирования факторов, условное обозначение факторов и критериев оптимизации с результатами представлены в таблице 4.5.

В результате статистической обработки, полученных экспериментальных данных (таблица 4.5) с последующим исключением факторов и их взаимодействий со статистической значимостью менее 5% получены математические модели рабочего процесса (4.1) и (4.2) по критериям оптимизации. Некоторые результаты статистической оценки моделей представлены в таблице 4.6.

$$y_1 = 105,86 + 28,18x_1 - 40,11x_2 - 40,48x_3 + 14,56x_4 - 50,19x_1^2 + 24,42x_2x_3 - 26,0x_2x_4, \quad (4.1)$$

$$y_2 = 4,54 + 2,59x_1 + 1,30x_2 + 2,58x_3 - 1,56x_4 + 1,93x_1x_2 - 1,83x_3x_4. \quad (4.2)$$

Из результатов, приведенных в таблице 4.6, следует, что полученные математические модели (4.1) и (4.2) адекватны, а полученные результаты статистически значимы при уровне значимости $\alpha=0,05$ и имеют достаточно хорошую (R-squared более 80%) функциональную зависимость между факторами x_1 , x_2 , x_3 и x_4 .

Оценку математических моделей (4.1) и (4.2) по непосредственному воздействию факторов на критерии y_1 и y_2 осуществляли с помощью графиков, которые приведены на рисунке 4.9 [11, 13].

Таблица 4.5 – Матрица плана 3^3 интервалы, уровни варьирования фактор и результаты исследований

Уровень варьирования	Наименование фактора, размерность, уровень варьирования и условное обозначение				Критерии оптимизации, размерность и условное обозначение	
	Зазор выгрузного окна, мм	Угол между грузами-эксцентриками, град.	Угол наклона ложа /дна транспортера, град.	Частота вращения мин ⁻¹ (частота тока электродвигателя дисбалансного механизма, Гц)	Пропускная способность, кг/ч	Среднее время облучения, с.
1	18	150	7	4050 (70)		
0	12	120	11	3500 (60)		
-1	6	90	15	2940 (50)		
№	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
1	0	0	-1	-1	150,00	2,60
2	0	1	-1	0	74,07	2,80
3	0	0	0	0	104,65	2,60
4	0	1	0	1	36,00	4,00
5	1	1	0	0	46,15	12,30
6	0	0	1	1	78,26	4,00
7	0	-1	1	0	78,26	7,85
8	0	-1	-1	0	225,00	2,00
9	-1	1	0	0	18,18	3,20
10	0	-1	0	1	200,00	1,50
11	-1	0	-1	0	28,13	0,88
12	0	0	0	0	104,65	2,60
13	0	1	1	0	25,00	9,00
14	1	0	1	0	50,56	8,10
15	1	-1	0	0	80,00	3,40
16	0	1	0	-1	60,00	5,00
17	1	0	0	-1	75,00	11,00
18	0	0	-1	1	180,00	1,50
19	-1	0	0	1	35,29	1,70
20	-1	-1	0	0	37,50	2,00
21	-1	0	1	0	23,38	3,23
22	0	0	0	0	104,65	2,60
23	0	0	1	-1	47,37	12,40
24	1	0	-1	0	131,39	3,80
25	1	0	0	1	120,00	6,00
26	0	-1	0	-1	120,00	3,90
27	-1	0	0	-1	22,50	2,50

Таблица 4.6 – Результаты статистической оценки математических моделей

Модель	Model d.f.	Error d.f.	P-value	Std. error	R-squared	Adj. R-squared
y_1	7	19	0	23,0086	87,88	83,41
y_2	6	20	0	1,62338	81,89	76,46

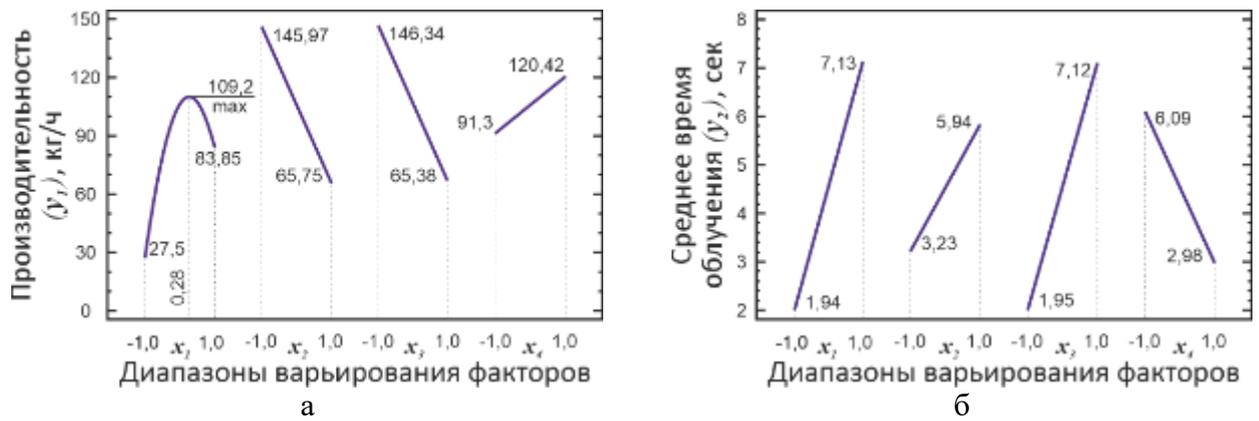


Рисунок 4.9 – Зависимости влияния факторов x_1 , x_2 , x_3 и x_4 на пропускную способность y_1 и среднее время облучения материала y_2

Из анализа зависимостей влияния факторов x_1 , x_2 , x_3 , или x_4 , на пропускную способность установки y_1 , и среднее время облучения y_2 следует, что:

- изменение зазора выгрузного окна x_1 в диапазоне от -1,0 до 1,0 (от 6 до 18 мм) приводит к нелинейному (параболическому) изменению пропускной способности y_1 . При этом, точка максимума в 109,2 кг/ч достигается при $x_1=0,28$ (13,68 мм). Среднее время облучения y_2 связано с зазором выгрузного окна x_1 прямо пропорционально, где изменение зазора выгрузного отверстия x_1 с -1,0 до 1,0 (от 6 до 18 мм) приводит к росту времени облучения y_2 с 1,94 до 7,13 с. соответственно. Подобный отклик критериев оптимизации y_1 и y_2 в зависимости от зазора выгрузного окна x_1 , характеризующего подачу материала на поверхность транспортера, объясняется следующим: ростом пропускной способности y_1 связанной с увеличением массы перемещаемого материала при увеличении зазора выгрузного окна x_1 до момента начала «завала» желоба транспортёра, т.е. когда начинается падение общей скорости движения материала в результате усиления сил препятствующих этому движению (внешнее и внутреннее трения материала, изменение кинематических режимов работы транспортера – уменьшение амплитуды и т.п.) и, как следствие, увеличение времени движения зернового материала на контрольном участке (участке облучения);

- изменение угла между грузами эксцентриками x_2 в диапазоне от -1,0 до 1,0 ($90^\circ \dots 150^\circ$) приводит к обратно пропорциональному снижению пропуск-

ной способности y_1 с 145,97 до 65,75 кг/ч соответственно, а также прямо пропорциональному росту среднего времени облучения y_2 с 3,23 до 5,94 с. соответственно. Подобный отклик на фактор x_2 связан с изменением средней скорости движения зернового материала в результате изменения эксцентриситета грузов на концах вала (рисунок 3.3) и, как следствие, изменения инерциальных сил, перемещающих зерновой материал;

– с увеличением угла наклона транспортера x_3 с 1,0 (7°) до -1,0 (15°) наблюдается вполне закономерное падение времени движения зернового материала в результате увеличения доли силы тяжести, разгоняющий зерновой материал вдоль желоба /дна вибрационного транспортера. В частности, фиксируется уменьшение среднего времени облучения y_2 , а также прирост пропускной способности y_1 . Причем зависимости угла наклона транспортера x_3 для среднего времени облучения y_2 и для пропускной способности y_1 имеют прямолинейный характер, например, при угле наклона транспортера x_3 -1,0 (15°) пропускная способность y_1 и среднее время облучения y_2 составят 146,34 кг/ч и 1,95 с. соответственно, а при x_3 равном 1,0 (7°) составят соответственно 65,38 кг/ч и 7,13 с;

– увеличение частоты вращения дисбалансного механизма x_4 с -1,0 (2940 мин^{-1}) до +1,0 (4050 мин^{-1}) приводит к увеличению пропускной способности y_1 на 29,12 кг/ч, которая составит 120,42 кг/ч при 1,0 (4050 мин^{-1}). При этом среднее время облучения y_2 снижается с 6,09 с. до 2,98 с. Причиной является рост в 1,89 раза нормальной силы инерции в дисбалансном механизме / эксцентрик при увеличении частоты вращения в электродвигателе дисбалансного механизма от -1,0 до 1,0 (от 2940 до 4050 мин^{-1}).

Оценку влияния парных взаимодействий факторов x_1 , x_2 , x_3 , и x_4 , осуществляли с помощью графиков двумерных сечений поверхностей отклика (рисунок 4.10).

Статистически значимыми в математической модели пропускной способности транспортера y_1 (4.1) являются парные взаимодействия факторов x_2x_3 и x_2x_4 .

Поскольку целевой задачей критерия оптимизации y_1 является получение максимальной пропускной способности вибрационного транспортера, то с учетом ранее осуществленного анализа непосредственного влияния факторов x_1 , x_2 , x_3 , и x_4 , рассмотрим их комбинации, обеспечивающие максимальную пропускную способность. Так, в случае парного взаимодействия факторов x_2x_3 (рисунок 4.10а) при частоте тока электродвигателя дисбалансного механизма к x_4 равного 1,0 (4050 мин⁻¹), а для парного взаимодействия факторов x_2x_4 (рисунок 4.10б) угол наклона ложа / дна транспортера x_3 примем равным -1,0 (15°). При этом в обоих случаях зазор выгрузного отверстия $x_1=0,28$ (13,68 мм). В результате наибольшее увеличение пропускной способности y_1 (рисунок 4.10а) оказывает одновременное увеличение эксцентриситета $x_2=-1,0$ (90°) и угла наклона транспортера $x_3=-1,0$ (15°).

А в случае парного взаимодействия факторов x_2x_4 (рисунок 4.10б) стремление угла между грузами-эксцентриками к $x_2=-1,0$ (90°) и частоты тока электродвигателя дисбалансного механизма $x_4=1,0$ (4050 мин⁻¹). Так, в первом случае x_2x_3 пропускная способность увеличивается с минимально возможных 42,20 кг/ч при ($x_2=-1,0$; $x_3=-1,0$) до максимально возможных 255,38 кг/ч при ($x_2=1,0$; $x_3=1,0$), а во втором при x_2x_4 с 74,32 кг/ч при ($x_2=1,0$; $x_4=1,0$) до 255,383 кг/ч при ($x_2=1,0$; $x_4=-1,0$). Но в обоих случаях наименьший отклик на изменение угла наклона x_3 и частоты тока электродвигателя дисбалансного механизма x_4 достигается при эксцентриситете равном 1,0 (90°), что является следствием недостаточности создаваемых сил инерции на валу электродвигателя дисбалансного механизма.

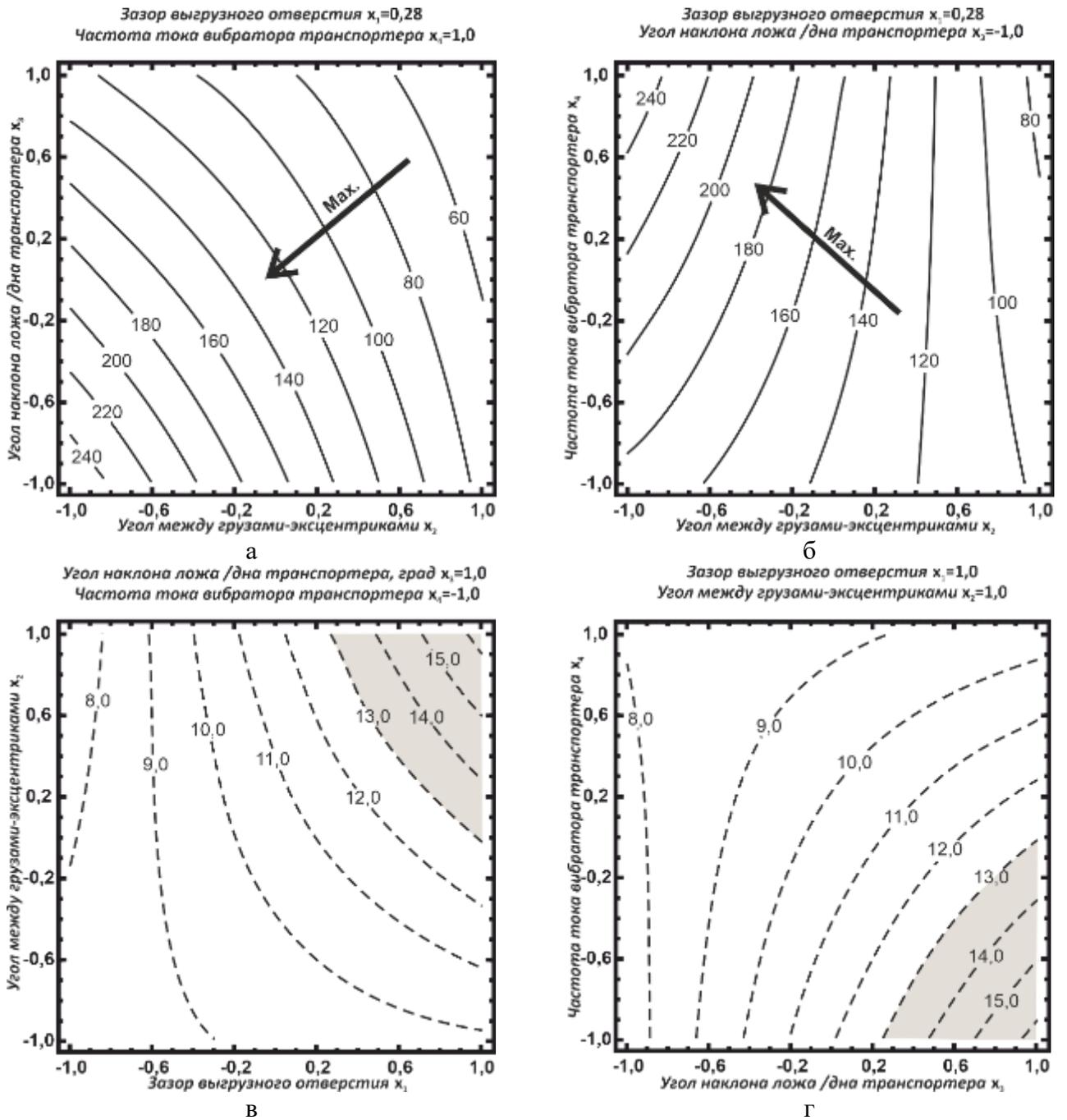


Рисунок 4.10 – Графики двумерных сечений: а, б – пропускной способности y_1 ; в, г – среднего времени облучения y_2 , где - желаемая область среднего времени облучения

В математической модели (4.2) среднего времени облучения y_2 статистически значимыми парными взаимодействиями факторов являются x_1x_2 и x_3x_4 . Целевой задачей по рассматриваемому параметру является обеспечение времени облучения зернового материала в течение 15 с. Однако по результатам оценки непосредственного влияния факторов на среднее время облучения не удалось выявить значений факторов, удовлетворяющих поставленной задаче, – наибольшее время

составило 7,12...7,13 с. Следовательно, для выполнения требуемой задачи требуется рассмотреть групповые возможности факторов. Так, в случае парного взаимодействия факторов x_1x_2 угол наклона ложа / дна транспортера x_3 и частота тока электродвигателя дисбалансного механизма x_4 должны быть зафиксированы на уровне 1,0 (7°) и -1,0 (2940 мин⁻¹) соответственно, а в случае парного взаимодействия x_3x_4 факторы зазора выгрузного окна x_1 и угла между грузами эксцентриками x_2 фиксируются на уровне 1,0 (18 мм) и 1,0 (90°). Из рисунка 3в парного взаимодействия факторов x_1x_2 следует, что наибольшее изменение среднего времени облучения y_2 наблюдается при изменении зазора выгрузного отверстия x_1 с углом между грузами-эксцентриками $x_2=1,0$ (90°). В этом случае среднее время облучения y_2 увеличивается с увеличением зазора выгрузного окна x_1 с 7,29 с при -1,0 (6 мм) до 16,32 с при 1,0 (18 мм). Также следует отметить, что приближение угла между грузами-эксцентриками x_2 к -1,0 (150°) в целом снижает отклик y_2 на изменение величины зазора выгрузного окна x_1 . В целом похожая ситуация наблюдается при парном взаимодействии факторов x_3x_4 – в этом случае наибольший эффект на прирост среднего времени облучения оказывает угол наклона ложа / дна транспортера x_3 при частоте тока электродвигателя дисбалансного механизма транспортера $x_4=-1,0$ (4050 мин⁻¹).

Для решения компромиссной задачи по достижению максимальной пропускной способности и обеспечения среднего времени облучения зернового материала в течение 15 с воспользовались функцией для решения оптимизационных задач пакета программ Statgraphics. Полученные результаты представлены в таблицах 4.7 и 4.8 [13].

Таблица 4.7 – Достижимый результат при оптимуме

Модель	Наименование и размерность	Цель оптимизации	Результат	Достижение цели
y_1	Пропускная способность, кг/ч	Максимум	55,95	0,356
y_2	Среднее время облучения, с.	15,0	15,0	1,0

Таблица 4.8 – Значения факторов при оптимуме

Фактор		Значение	
Условное обозначение	Наименование и размерность	Нормированное	Фактическое
x_1	Зазор выгрузного отверстия, мм	0,71	16,24
x_2	Угол между грузами-эксцентриками, град.	1,0	150
x_3	Угол наклона ложа /дна транспортера, град.	1,0	7
x_4	Частота вращения дисбалансного механизма, мин ⁻¹ (Частота тока электродвигателя, Гц)	-1,0	2940 (50)

Таким образом, в ходе проведенных исследований получены математические модели (4.1) и (4.2), а также дано описание протекающим процессам по влиянию факторов зазора выгрузного окна, угла между грузами-эксцентриками, угла наклона ложа / дна транспортера и частоты тока электродвигателя дисбалансного механизма транспортера на пропускную способность вибрационного транспортера и среднее время нахождения зернового материала на контрольном участке (участке облучения зернового материала). Получены минимально необходимые условия для нахождения зернового материала в зоне облучения в течение 15 с с обеспечением наиболее возможной в этих условиях пропускной способности вибрационного транспортера в 55,95 кг/ч.

4.5 Оценка влияния предпосевной СВЧ-обработки зерна на количество всходов и урожайность

Задачей проводимого исследования являлась оценка эффективности предпосевной СВЧ-обработки зерна в период появления всходов и сбора урожая зерновых.

Методика проведения полевого опыта и технология возделывания ярового ячменя, реализуемая в ходе этого исследования, описаны в пункте 3.7.

Для решения задачи в период с 2021 по 2024 годы осуществлен полевой опыт с использованием ярового ячменя сорта «Сонет» с исходной всхожестью

92%. Весь объем подготовленного для посева зернового материала делился на три группы: обработанную в течение 15 с в ЭМП СВЧ с неподвижным зерновым слоем (группа 1); обработанную в течение 15 с в ЭМП СВЧ с подвижным (псевдооживленным) зерновым слоем (группа 2) и не подвергнутую предпосевной обработке (контроль). Мощность СВЧ-излучателя составила 900 Вт [8].

Подсчет всходов осуществлялся через десять, тринадцать и шестнадцать дней после посева. Результаты подсчета всходов ярового ячменя на опытном участке представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Появление всходов ярового ячменя при проведении экспериментов 2021–2024 годы

Без обработки	Число всходов, шт./м ²		Дата подсчета всходов
	с неподвижным зерновым слоем	с подвижным (псевдооживленным) зерновым слоем	
2021 год			
210	225	245	4 мая 2021 год
260	272	280	7 мая 2021 года
290	310	320	10 мая 2021 года
2022 год			
220	235	255	6 мая 2022 год
280	282	290	9 мая 2022 года
310	320	330	12 мая 2022 года
2023 год			
228	231	252	5 мая 2023 год
276	286	292	8 мая 2023 года
306	328	332	11 мая 2023 года
2024 год			
221	229	249	7 мая 2024 год
269	279	282	10 мая 2024 года
301	319	323	13 мая 2024 года

Анализ изменения количества всходов для каждой группы в период подсчета с 4 по 13 мая при проведении полевых опытов с 2021 по 2024 годы показывает, что у семян, подвергшихся предпосевной обработке в ЭМП СВЧ (группа 1 и 2), наблюдаются более дружные и равномерные всходы, а количество появившихся ростков больше, чем в контрольной группе на протяжении всего наблюдения. При этом семена, обработанные в подвижном слое, имеют от 3 до 8% большее количество всходов по сравнению с семенами, обработанными в неподвижном слое. Также следует отметить, что погодные условия в мае 2022 года были достаточно

благоприятными для роста и развития всходов, что в конечном итоге способствовало снижению разрыва между обработанным зерном и контролем (рисунок 4.11).

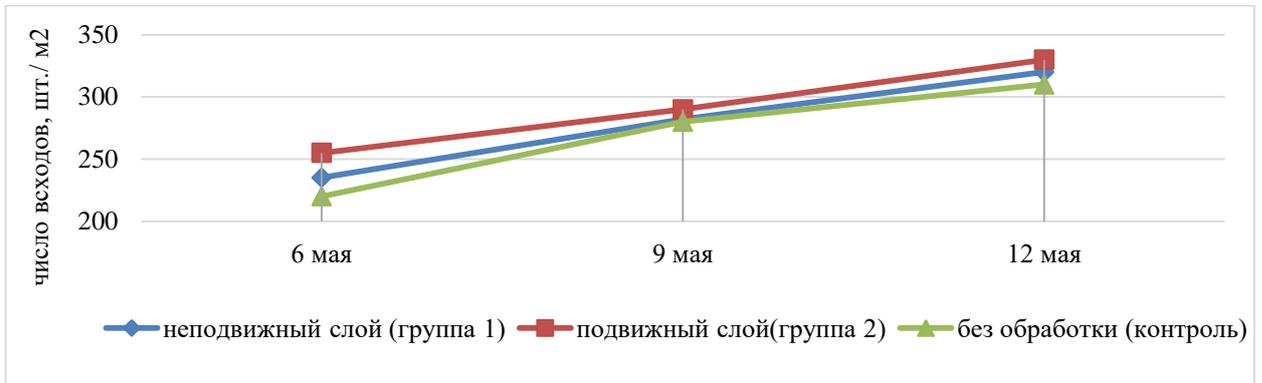


Рисунок 4.11 – Динамика появления всходов ярового ячменя в 2022 г.

Для оценки урожайности был также использован яровой ячмень, который возделывался на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА с 2021 по 2024 годы (приложение Е). Всхожесть посеянного зерна составляла 92%. Погодные условия описаны в пункте 3.6. Зерновой материала подвергался предпосевной обработке в ЭМП СВЧ в течение 15 с. излучателем с установленной мощностью 900 Вт в подвижном и не подвижном слое. В качестве контроля использовалось не подвергнутое предпосевной обработке зерно (рисунок 4.12) [14].

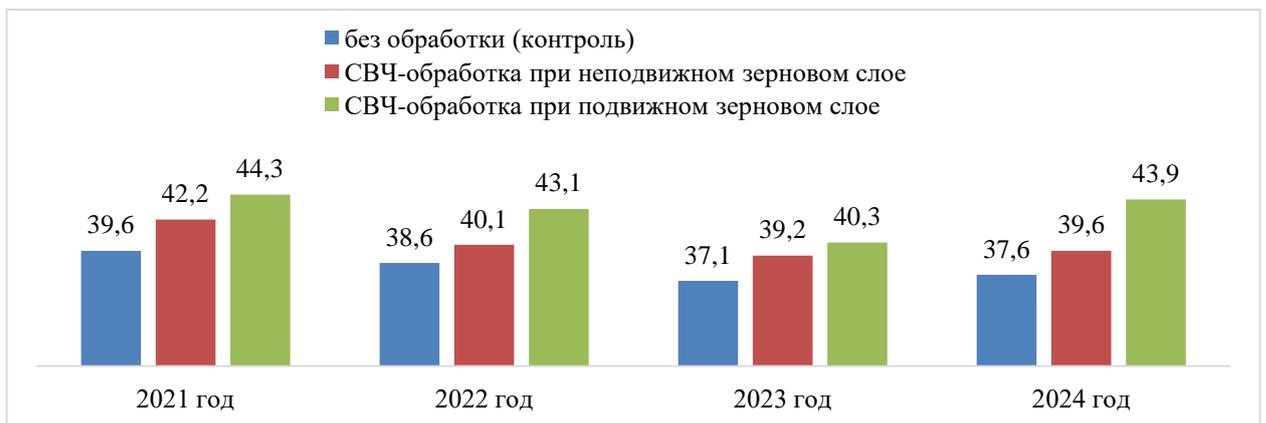


Рисунок 4.12 – Урожайность ярового ячменя, ц/га

Анализ данных урожайности с 2021 по 2024 года ярового ячменя на опытном участке говорит об уверенном преимуществе посевов с зерном, подвергнутым предпосевной СВЧ-обработке над контрольной группой – без предпосевной обработки. Так урожайность первой группы превышает контроль на 1,5...2,6 ц/га,

а второй группы на 3,2...6,3 ц/га. При этом стоит отметить, что урожайность группы 2 (СВЧ-обработка с подвижным слоем зерна) превышает контроль на 8,6...16,8% и на 2,8...10,9% группу 1 (СВЧ-обработка с неподвижным слоем зерна).

Таким образом, в ходе реализации полевого опыта нами было подтверждено превосходство предпосевной СВЧ-обработки зерна в подвижном зернового слое над неподвижным, заключающееся в получении более дружного и равномерного появления всходов с увеличением их количества до 8% и увеличении урожайности ярового ячменя от 2,8 до 10,9%.

4.6 Заключение по четвертой главе

По результатам проведённых экспериментальных исследований было установлено, что оптимальная продолжительность нахождения зерна в зоне ЭМП СВЧ – составляет 15 с при установленной мощности СВЧ-излучения 900 Вт, позволяющая повысить всхожесть некондиционных семян до 10%. При этом наиболее эффективным методом для достижения поставленной цели – повышения всхожести семян является состояние подвижного (псевдооживленного) зернового слоя.

Для обеспечения максимальной пропускной способности лабораторной установки для предпосевной обработки зерна необходимо обеспечить зазор выгрузного отверстия 16,24 мм, угол между грузами эксцентриками в 150° (эксцентриситет 3,92 мм), угол наклона ложа / дна транспортёра в 7° и частоту вращения вала дисбалансного механизма $2940 \pm 30 \text{ мин}^{-1}$ (частота тока электродвигателя дисбалансного механизма в 50 Гц). Также в ходе реализации полевого опыта подтверждено наличие эффекта от обработки зерна в ЭМП СВЧ в подвижном зерновом слое, заключающееся в увеличении урожайности ярового ячменя от 2,8 до 10,9%.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

5.1 Результаты производственных испытаний

Установка для предпосевной СВЧ-обработки семян злаковых культур после теоретических и лабораторных исследований на кафедре «Технические системы в агробизнесе» ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА апробирована в производственных условиях технологической линии предпосевной обработки ярового ячменя в ООО «Зазеркалье» Грязовецкого муниципального округа Вологодской области (приложение Ж) и СПК «Колхоз Андога» Кадуйского муниципального округа Вологодской области (приложение И).

Целью производственных испытаний являлось производственная апробация установки для предпосевной обработки семян в ЭМП СВЧ для подтверждения ее технических характеристик.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ Р 54784–2011, ГОСТ 12038–84, ГОСТ 12044–93 и ГОСТ Р 52325–2005 [31; 31; 34; 35]. Для обработки использован ячмень сорта «Сонет» урожая 2022 со всхожестью 92% и нормативной влажностью 13% (рисунок 5.1).

Конструктивно-технологическая схема модернизированной экспериментальной установки представлена на рисунке 3.2. Технические характеристики СВЧ-установки представлены в таблице 5.1.



Рисунок 5.1 – СВЧ-обработки семян ячменя в производственных условиях

Таблица 5.1 – Технические характеристики лабораторной СВЧ-установки для предпосевной обработки семян злаковых культур

Параметры	Единицы измерения	Значения
Зазор выгрузного окна бункера-питателя	мм	6...18
Угол между грузами-эксцентриками	град.	60...150
Угол наклона дна транспортера	град.	4...15
Частота тока вибратора транспортера	Гц	30...70
Параметры электропитания	Гц/В/А	50-60/200-240/24
Рабочая частота магнетронов	МГц	2450
Максимальная потребляемая мощность	кВт	3
Мощность микроволн	кВт	0,9
Пропускная способность /производительность установки	кг/ч	42,2...55,4
Объем СВЧ-камеры	л	60
Габариты (ДхШхВ)	мм	1350×450×1455
Температура эксплуатации	°С	+5...+40
Масса нетто	кг	37

Параметры установки в процессе производственных испытаний:

- зазор выгрузного окна, мм – 16;
- угол между грузами-эксцентриками, град. – 150;
- угол наклона ложа /дна транспортера, град. – 7;
- частота тока вибратора транспортера, Гц – 50.

Производственные испытания проводилась в ООО «Зазеркалье» с 25 по 26 апреля, а в СПК «Колхоз Андога» с 28 по 29 апреля 2023 г. Для чего было обработано по 690 кг семян ярового ячменя сорта «Сонет» и засеяно по 3 га (норма вы-

сева составляла 2,3 ц/га). Средняя пропускная способность лабораторной установки составила 55,95 кг/ч, удельные энергозатраты составили 54,5 кВт·ч/т.

Оценку качества семенного материала на всхожесть и энергию прорастания, согласно ГОСТ 12038–84, а также оценку уровня зараженности фитопатогенными микроорганизмами на основе фитосанитарного исследования, в соответствии с ГОСТ 12044–93, проводили в филиале ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Вологодской области (приложении К-Н). Результаты фитосанитарного обследования образцов посевного материала ярового ячменя после обработки в хозяйствах представлено в таблице 5.2 [7; 9].

Таблица 5.2 – Результаты фитосанитарного обследования образцов посевного материала ярового ячменя после обработки в хозяйствах

Культура, сорт	Предпосевная обработка	Температуры семян, °С	Всхожесть, %	Общая зараженность, %	Фузариоз, %	Гельминтоспориоз, %	Альтернариоз, %	Сапрофиты, %	Бактериоз, %
ООО «Зазеркалье» (приложение М)									
Ячмень Сонет, РС-1	без обработки (партия 1)	16	92	38	5	10	13	8	2
	СВЧ-обработка (партия 2)	48	95	9	1	6	7,1	2,3	0
СПК «Колхоз Андога» (приложение Н)									
Ячмень Сонет, РС-1	без обработки (партия 1)	14	92	33	19	18	22	10	7
	СВЧ-обработка (партия 2)	47	95	8	1	5,8	7,2	4,9	0

Глубина заделки семян ячменя составила 3-4 см, всхожесть определялась в фазу всходов (7 сутки).

Урожайность ярового ячменя составила в ООО «Зазеркалье» 37 ц/га, в СПК «Колхоз Андога» – 37,8 ц/га.

Данные производственных испытаний в хозяйствах позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение СВЧ-облучения при предпосевной обработке семян позволяет снизить уровень зараженности семенного материала с 33-38% до 8-9%, получить всхожесть семенного материала 95%, повысить урожайность на 8,3% в сравнении с традиционной технологией.

2. Качество предпосевной обработки зерна на установке, изготовленной в ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, удовлетворяет агротехническим требованиям.

5.2 Техничко-экономическая оценка установки для предпосевной СВЧ-обработки семенного материала

Влияние СВЧ-обработки на посевные качества семян зерновых культур можно оценить на основе технико-экономического обоснования внедрения и использования разработанной установки. Экономическая эффективность предполагает повышение результатов по отношению к совокупным затратам за период внедрения (использования) технологии. Оценка технологических операций проводилась по стандартной методике на основании ГОСТ 34393–2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [33].

Согласно методике для объективной экономической оценки необходимо:

1. Определить альтернативные варианты предпосевной обработки зерна, которые могут быть использованы при выращивании зерновых культур;

2. Определить наиболее значимые абсолютные технико-экономические показатели, в том числе ресурсосбережение, позволяющие обеспечить сравнительную оценку альтернативных вариантов;

3. Определить экономическую эффективность внедрения предложенной технологии предпосевной обработки семян злаковых культур путем соотношения результатов к совокупным затратам [17].

Результаты лабораторных и производственных испытаний свидетельствуют о том, что использование СВЧ-обработки перед посевом семян злаковых культур

способствует увеличению энергии прорастания, показателей всхожести семян, а также снижает зараженность зернового материала на уровне допустимых значений (таблица 5.2).

Преимущества использования технологии предпосевной СВЧ-обработки семян следующие [17; 113]:

- повышение качества зернового материала за счет экологически чистых технологий, исключающих протравливание семян;
- снижение финансовых и трудовых затрат на протравливание семенного материала;
- снижение затрат на закупку качественного семенного материала (например, оригинальных семян и элитных семян) за счет повышения всхожести и энергии прорастания семян первой репродукции.

В качестве аналога взято устройство для предпосевной СВЧ-обработки семян (патент RU 2498551 C1), разработанное в ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Аналог имеет загрузочное и разгрузочное устройства, транспортирующее устройство, электропривод транспортера и рабочую камеру, в которой происходит обработка семенного материала ЭМП СВЧ [78].

Цена аналога и цена предложенной установки принята исходя из реальной стоимости на начало 2024 года. Необходимые инвестиции для предложенной технологии можно представить следующим образом:

$$K_{\text{инв}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{д}} \quad (5.1)$$

где $Z_{\text{пр}}$ – стоимость СВЧ-установки, тыс. руб. – 400 тыс. руб.;

$Z_{\text{м}}$ – затраты на монтаж СВЧ-установки, тыс. руб. – 40 тыс. руб.;

$Z_{\text{д}}$ – дополнительные затраты, тыс. руб. – 60 тыс. руб.

Стоимость установки определена на основе серийно выпускаемой установки с учетом модернизации.

Таким образом, инвестиции на СВЧ-установку составят 500 тыс. руб.

При расчете технико-экономического обоснования от использования предлагаемой СВЧ-установки часть показателей, по которым сравниваемая техника не отличается, была опущена.

Для экономической оценки были использованы данные, полученные в ходе испытаний нашей экспериментальной установки и нормативные материалы на сельскохозяйственные работы. Расчеты по определению экономических показателей СВЧ-обработки семян, представленные ниже, приведены на примере нашей экспериментальной установки.

5.2.1 Определение экономических показателей СВЧ-обработки семян

Затраты труда на обработку 1 тонны семян ярового ячменя:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{K_{\text{мех}}}{W_{\text{см}}} = \frac{1}{0,78} = 1,28 \text{ чел.} \cdot \text{ч} \cdot \text{т} \quad (5.2)$$

где $K_{\text{мех}}$ – количество основного и вспомогательного персонала, обслуживающего установку, чел.;

$W_{\text{см}}$ – производительность установки за 1 час сменного времени.

Прямые эксплуатационные денежные затраты на обработку 1 тонны семян ячменя:

$$Z_{\text{экс}} = Z_{\text{от}} + Z_{\text{э}} + Z_{\text{р}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{д}} \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{от}}$ – затраты на оплату труда обслуживающего персонала на обработку 1 тонны семян;

$Z_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию на обработку 1 тонны семян;

$Z_{\text{р}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание на 1 тонну обработанных семян;

$Z_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления на 1 тонну обработанных семян;

$Z_{\text{д}}$ – затраты на дополнительные материалы на 1 тонну обработанных семян.

Затраты оплаты труда обслуживающего персонала на обработку 1 тонны семян можно определить по формуле:

$$Z_{\text{от}} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{мех}}} K_{\text{мех}} * TC * K_{\text{д}} * K_{\text{р}} * K_{\text{с}}}{W_{\text{см}}} = \frac{1 * 190 * 1,6 * 1,15 * 1,261}{0,78} \quad (5.4)$$

$$= 565,2 \text{ руб.}$$

где $K_{\text{мех}}$ – количество основного и вспомогательного персонала, обслуживающего установку, чел. ($K_{\text{мех}} = 1$);

TC – тарифная ставка, 190 руб/чел.-ч. ($TC = 190$ руб/ чел.-ч.);

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда, ($K_{\text{д}} = 1,6$);

$K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий региональные особенности, ($K_{\text{р}} = 1,15$);

$K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий социальные отчисления, ($K_{\text{с}} = 1,261$);

$n_{\text{мех}}$ – число обслуживающего персонала.

Таким образом, затраты на оплату труда, обработанной 1 тонны семян, в проектном варианте составят **565,2 руб.**

Затраты электроэнергии на обработку 1 тонны семян:

$$Z_{\text{э}} = g * Ц_{\text{э}}, \quad (5.5)$$

где g – удельный расход электроэнергии, кВтч/т, $g = 54,5$ кВт·ч/т;

$Ц_{\text{э}}$ – цена электроэнергии, руб./кВтч; $Ц_{\text{э}} = 4,46$ руб. /кВт·ч.

$$Z_{\text{э}} = g * Ц_{\text{э}} = 54,5 * 4,46 = \mathbf{243,1 \text{ руб.}}$$

Таким образом, затраты на электроэнергию для обработки 1 тонны семян ячменя составят **243,1 руб.**

Затраты на ремонт и техническое обслуживание установки рассчитываются по формуле (5.6):

$$Z_{\text{р}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{м}}} Ц_{\text{ед}} K_{\text{р}}}{W_{\text{эк}}} 10^{-4} \quad (5.6)$$

где $n_{\text{м}}$ – число техники, ед., ($n_{\text{м}} = 1$);

$C_{ед}$ – цена единицы установки, руб., ($C_{ед} = 400$ тыс. руб.);

K_p – значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание установки от цены на 100 ч ее работы, %, ($K_p = 3,67\%$);

$W_{эк}$ – производительность СВЧ-установки за 1 час эксплуатационного времени определяется следующим образом:

$$W_{эк} = W_{см} \left(\frac{1}{K_{см}} + \frac{1}{K_{г}} - 1 \right)^{-1}, \quad (5.7)$$

где $W_{см}$ – производительность установки за 1 ч сменного времени;

$K_{см}$ – коэффициент использования сменного времени;

$K_{г}$ – коэффициент готовности СВЧ-установки.

$$З_p = \frac{400000 * 3,67}{0,94} 10^{-4} = \mathbf{156,2 \text{ руб.}}$$

Амортизационные отчисления определяем следующим образом:

$$З_a = \frac{1}{W_{эк}} \sum_{j=1}^{n_m} \frac{C_{ед}}{R_m} = \frac{1}{0,98} \times \frac{400000}{1500} = \mathbf{272,1 \text{ руб.}}, \quad (5.8)$$

где R_m – значение амортизационного ресурса техники, ($R_m = 1500$ ч).

Затраты на дополнительные материалы, общехозяйственные расходы принимаются на обработку 1 тонны семян в размере 10% от всех затрат.

Таким образом, прямые эксплуатационные денежные затраты на 1 центер обработанных семян ячменя равны:

$$З_{экс} = 565,2 + 243,1 + 156,2 + 272,1 + 123,7 = \mathbf{1360,3 \text{ руб.}}$$

Финансовые затраты, связанные с потерями семян при СВЧ-обработке принимаются равными 1%.

Таким образом, себестоимость СВЧ-обработки 1 центера семян равна:

$$C = З_{экс} + И_{п} = 1360,3 + 13,6 = \mathbf{1373,9 \text{ руб.}}$$

где $И_{п}$ – издержки финансовых затрат, связанных с потерями семян при СВЧ-обработке.

Результаты расчетов показателей экономической оценки СВЧ-обработки семенного материала представлены в таблице 5.3 [17].

Таблица 5.3 – Показатели экономической оценки

Наименование показателя	Аналог*	Экспериментальная СВЧ-установка
СВЧ-обработка семян ячменя	+	+
Производительность установки за 1 ч сменного времени, т	0,3	0,78
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	54,5	54,5
Совокупные денежные затраты, руб./т	3633,1	1373,9
В том числе:		
- затраты на оплату труда	1469,5	565,2
- затраты на электроэнергию	243,1	243,1
- затраты на ремонт, техническое обслуживание	447,5	156,2
- амортизационные отчисления	1110,0	272,1
- дополнительные затраты	327,0	123,7
- затраты, связанные с потерями семян при СВЧ-обработке	36,0	13,6
Затраты труда, чел-ч/т	3,33	1,28

* - установка для предпосевной обработки семян СВЧ-энергией (патент RU 2498551 C1).

Совокупные денежные затраты на 1 тонну семян ячменя при внедрении экспериментальной установки в 2,6 раза ниже по сравнению с аналогом, что связано со снижением затрат на оплату труда, амортизационных отчислений и затрат на ремонт и техническое обслуживание.

5.2.2 Определение показателей ресурсосбережения

Для определения показателей ресурсосбережения по стационарным комплексам расчет проводится на годовой фактический объем обработанной конкретной культуры.

Совокупные затраты на годовой фактический объем работы СВЧ-установки (Z_r) определяем по формуле

$$Z_r = C * F_r, \quad (5.9)$$

где F_{Γ} – годовой фактический объем работ СВЧ-установки, т.

$$F_{\Gamma} = W_{\text{эк}} * n_{\text{агр}} * t. \quad (5.10)$$

где $n_{\text{агр}}$ – агротехнический срок выполнения работ, дней;

t – возможное время работы СВЧ-установки в сутки, ч.

$$F_{\Gamma} = 0,78 * 15 * 9,6 = 112,2 \text{ т.}$$

$$З_{\Gamma} = 1373,9 * 112,3 = 154289 \text{ руб.}$$

Совокупные затраты на годовой условный объем работы СВЧ-установки ($З_{\Gamma}$) определяем как:

$$З_{\Gamma} = C * F_{\gamma}, \quad (5.11)$$

$$F_{\gamma} = 0,78 * 30,7 * 9,6 = 230,0 \text{ т.}$$

$$З_{\Gamma} = 1373,9 * 230,0 = 315997 \text{ руб.}$$

Совокупные затраты денежных средств на годовой условный объем 230 тонн составят 315997 руб..

Таблица 5.4 – Показатели ресурсосбережения

Наименование показателя	Аналог*	Экспериментальная СВЧ-установка
Совокупные затраты денежных средств на годовой фактический объем работы установки, тыс. руб.	428,7	154,3
Годовой условный объем работ, т	230,0	230,0
Совокупные затраты денежных средств на годовой условный объем, тыс. руб.	858,1	316,0
Потребность в капиталовложениях, тыс. руб.	675	500
Потребность в обслуживающем персонале, чел.	1	1
Потребность в электроэнергии, кВт-ч	6592,3	5713,3

* – установка для предпосевной обработки семян СВЧ-энергией (патент RU 2498551 C1).

Годовая экономия затрат денежных средств ($Э_{\Gamma}$) определяется как:

$$Э_{\Gamma} = З_{\Gamma.а} - З_{\Gamma.н}, \quad (5.12)$$

где $З_{\Gamma.а}$ – совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой фактический объем работы аналога, руб.;

$Z_{г.н}$ – совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой фактический объем работы новой СВЧ-установки, руб.

$$\mathcal{E}_г = 428,7 - 154,3 = 273,8 \text{ тыс. руб.}$$

Годовая экономия затрат денежных средств ($\mathcal{E}_г$) на условный объем работ составит:

$$\mathcal{E}_{г\text{у}} = Z_{г.а.у} - Z_{г.н.у}, \quad (5.13)$$

где $Z_{г.а.у}$ – совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой условный объем работы аналога, руб.;

$Z_{г.н.у}$ – совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой условный объем работы новой СВЧ-установки, руб.

$$\mathcal{E}_г = 858,1 - 316,0 = 542,1 \text{ тыс. руб.}$$

Снижение себестоимости работ ($R \downarrow C$) определяется в процентах как:

$$R \downarrow C = \frac{Z_{г.а} - Z_{г.н}}{Z_{г.н}} \cdot 10^2, \quad (5.14)$$

$$R \downarrow C = \frac{858,1 - 316,1}{316,1} \cdot 10^2 = 171,46 \text{ тыс. руб.}$$

Срок окупаемости капиталовложений для выполнения работ (S_k):

$$S_k = \frac{F_г \cdot N_г}{W_{эк} \cdot \mathcal{E}_г} \cdot \frac{Ц_{ед}}{R_m} = \frac{230 \cdot 1}{0,78 \cdot 542,1} \cdot \frac{500,0}{1500} = 0,18 \text{ года.} \quad (5.15)$$

где $N_г$ – годовая потребность в технике, ед.

Обобщенные показатели экономической эффективности СВЧ-обработки семян ячменя представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Показатели экономической эффективности

Наименование показателя	Экспериментальная установка
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, тыс. руб.	274,4
Снижение себестоимости выполнения работы, %	64
Срок окупаемости капиталовложений, лет	0,18

Срок окупаемости капиталовложения при замене установки составит 2,2 месяца. Годовая экономия денежных затрат при использовании СВЧ-установки составит 274,4 тыс. руб.

5.2.3 Экономическая оценка альтернативного варианта предпосевной обработки зерна

При определении экономической эффективности альтернативного варианта предпосевной обработки зерна в хозяйствах рассмотрим:

- технологию обработки семян химическими и биологическими препаратами, например, «Ламадор Про» (вариант 1);
- СВЧ-обработку семенного материала перед посевом (вариант 2).

Прогнозируемая урожайность представлена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Прогнозируемая урожайность ячменя от предпосевной обработки

№ п/п	Способ предпосевной обработки	Средняя урожайность, ц/га	Изменение урожайности, ц/га
1	Протравливание семян	35,2	-
2	СВЧ-обработка	38,3	3,1

Исходные данные для технико-экономических показателей, анализируемых технологий, представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Технико-экономические показатели оборудования

Наименование показателя	Вариант 1 (ПС-10)	Вариант 2 (СВЧ-установка)
Годовой объем работ, т	23	23
Мощность, кВт	4,00	30,00
Количество протравливателя, л	57,5	0
Цена установки, тыс. руб.	529	400
Производительность, т/ч	0,4	0,78
Стоимость 1 т семян, тыс.руб./т	15,5	15,5
Площадь посева, га	500	500
Потребность в обслуживающем персонале, чел.	1	1
Время работы, ч	287,5	146,9

Необходимые инвестиции для использования предложенной технологии:

$$K_{\text{инв}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{д}}, \quad (5.16)$$

где $Z_{\text{пр}}$ – стоимость установки (оборудования);

$Z_{\text{м}}$ – затраты на монтаж установки (оборудования) (приняты 10% от стоимости установки), тыс. руб.;

$Z_{\text{д}}$ – дополнительные затраты, в том числе транспортный расходы (приняты 15% от стоимости установки), тыс. руб.

Для 1-го варианта сумма капиталовложений составит $K_{\text{инв1}} = 661,25$ тыс. руб., для второго варианта $K_{\text{инв2}} = 500$ тыс. руб.

Годовые эксплуатационные затраты:

$$И = И_{\text{от}} + И_{\text{э}} + И_{\text{а}} + И_{\text{д}}, \quad (5.17)$$

где $И_{\text{от}}$ – затраты на оплату труда обслуживающего персонала;

$И_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию;

$И_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления;

$И_{\text{д}}$ – дополнительные затраты, в том числе приобретение протравливателя.

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала:

$$И_{\text{от}} = Т \cdot ТС \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{с}}, \quad (5.18)$$

где $Т$ – затраты рабочего времени, ч;

$ТС$ – тарифная ставка, 190 руб/чел.-ч. ($ТС = 190$ руб/ чел.-ч.);

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда, ($K_{\text{д}}=1,6$);

$K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий региональные особенности, ($K_{\text{р}}=1,15$);

$K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий социальные отчисления, ($K_{\text{с}}=1,261$).

Таким образом, затраты на оплату труда в первом варианте составят 120072,42 руб., во втором варианте 64760,22 руб.

Затраты на электроэнергию:

$$И_{\text{э}} = Р \cdot Т \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (5.19)$$

где $Р$ – мощность установки, кВт;

T – время работы установки, ч;

C_3 – цена электроэнергии, руб./кВтч; $C_3 = 4,46$ руб. / (кВт·ч).

Затраты на электроэнергию в первом варианте составят 4968,44 руб., во втором варианте – 19655,2 руб.

Амортизационные отчисления определены исходя из нормы амортизации 20% в год от балансовой стоимости оборудования. Таким образом, в первом варианте составят $I_{a1} = 20000$ руб., во втором варианте $I_{a2} = 16000$ руб.

Прочие затраты принимаем в размере 10% от суммы прямых затрат. Таким образом, в первом варианте составят $I_{d1} = 14500,0$ руб., во втором варианте $I_{a2} = 8440,0$ руб. Стоимость протравливателя «Ламадор Про» составляет 4500 руб./л. При норме расхода 0,5 л/т и общем объеме посевных площадей 500 га составят 57,5 т, расходы на приобретение протравливателя составят 4500 тыс. руб. Таким образом, дополнительные затраты в первом варианте, с учетом приобретения протравливателя «Ламадор Про», составят 258750,0 руб.

Общая сумма годовых эксплуатационных затрат составит:

$$I_1 = 120072,42 + 4968,44 + 20000 + 14500 = 159540,86 \text{ руб.}$$

$$I_2 = 64760,22 + 19655,2 + 16000 + 8440 = 136950,62 \text{ руб.}$$

Дополнительный доход (дополнительную выручку V_d), полученный при реализации дополнительной продукции при различных технологиях предпосевной обработки семян:

$$V_d = C \cdot D_y, \quad (5.20)$$

где C – цена реализации зерна, руб./т;

D_y – прибавка урожайности, т.

Цена реализации зерна ячменя на фураж составляет 12000 руб./т. Экологически чистое зерно стоит выше. Прибавка урожайности с учетом посевных площадей по сравнению с базовым вариантом (без предпосевной обработки) во втором варианте составит 31 тонну.

$$V_{d1} = 0 \text{ тыс. руб.}$$

$$B_{д2} = 12 \cdot 31 = 372 \text{ тыс. руб.}$$

$$B_{доп} = B_{д2} - B_{д1} = 372 - 0 = 372 \text{ тыс. руб.}$$

Срок окупаемости от внедрения СВЧ-установки можно рассчитать как:

$$T = \frac{K_{инв}}{I_1 - I_2 + B_{доп}} = \frac{500000}{15954,96 + 258750 - 136950 + 372000} \quad (5.21)$$

$$= \frac{500000}{509754,96} = 0,98 \text{ г.}$$

Таким образом, затраты на внедрение СВЧ-установки в технологический процесс возделывания ярового ячменя оправданы, о чем свидетельствует дополнительная выручка и срок окупаемости затрат (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Экономическая оценка

Наименование показателя	Вариант 1 ПС-10	Вариант 2 СВЧ-установка
Капитальные затраты, тыс. руб.	661,25	500,0
в том числе:		
– цена установки, тыс. руб.	529	400
– затраты на монтаж установки, тыс. руб.	53	40
– дополнительные затраты, тыс. руб.	79,25	60
Годовые эксплуатационные расходы, руб.	159540,86	136950,62
в том числе:		
– затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб.	120072,42	92855,42
– затраты на электроэнергию, руб.	4968,44	19655,2
– амортизационные отчисления, руб.	20000,0	16000,0
– дополнительные затраты, руб.	14500,0	8440,0
Затраты на приобретение протравливателя, руб.	258750,0	-
Всего затрат, тыс. руб.	1079,45	636,95
Выручка от реализации дополнительной продукции, тыс. руб.	-	372
Срок окупаемости, лет		0,98

Таким образом внедрение предпосевной СВЧ-обработки позволяет получать дополнительный ежегодный доход 372 тыс. руб. при сроке реализации проекта 0,98 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана конструктивно-технологическая схема установки для предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле СВЧ (сверхвысокой частоты) содержащая остов, бункер с дозирующим устройством, СВЧ – камеру с магнетронами, вибротранспортер с пружинной подвеской, закрепленный на поворотной раме, на концах электродвигателя которого диаметрально противоположно расположены эксцентрики, что позволяет обрабатывать зерновой материала в псевдоожигенном слое (патент РФ № 2754444).

2. Получена математическая модель движения частицы зернового материала по цилиндрической поверхности желоба вибротранспортера (2.32) в зависимости от его конструктивно-технологических параметров, на основе которой разработана программа «Моделирование траектории движения частицы по цилиндрической вибрирующей поверхности» для моделирования траектории движения частицы по наклонной вибрирующей цилиндрической поверхности желоба, позволяющая по исходным данным рассчитать траекторию движения, как отдельной зерновки, так и слоя обрабатываемого материала (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023615207).

3. Экспериментально установлены рациональные конструктивно-технологические параметры установки для предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле СВЧ: угол между грузами эксцентриками 150° (эксцентриситет 3,92 мм), угол наклона ложа / дна транспортёра в 7° и частота вращения вала дисбалансного механизма $2940 \pm 30 \text{ мин}^{-1}$ (частота тока электродвигателя дисбалансного механизма в 50 Гц), при этом оптимальная продолжительность нахождения зерна в зоне ЭМП СВЧ составляет 15 с при установленной мощности СВЧ-излучения в 900 Вт, а пропускная способность установки – 55,95 кг/ч.

4. Производственные испытания установки для предпосевной обработки зерна в ЭМП СВЧ в хозяйствах Вологодской области показали, что ее применение позволяет снизить уровень зараженности семенного материала с 33–38% до 8 –

9%, получить всхожесть семенного материала 95%, повысить урожайность на 8,3% в сравнении с традиционной технологией.

5. Проведенная технико-экономическая и энергетическая оценка эффективности работы разработанной установки для предпосевной обработки зерна, показала, что дополнительный ежегодный доход составит 372 тыс. руб. при сроке реализации проекта 0,98 года. А при сравнении с аналогичной конструкцией «Установка для предпосевной обработки семян СВЧ-энергией» (патент RU 2498551 С1) срок окупаемости капиталовложения составит 2,2 месяца с годовой экономией денежных затрат 274,4 тыс. руб.

Рекомендации производству.

Предложенные конструктивно-технологические параметры и режимы работы установки для СВЧ-обработки зерна могут быть использованы предприятиями, занимающимися разработкой и выпуском машин для предпосевной обработки семян зерновых культур.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Перспективным направлением дальнейшего развития темы является использование СВЧ-обработки для обеззараживания фуражного зерна перед его приготовлением к скармливанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, А.Г. Влияние электромагнитных полей на продуктивность семян / А.Г. Аксенов, Л.С. Шибряева, М.Е. Чаплыгин, [и др.] // Химия высоких энергий. – 2024. – Т. 58, № 1. – С. 2–18.
2. Аксенов, А.Г. Предпосевная обработка семян зерновых культур низкочастотным электромагнитным полем / А.Г. Аксенов, М.Е. Чаплыгин, Л.С. Шибряева [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2024. – №91(6). – С.843–852.
3. Албахари, Д.Ж. С# 3:0. Справочник. 3 изд. / Д. Ж. Албахари, Б. Албахари. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2009. – 944 с.
4. Бабенко, А. А. СВЧ импульсная предпосевная обработка семян : дис. ... кандидата технических наук : 05.20.02 / Бабенко Алексей Александрович. – Москва, 1993. – 180 с.
5. Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. Том 2. Динамика. Учебное пособие для вузов. 3-е изд., стереотип / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон, – М.: Наука, 1966. – 663 с.
6. Белов, А.А. Совершенствование технологии и сверхвысокочастотных установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.02 / Белов Александр Анатольевич. – Мичуринск, 2017. – 416 с.
7. Белозерова, С.В. Влияние СВЧ излучения на патогенную микрофлору семян ячменя / С.В. Белозерова // Сельский механизатор. – 2025. – № 1. – С. 19–21.
8. Белозерова, С.В. Воздействие предпосевной обработки семян на урожайность зерновых культур в условиях Северной части Нечерноземья / С.В. Белозерова, П.А. Савиных // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты : материалы III Всероссийской (национальной) научно-

практической конференции, Нальчик, 08 февраля 2023 года. Часть 1. – Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2023. – С. 61–63.

9. Белозерова, С.В. Деконтаминация зерна ячменя от микотоксинов на основе СВЧ-обработки / С.В. Белозерова // Современное животноводство и инновации в технологии производства продуктов питания, аспекты экологической, производственной и гигиенической безопасности: материалы международной научно-практической конференции, Персиановский, 22 ноября 2024 года. – Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет», 2024. – С. 184–187.

10. Белозерова, С.В. Исследование конструктивных параметров СВЧ-установки для термообработки зерна / С.В. Белозерова // Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия: Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти первого Президента Кабардино-Балкарской Республики Валерия Мухамедовича Кокова, Нальчик, 18–20 октября 2023 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2023. – С. 430–434.

11. Белозерова, С.В. Определение оптимальных параметров установки для обеззараживания зерна при СВЧ обработке / С.В. Белозерова, П.А. Савиных, А.Ю. Исупов // Сельский механизатор. – 2024. – № 11. – С. 38–39.

12. Белозерова, С.В. Оптимизация работы механической части установки для обработки зерна злаковых культур токами сверхвысокой частоты / С.В. Белозерова, П.А. Савиных, А.Ю. Исупов // Вестник Курганской ГСХА. – 2024. – № 4(52). – С. 51–60.

13. Белозерова, С.В. Обоснование конструктивных параметров установки для предпосевной СВЧ-обработки семян ячменя / С.В. Белозерова // Вестник аграрной науки Дона. – 2025. – Т. 18, № 2(70).

14. Белозерова, С.В. Оценка влияния предпосевной СВЧ обработки на урожайность ячменя в условиях Северо-Запада России / С.В. Белозерова,

П.А. Савиных // Место и роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности страны: сборник материалов международной научной конференции, Смоленск, 09 декабря 2022 года. – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2022. – С. 23–27.

15. Белозерова, С.В. Разработка математической модели движения частицы по вибрирующей поверхности транспортера / С.В. Белозерова // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 259–262.

16. Белозерова, С.В. СВЧ обеззараживание зерна злаковых культур / С.В. Белозерова // Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы: сборник материалов международной научной конференции, – Смоленск, 18 апреля 2024 года. Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 18–22.

17. Белозерова, С. В. Оценка эффективности СВЧ-обработки зерновых культур / С. В. Белозерова // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам : Сборник научных трудов по результатам работы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Вологда, 03 апреля 2025 года. Том 2. – Вологда–Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2025. – С. 3-5.

18. Блехман, И. И. Вибрации в технике: Справочник: в 6 томах / И.И. Блехман, Н.В. Бутенин, Р.Ф. Ганиев и др. – Москва: Научно-техническое издательство «Машиностроение», 1979. – 351 с.

19. Блехман, И. И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Руда и металлы», 2013. – 640 с.

20. Будников, Д.А. Научно-методические основы определения параметров и режимов работы установок СВЧ-конвективной сушки зерна: автореферат

дис. ... доктора технических наук: 05.20.02 / Будников Дмитрий Александрович. – Москва, 2020. – 41 с.

21. Будников, Д.А. Определение коэффициента диэлектрических потерь псевдооживленного слоя зерна / Д.А. Будников // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3(46). – С. 66.

22. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям: в двух томах / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин, – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 729 с.

23. Василенко, А.А. Обоснование режимов обеззараживания семян ячменя пивоваренного энергией ЭМП СВЧ / А.А. Василенко, Г.И. Цугленок, А.В. Василенко, А.П. Халанская. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2014. – 116 с.

24. Васильев, А.А. Обоснование режимов послеуборочного обеззараживания зерна с использованием поля СВЧ: специальность 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Васильев Алексей Алексеевич. – Москва, 2018. – 186 с.

25. Васильев, С.И. Электромагнитное стимулирование семян и растений / С.И. Васильев, С.В. Машков, М.Р. Фатхутдинов // Сельский механизатор. – 2016. – №7. – С. 8–9.

26. Васильев, С.И. Электрофизическая предпосевная обработка семян как способ интенсификации процессов в растениеводческой отрасли сельского хозяйства: монография / С.И. Васильев, И.В. Юдаев, С.В. Машков [и др.]. – Самара: СамГАУ, 2020. – 239 с. – ISBN 978-5-88575-599-3.

27. Вендин, С.В. Обработка семян электромагнитным полем: дис. ...д-ра техн. наук: 05.20.02. / Вендин Сергей Владимирович. – М., 1994. – 463 с.

28. Вендин, С.В. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ облучения, СВЧ обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм /

С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, В.Ю. Страхов // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 2(46). – С. 42–50.

29. Ганеев, И.Р. Влияние режимов сушки с применением СВЧ-нагрева на ферментативную активность, энергию прорастания и всхожесть семян рапса / И.Р. Ганеев, А.А. Тагирова, Х.Т. Каримов, И.Х. Масалимов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1(57).

30. Ганеев, И.Р. Математическое моделирование процесса сушки семян подсолнечника в СВЧ-установке конвейерного типа / И.Р. Ганеев, Ш.Ф. Файзрахманов, Э.Р. Хасанов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(62). – С. 138–143.

31. ГОСТ 12038–84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Стандартиформ, 2011. – 31 с.

32. ГОСТ 12044–93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. – М.: Стандартиформ, 2011. – 57 с.

33. ГОСТ 34393–2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартиформ, 2018. – 18 с.

34. ГОСТ Р 52325–2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2009. – 22 с.

35. ГОСТ Р 54784–2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров. – М.: Стандартиформ, 2012. – 23 с.

36. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (Официальное издание). Т. 1. Сорты растений. – М., 2013. – 392 с.

37. Девятаев, В.Р. Классификация и анализ способов предпосевной обработки семян / В.Р. Девятаев, М.Р. Фатхутдинов // Вклад молодых ученых в аграрную науку: мат. Международной науч.-практ. конф. – Уфа: РИО ИЦИПТ, 2016. – №1(3). – С. 235–238.

38. Демидов, Т.О. Способ предпосевной СВЧ обработки семян / Т.О. Демидов, С.В. Вендин // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Материалы Международной научной конференции, Майский, 14–15 марта

2023 года. Том 4. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 36–37.

39. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

40. Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383 с.

41. Евтеев, М. Е. Повышение всхожести семян зерновых культур с помощью их предпосевной стимуляции и обеззараживания / М.Е. Евтеев, С.О. Фатьянов, А.С. Морозов [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 2(18). – С. 65–70.

42. Евтеев, М. Е. Повышение всхожести семян зерновых культур с помощью их предпосевной стимуляции и обеззараживания / М.Е. Евтеев, С.О. Фатьянов, А.С. Морозов [и др.] // СМиС-2023. Технология управления качеством = SMaC 2023. Quality management technology: Материалы Международной научно-технической конференции = Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Москва, 17-19 мая 2023 года. – Москва: Московский политехнический университет, 2023. – С. 281–287.

43. Егорова, И.В. Влияние экологических приемов предпосевной подготовки семян яровой пшеницы на продуктивность, посевные и технологические качества зерна в условиях Северного Казахстана: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / Егорова Ирина Владимировна. – Красноярск, 2020. – 20 с.

44. Закиров, А.А. Обоснование параметров работы СВЧ-установки для повышения качества фуражного зерна / А.А. Закиров // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 07 июня 2023 года. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс"», 2023. – С. 119–122.

45. Закладной, Г.А. Хранящееся зерно: ошибки, которых можно было избежать / Г.А. Закладной // Защита и карантин растений. – 2022. – № 12. – С. 6–7.

46. Заплетина, А.В. Исследование влияния режимных параметров СВЧ-поля на качественные показатели семян гречихи: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.02 / Заплетина Анна Владимировна – Красноярск, 2012. – 16 с.
47. Заплетина, А.В. Применение инновационных технологий для повышения урожайности зерновых культур / А.В. Заплетина, Н.Б. Михеева // Ресурсосберегающие технологии сельского хозяйства: Сборник научных статей. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – С. 77–84.
48. Зубова, Р.А. Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.02 / Зубова Римма Анатольевна – Красноярск, 2017. – 141 с.
49. Исаев, А.В. Эффективные режимы предпосевной обработки семян рапса в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / А.В. Исаев, А.В. Бастрон, А.В. Мещеряков; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 146 с.
50. Исмагилов, Р.Р. Излучение СВЧ – способ снижения антипитательности зерна ржи / Р.Р. Исмагилов // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Сибай, 19–20 апреля 2023 года. – Сибай: Сибайский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский университет науки и технологий», 2023. – С. 382–384.
51. Казакова, А.С. Влияние предпосевной обработки семян ячменя переменным электромагнитным полем на эффективность использования запасных веществ эндосперма / А.С. Казакова // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 1(45). – С. 72–76.
52. Киприянов, Ф.А. К вопросу о совершенствовании технических средств для предпосевной СВЧ обработки семенного зерна / Ф.А. Киприянов, П.А. Савиных // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 1(49).

53. Киприянов, Ф.А. СВЧ установка для обработки семян / Ф.А. Киприянов, П.А. Савиных, С.В. Белозерова // Сельский механизатор. – 2021. – № 12. – С. 36–37.

54. Клундук, Г.А. Обоснование электротехнологических режимов СВЧ-обработки семян льна: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.02 / Клундук Галина Анатольевна. – Красноярск, 2004. – 19 с.

55. Краснов, И.Н. Влияние влагозащитной обработки насыщенных водой семян на рост и развитие ячменя / И.Н. Краснов, И.А. Кравченко, А.В. Касьяненко, В.Б. Хронюк // Вестник аграрной науки Дона. – 2023. – Т. 16, № 2(62). – С. 17–26.

56. Лыков, А.В. Исследование процесса сушки в поле высокой частоты / А.В. Лыков, Г.А. Максимов // Тепло- и массообмен в капиллярно - пористых телах. – Л., М.: Госэнергоиздат, 1957. – С. 133–142.

57. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.

58. Максимова, А.А. Полевые испытания микроволнового метода на развитие и распространение возбудителей корневых гнилей пшеницы / А.А. Максимова // Инновационные тенденции развития Российской науки: Материалы XVII международной научно-практической конференции молодых ученых Красноярск, 04–06 марта 2024 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. – С. 66–68.

59. Малахов, А.Н. Конструкция устройства и способ управления СВЧ обработкой семян на конвейерной ленте / А. Н. Малахов, С. В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 1(29). – С. 51–56.

60. Малахов, А.Н. Анализ исследований по применению энергии электромагнитного поля СВЧ для обработки семян / А.Н. Малахов, С.В. Вендин // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, Майский, 01 декабря 2022 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 197–199.

61. Малахов, А.Н. Анализ технических решений для технологической обработки семян электромагнитным полем СВЧ / А.Н. Малахов, С.В. Вендин // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 4. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 244–245.

62. Мамедов, Н.Х. Оптимизация основных конструктивных и режимных параметров устройства микронизации / Н.Х. Мамедов, Б.З. Салманов, Г.Б. Мамедов, У.Т. Тагиев // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 8. – С. 100–103.

63. Меньшова, Е.А. Применение физического метода в защите ячменя от болезней и вредителей в лесостепи Среднего Поволжья: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.07 / Меньшова Елена Александровна. – Новосибирск, 2013. – 20 с.

64. Мишуров, Н.П. Обоснование оптимальных параметров и режимов работы установки для обработки фуражного зерна ИК-излучением: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Мишуров Николай Петрович. – Москва, 1990. – 190 с.

65. Новикова, В.А. Прогрессивная технология подготовки фуражного зерна к скармливанию / В.А. Новикова, В.И. Чарыков, И.И. Копытин // Приоритетные направления регионального развития: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Курган, 06 февраля 2020 года. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. – С. 433–438.

66. Патент № 2013891 С1 Российская Федерация, МПК H05B 6/64. Установка для СВЧ-термообработки сыпучих продуктов и гранулированных материалов: № 4928612/09: заявл. 18.04.1991: опубл. 30.05.1994 / Н.А. Тюрин, В.Н. Удалов.

67. Патент № 2061351 С1 Российская Федерация, МПК A01C 1/00. Способ СВЧ-обработки зерна и устройство для его осуществления: № 94001684/15:

заявл. 07.01.1994: опубл. 10.06.1996 / М.А. Рустам, А.И. Чернов; заявитель Рустам Маан Ахмад.

68. Патент № 2300865 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/08. Способ подготовки семян к посеву: № 2005133020/13: заявл. 26.10.2005: опубл. 20.06.2007 / Г.И. Цугленок, А.П. Халанская, А.В. Заплетина, А.А. Василенко; заявитель Федеральное образовательное учреждение высшего профессионального образования Красноярский Государственный Аграрный Университет.

69. Патент № 2321981 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, А23В 9/04, А23L 1/025. Способ дезинсекции и дезинфекции материалов зернового происхождения: № 2006126335/13: заявл. 20.07.2006: опубл. 20.04.2008 / И.А. Леонтьев, Г.В. Лысов.

70. Патент № 2380632 С1 Российская Федерация, МПК F26В 20/00. Сушильно-сортировальная установка сыпучих материалов: № 2008118677/06: заявл. 12.05.2008: опубл. 27.01.2010 / И.Р. Ганеев, И.Х. Масалимов, В.Н. Пермьяков; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Башкирский государственный аграрный университет".

71. Патент № 2403700 С2 Российская Федерация, МПК А01F 25/00. Способ борьбы с вредителем запасов семян гороха - гороховой зерновкой в период хранения: № 2009101486/21: заявл. 19.01.2009: опубл. 20.11.2010 / В.В. Светухин, И.О. Золотовский, А.И. Капустин [и др.]; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ульяновский государственный университет.

72. Патент № 2459166 С2 Российская Федерация, МПК F26В 17/12, F26В 3/347. установка для сушки и обработки зерна и кормов: № 2010132400/06: заявл. 02.08.2010: опубл. 20.08.2012 / Б.Г. Смирнов, А.Н. Васильев, А.А. Васильев.

73. Патент № 2460404 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/32. Устройство для непрерывной СВЧ-обработки кормов: № 2011106607/13: заявл. 22.02.2011: опубл. 10.09.2012 / В.И. Сыроватка, Т.В. Комарчук, Н.В. Обухова; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

74. Патент № 2471388 С2 Российская Федерация, МПК А23L 3/01. Установка порционной СВЧ-обработки кормов: № 2011109323/13: заявл. 11.03.2011: опубл. 10.01.2013 / В.И. Сыроватка, Т.В. Комарчук, Н.В. Обухова; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

75. Патент № 2479982 С1 Российская Федерация, МПК А01F 25/14. Способ сушки зерна в бункерах активного вентилирования: № 2011138313/13: заявл. 19.09.2011: опубл. 27.04.2013 / А. Н. Васильев, Н. Б. Руденко, Д. А. Будников [и др.]; заявитель ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии.

76. Патент № 2489068 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Свч-индукционная установка барабанного типа для микронизации зерна: № 2012100432/13: заявл. 10.01.2012: опубл. 10.08.2013 / Н.К. Кириллов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия".

77. Патент № 2496291 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ обеззараживания зерна и семян сельскохозяйственных культур: № 2012121837/13: заявл. 25.05.2012: опубл. 27.10.2013 / В.И. Пахомов, А.И. Пахомов, К.Н. Буханцов, В.А. Максименко; заявитель ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии.

78. Патент № 2498551 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для СВЧ предпосевной и послеуборочной обработки семян: № 2012111630/13: заявл. 26.03.2012: опубл. 20.11.2013 / А.Н. Иванов, С.Н. Шахматов, П.П. Лемясов [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО "Красноярский государственный аграрный университет".

79. Патент № 2501201 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, А01С 1/06. способ обеззараживания зерна: № 2012113912/13: заявл. 10.04.2012: опубл. 20.12.2013 / А.А. Васильев, Д.А. Будников, А.Н. Васильев, В.Р. Краусп; заявитель ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии.

80. Патент № 2501203 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/06. Способ обеззараживания зерна и продуктов его переработки: № 2012113911/13: заявл.

10.04.2012: опубл. 20.12.2013 / А.А. Васильев, Д.А. Будников, А.Н. Васильев, В.Р. Краусп; заявитель ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии.

81. Патент № 2502450 С2 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. СВЧ-индукционная установка для микронизации зерна: № 2011128532/13: заявл. 08.07.2011: опубл. 27.12.2013 / Н.К. Кириллов, Г.В. Новикова, М.В. Белова, А.А. Белов; заявитель ФГБОУ ВПО "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия".

82. Патент № 2537541 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/18, А23L 1/025, А23L 1/10. Способ микронизации фуражного зерна: № 2013134680/13: заявл. 23.07.2013: опубл. 10.01.2015 / В.И. Сыроватка, Ю.А. Иванов, Т.В. Комарчук, Н.А. Жданов; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

83. Патент № 2537544 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/18. Способ микронизации фуражного зерна электрофизическим методом: № 2013130423/13: заявл. 02.07.2013: опубл. 10.01.2015 / В.И. Сыроватка, А.Н. Векленко, Н.А. Жданов, Т.С. Комарчук; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

84. Патент № 2537545 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/00. Установка для микронизации фуражного зерна: № 2013130426/13: заявл. 02.07.2013: опубл. 10.01.2015 / В.И. Сыроватка, А.Н. Векленко, Н.А. Жданов, Т.С. Комарчук; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

85. Патент № 2542112 С2 Российская Федерация, МПК А23L 1/18. Линия микронизации фуражного зерна: № 2013132323/13: заявл. 11.07.2013: опубл. 20.02.2015 / В.И. Сыроватка, Т.В. Комарчук, А.Н. Векленко, Н.А. Жданов; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

86. Патент № 2550479 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, А01С 1/06, А01N 25/02. Способ комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты: № 2014100549/13: заявл. 09.01.2014: опубл. 10.05.2015 / В.И. Фисинин, Ю.Ф. Лачуга, В.И. Пахомов [и др.]; заявитель ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии.

87. Патент № 2555446 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/06. Способ СВЧ обработки фуражного зерна: заявл. 15.04.2014: опубл. 10.07.2015 / В.И. Сыроватка, А.Н. Векленко, Н.А. Жданов [и др.]; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

88. Патент № 2559635 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/01. Установка для СВЧ обработки фуражного зерна: № 2014115118/13: заявл. 15.04.2014: опубл. 10.08.2015 / В.И. Сыроватка, А.Н. Векленко, Н.А. Жданов [и др.]; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

89. Патент № 2569000 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/10, А23L 1/025. Способ производства взорванного продукта из фуражного зерна сорго: № 2014124503/13: заявл. 16.06.2014: опубл. 20.11.2015 / В.И. Сыроватка, Т.С. Комарчук; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

90. Патент № 2569005 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/18, А23L 1/025. Способ производства взорванного продукта из фуражного зерна: № 2014126005/13: заявл. 26.06.2014: опубл. 20.11.2015 / В.И. Сыроватка, Н.А. Жданов, Т.С. Комарчук, А.Д. Обухов; заявитель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии.

91. Патент № 2572033 С1 Российская Федерация, МПК F26В 3/347, F26В 17/12. Способ обработки зерновых продуктов и устройство для его осуществления: № 2014130132/06: заявл. 22.07.2014: опубл. 27.12.2015 / О.А. Морозов, А.О. Морозов, В.П. Требух [и др.]; заявитель ЗАО "Научно-производственное предприятие "Магратеп" (ЗАО "НПП "Магратеп").

92. Патент № 2602281 С2 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Установка для измельчения и обеззараживания зерна и зернопродуктов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты: № 2014152010/13: заявл. 22.12.2014: опубл. 20.11.2016 / О.В. Михайлова, А.А. Белов, М.В. Белова [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)".

93. Патент № 2618141 С Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ обеззараживания зерна овса энергией СВЧ-поля: № 2016102238: заявл. 25.01.2016:

опубл. 02.05.2017 / Г.И. Цугленок, А.А. Василенко, С.А. Байгин; заявитель ФГБОУ ВО "Красноярский государственный аграрный университет".

94. Патент № 2640288 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием СВЧ-энергии: № 2017101178: заявл. 13.01.2017: опубл. 27.12.2017 / В.И. Пахомов, А.И. Пахомов, К.Н. Буханцов, В.А. Максименко; заявитель ФГБНУ «Аграрный научный центр "Донской"».

95. Патент № 2657058 С1 Российская Федерация, МПК В03С 7/02, А01С 1/06. Технологическая линия обеззараживания и очистки зерна от вредителей: № 2017100618: заявл. 10.01.2017: опубл. 08.06.2018 / Е.Г. Осинцев, Д.В. Осинцева; заявитель ООО Инновационно-производственная компания "ОДА".

96. Патент № 2754444 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Установка для предпосевной СВЧ-обработки семенного зерна: № 2020134936: заявл. 26.10.2020: опубл. 02.09.2021 / Ф.А. Киприянов, П.А. Савиных, С.В. Белозерова; заявитель ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

97. Патент № 2754685 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Установка для СВЧ - микронизации фуражного зерна: № 2020142696: заявл. 23.12.2020: опубл. 06.09.2021 / Ф.А. Киприянов, П.А. Савиных, А.В. Палицын; заявитель ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

98. Патент № 2764168 С1 Российская Федерация, МПК F26B 17/12, F26B 3/347. Установка для сушки, обеззараживания зерна и предпосевной обработки семян: № 2021114470: заявл. 21.05.2021: опубл. 13.01.2022 / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, А.А. Васильев; заявитель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

99. Патент № 2817827 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для предпосевной обработки семян: № 2023113961: заявл. 26.05.2023: опубл. 22.04.2024 / А.А. Василенко; заявитель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

100. Патент на полезную модель № 159476 U1 Российская Федерация, МПК G01R 21/02. устройство для измерения удельной мощности электромагнит-

ного поля СВЧ в объеме, заполненном сыпучим либо жидким материалом: № 2015143412/28: заявл. 13.10.2015: опубл. 10.02.2016 / Д.А. Будников, А.Н. Васильев, А.А. Васильев, А. А. Цымбал; заявитель ФГБНУ ВИЭСХ.

101. Пахомов, В.И. Динамика СВЧ нагрева при микронизации зерна / В.И. Пахомов, В.Д. Каун // Обоснование и разработка новых технологий и технологических средств в животноводстве: сб. науч. тр. ВНИПТИМЭСХ. – зерноград, 2001. – С. 100–109.

102. Пахомов, В.И. Параметры процесса сушки зерна с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты колебаний: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Пахомов Виктор Иванович. – зерноград, 1988. – 220 с.

103. Постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. N 996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 – 2030 годы» (с изменениями и дополнениями на 15.10.2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/436761964>

104. Пюшнер, Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот: пер. с англ. – М.: «Энергия», 1968. – 311 с.

105. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года» от 08.09.2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/>

106. Растениеводство: учебник / В. А. Федотов, С. В. Кадыров, Д. И. Щедрина, О. В. Столяров. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 336 с. – ISBN 978-5-8114-1950-0.

107. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: Стат. сб. / Росстат. – М., 2023. – 1126 с.

108. Рогов, И.А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. – М.: Агропромиздат, 1986. – 351 с.

109. Рогов, И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.

110. Романюкин, А.Е. Посевные качества и урожайность семян ячменя ярового в зависимости от репродукционных, физических и химических факторов: автореф. дис. ... канд. с/х. наук: 06.01.05 / Романюкин Александр Егорович. – Рассвет, 2012. – 20 с.

111. Рябов, Д.И. Применение электромагнитного поля СВЧ для предпосевной обработки зерна / Д.И. Рябов, С.О. Фатьянов, А.С. Морозов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 1(20). – С. 101–105.

112. Савиных, П.А. Влияние на траекторию движения частицы геометрических и кинематических режимов работы вибрационного транспортера / П.А. Савиных, С.В. Белозерова, А.В. Алешкин, А.Ю. Исупов [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 9(136). – С. 7–19.

113. Савиных, П.А. Влияние предпосевной СВЧ-обработки зерна на качественные показатели семенного материала / П.А. Савиных, С.В. Белозерова // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 4. – С. 100 – 108.

114. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615207 Российская Федерация. Моделирование траектории движения частицы по наклонной вибрирующей поверхности: № 2023613873: заявл. 02.03.2023; опубл. 13.03.2023 / А. Ю. Исупов, С.В. Белозерова, А. В. Алешкин, П. А. Савиных, [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА,

115. Савиных, П.А. Создание технических средств и технологий для предпосевной обработки зерна магнитным полем СВЧ диапазона в условиях Северо-Западного Нечерноземья России / П.А. Савиных, С.В. Белозерова ; ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА // Промежуточный отчет о НИР (регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 123020700068-9). – Вологда, 2023. – 24с.

116. Соболева, О.М. Содержание протеиногенных аминокислот нативного зерна овса после СВЧ-обработки / О.М. Соболева, Е.П. Кондратенко, Д.Г. Отряхайло // Медико-биологические и нутрициологические аспекты здоровьесберегающих технологий: материалы I Международной научно-практической конференции, Кемерово, 27 ноября 2020 года. – Кемерово: КемГМУ, 2020. – С. 259–262.

117. Соболева, О.М. Электрофизический способ снижения количества микотоксинов в концентрированных кормах / О.М. Соболева, М.М. Колосова, Л.А. Филипович // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 4. – С. 64–66.

118. Соловской, А.С. Совершенствование способа контроля электромагнитной обстановки с применением комбинированного метода дозиметрии электромагнитных полей / А.С. Соловской, Е.В. Титов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5(103). – С. 182–186.

119. Степанчук, Г.В. Влияние естественных электрических полей на урожайность сельскохозяйственных культур / Г.В. Степанчук, Н.В. Ксенз, И.Г. Сидорцов, А. В. Белоусов // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 2(46). – С. 18–23.

120. Степанчук, Г.В. Комбинированная предпосевная обработка семян как способ их обеззараживания / Г.В. Степанчук, Н.А. Протасова // Агротехника и энергообеспечение. – 2023. – № 4(41). – С. 122–127.

121. Степанчук, Г.В. Результаты исследования по выявлению влияния ультрафиолетового излучения на качества семян томатов / Г.В. Степанчук, Н.Е. Пономарева, Н.Н. Яковенко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 4(33). – С. 279–289.

122. Суханова, М.В. Машина для предпосевной подготовки семян с ударопоглощающими рабочими органами / М.В. Суханова, А.Ф. Бутенко // Сельский механизатор. – 2023. – № 9. – С. 7–9.

123. Суханова, М.В. Совершенствование технологии и технических средств предпосевной обработки семян : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Суханова Майя Викторовна. – зерноград, 2021. – 422 с.

124. Толмашова, О.Г. Обоснование режимов предпосевной термической обработки семян пайзы СВЧ-энергией: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.02 / Толмашова Ольга Геннадьевна. – Красноярск, 2010. – 22с.

125. Тухватуллин, М.И. Повышение энергетической эффективности СВЧ-установки для технологических процессов АПК / М.И. Тухватуллин, Р.С. Аипов, Д.П. Юхин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3(107). – С. 208–214.

126. Файзрахманов, Ш.Ф. Разработка конвейерной СВЧ-установки для сушки семян подсолнечника с обоснованием ее параметров и режимов работы: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Файзрахманов Шамиль Филаридович. – Уфа, 2015. – 167 с.

127. ФГБУ «Россельхозцентр» Сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosselhoccenter.ru/obzory-i-prognozy/>.

128. Федеральный институт промышленной собственности / Сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.fips.ru/>.

129. Федоренко, В.Ф. Инженерные нанотехнологии в АПК / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев, Л.А. Неменушая. – М: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 148 с.

130. Федоренко, С. В. электромагнитная стимуляция семян перед посевом / С.В. Федоренко, С.И. Васильев // Вклад молодых ученых в аграрную науку. – Кинель: РИЦ СГСХА, 2016. – С. 343–345.

131. Хныкина, А.Г. Обоснование электротехнологических параметров и режимов низковольтного активатора для предпосевной обработки семян лука: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.02 / Хныкина Анна Георгиевна. – Ставрополь, 2014. – 169 с.

132. Цугленок, Н.В. Результаты исследований механизма вывода семян из состояния покоя / Н.В. Цугленок // Вопросы науки и образования. – 2019. – № 3(72). – С. 48–65.

133. Цугленок, Н.В. Формирование и развитие структуры электротермических комплексов подготовки семян к посеву: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.20.01, 05.20.02 / Цугленок Николай Васильевич. – Барнаул, 2000. – 44 с.

134. Челомей, В.Н. Вибрации в технике / В.Н Челомей. и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
135. Черкасова, Э.И. Применение СВЧ-энергии для улучшения показателей безопасности зернового сырья / Э.И. Черкасова, У.Ю. Антонова, П.В. Голицкий [и др.] // *Агроинженерия*. – 2023. – Т. 25, № 5. – С. 73–77.
136. Шилдт, Г. Полный справочник C# / Пер. с англ. и ред. Н. М. Ручко. – Москва: Вильямс, 2008. – 748 с.
137. Эрматов, О. С. Изучение влияния СВЧ-облучения на семена безэрурового сорта рапса / О.С. Эрматов, А.У. Шингисов // *Universum: технические науки*. – 2024. – № 3–5(120). – С. 9–11.
138. Юсупова, Г.Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование комплексной системы обеззараживания зерна и продуктов его переработки: автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 05.18.01 / Юсупова Галина Георгиевна. – Москва, 2005. – 38 с.
139. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим специальностям / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. – Москва: Интеграл-Пресс, 2006. – 603 с.
140. Якупова, Л.Ф. СВЧ-обработка как способ деконтаминации зерна от микотоксинов / Л.Ф. Якупова // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. – 2022. – Т. 249, № 1. – С. 267–271.
141. Aksenov, A.G. Influence of Electromagnetic Fields on Seed Productivity / A.G. Aksenov, L. S. Shibryaeva, M. E. Chaplygin, E. V. Zhalnin [et al.] // *High Energy Chemistry*. – 2024. – Vol. 58, No. 1. – P. 1–15.
142. Belozeroва, S.V. Modeling the trajectory of the movement of grain material on the surface of the vibrating chute / S.V. Belozeroва, A.Y. Isupov, A.V. Aleshkin, P.A. Savinykh // II International Conference “Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology” (VMAEE-II-2023). – New York. 2023. – С. 20016.

143. Chenling, Q. Effects of microwave heating of wheat on its functional properties and accelerated storage / Q. Chenling, W. Hongliang, L. Shengqiang [et. al.] // *Journal of food science and technology*. – 2017. – Vol. 54 Issue 11. – P. 3699–3706.
144. Deepa, C. Effect of micronization of maize grains on shelf-life of flour / C. Deepa, H.U. Hebbar // *Journal of Food Processing and Preservation*. – Vol. 41, Issue 5. – № article e13195.
145. Deepa, C. Influence of micronization on physicochemical properties of maize grains / C. Deepa, H. U. Hebbar // *Starch Streaked*. – Vol. 69, Issue 3-41. – 2017. – № article 1600060.
146. Ganeev, I. Intensification of the drying process of small seed oilseeds using microwave electromagnetic radiation / I. Ganeev [et al.] // *Acta Agriculturae Slovenica*. – 2020. Vol. – 115. – № 2. – P. 261–271.
147. Jalal, A.Q. The approach to comprehensive assessment of the regional agro-food industry development problems / A.Q. Jalal, Z.A. Izotova, G.I. Ivanov // *Web of Conferences: Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering, Moscow, November 2020*. – 2020. – Vol. 22423. – № article 040382020.
148. Kakati, B. An eco-friendly, pollution-free process for seed germination and plant yield / B. Kakati, D. Bora, S. Bujarbarua // *AIP Conference Proceedings*. – 2019. – P. 020021.
149. Kasakova, A.S. Prospects for the use of stimulation by electric field of old cereal seeds / A.S. Kasakova, S.Y. Mayboroda, V.B. Chronyuk [et al.] // *Asia Life Sciences*. – 2019. – Vol. 28. – No 1. – P. 229–239.
150. Kazakova, A.S. New approach to study stimulating effect of the pre-sowing barley seeds treatment in the electromagnetic field / A.S. Kazakova, I.V. Yudaev, M.G. Fedoischenko [et al.] // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2018. – Vol. 18. – No 2. – P. 197–207.
151. Kipriyanov, F.A. Prospects for the use of microwave energy in grain crop seeding / F.A. Kipriyanov, P.A. Savinykh, A.Yu. Isupov, Yu.A. Plotnikova, N.A. Medvedeva, S.V. Belozerova // *Journal of Water and Land Development*. – 2021. – Vol. 49. – № 4-6. – P.74–78.

152. Lykov, A. V. Some problems of the theory of mass and heat transport / A.V. Lykov // *Journal of Engineering Physics*. – 1974. – Vol. 26, No. 5. – P. 537–547.

153. Nelson, S.O. Models for the Microwave Dielectric Properties of Grain and Seed / S.O. Nelson, S. Trabelsi // *Transactions of the ASABE*. – 2011. – 54(2) – P. 549–553.

154. Oomah, B.D. Microwave and micronization treatments affect dehulling characteristics and bioactive contents of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) / B.D. Oomah, L. Kotzeva, M. Allen, P.Z. Bassinello // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2014. – Vol. 94, Issue 7. – P.1349–1358.

155. Rifna, E.J. Emerging technology applications for improving seed germination / E.J. Rifna, K.R. Ramanan, R. Mahendran // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 86. – P. 95–108.

156. Sesikashvili, O. The biochemical changes in legumes during high-temperature micronization / O. Sesikashvili, E. Gamkrelidze, N. Mardaleishvili [et. al.] // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2021. – Vol. 15. – P. 555–565.

157. Storchevoy, V. Study of the operating modes of a microwave installation for heat treatment and disinfection of grain / V. Storchevoy, S. Suchugov, P. Umansky, A. Storchevoy // *E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 2021*. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – P. 01022.

158. Stuart Nelson. *Dielectric Properties of Agricultural Materials and Their Applications*. – Academic Press, 2015. – 229 p.

159. Suhag, R. Microwave processing: A way to reduce the anti-nutritional factors (ANFs) in food grains / R. Suhag, A. Dhiman, G. Deswal [et. al.] // *LWT*. – 2021. – Vol. 150. – № article 111960.

160. Sun, T. Analysis of thermal and wet stress of corn kernel based on microwave drying / Tongsheng Sun, Ran Cao // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2023. – Vol. 37. – P. 1501–1508.

161. Taheri, S. Microwave Heating for Grain Treatment / S. Taheri, G. I. Brodie, D. Gupta // *Agritech: Innovative Agriculture Using Microwaves and Plasmas* . – 2022. – P. 165–197.

162. Vasilev, S.I. Results of studies of plant stimulation in a magnetic field / S.I. Vasilev, S.V. Mashkov, S.V. Mashkov [et al.] // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2018. – Vol. 9. – No 4. – P. 706–710.

163. Vasilyev, A.N. Engineering of the Portable Grain Drying Plant Using a Microwave Field / A.N. Vasilyev, D. Budnikov, A. Sharko, V. Panchenko // «Intelligent Computing & Optimization», Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Computing and Optimization. – 2022. – P. 642–647.

164. Vasilyev, A.N. Trends in the use of the microwave field in the technological processes of drying and disinfection of grain / A.N. Vasilyev, A.S. Dorokhov, D.A. Budnikov, A.A. Vasilyev // *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. – 2020. – Vol. 51. – No 3. – P. 63–68.

165. Viliche Balint, C. Plant irradiation device in microwave field with controlled environment / C. Viliche Balint, V. Surducun, E. Surducun, I.G. Oroian // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2016. – V. 121. – P.48–56.

166 Wu, K. Microwave Treatment / Kao Wu, Zekun Xu // *Physical Modifications of Starch*. – 2023. – P.145–167.

167 Yudaev, I. Improvement of Technology of Electrical and Magnetic Stimulation of Seeds and Crop Plants / I. Yudaev, S. Mashkov, S. Vasilyev [et al.] // *Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development*. – Hershey, PA, USA: IGI Global, 2020. – P. 365–396.

Приложение А – Акт о внедрении в учебный процесс (справочное)

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
(Минсельхоз России)

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина»**
ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2
тел. (817-2) 525-730
E-mail academy@molochnoe.ru, www.molochnoe.ru

28.03.2024 № 01-30/80

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
/Н.А. Медведева/
2024 г.



АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Настоящий акт подтверждает, что материалы диссертации Белозеровой Светланы Владимировны, выполненной на тему «Обоснование конструктивно-технологических параметров установки для обработки семенного материала злаковых культур в электромагнитном поле сверхвысокой частоты» представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса используются в учебном процессе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина».

Технология обработки зерна злаковых культур электромагнитным полем диапазона сверхвысокой частоты, разработанная Белозеровой Светланой Владимировной, используется при проведении лабораторной работы на тему «Изучение рабочего процесса предпосевной обработки семян» на кафедре «Технические системы в агробизнесе».

Лабораторная работа «Изучение рабочего процесса предпосевной обработки семян» включена в рабочую программу дисциплины «Сельскохозяйственные

машины» направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия профиль «Технические системы в агробизнесе».

Внедрение названной работы позволило повысить уровень знаний студентов инженерного факультета при изучении вопросов, связанных с предпосевной обработкой семенного материала злаковых культур.

Декан инженерного
факультета, к.т.н., доцент



/Н.Н. Кузнецов/

Заведующий кафедрой
«Технические системы в агробизнесе»,
к.т.н., доцент



/Р.А. Шушков/

Приложение Б – Патент на изобретение
(обязательное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2754444

**УСТАНОВКА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ СВЧ-
ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО ЗЕРНА**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина» (ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА) (RU)*

Авторы: *Киприянов Федор Александрович (RU), Савиных Петр Алексеевич (RU), Белозерова Светлана Владимировна (RU)*

Заявка № 2020134936

Приоритет изобретения **26 октября 2020 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **02 сентября 2021 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **26 октября 2040 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0x02A5CFB5C00B1ACF59A40A2F08092E9A118
Владелец **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2 754 444** (13) **C1**(51) МПК
A01C 1/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01C 1/00 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2020134936, 26.10.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.10.2020Дата регистрации:
02.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.10.2020

(45) Опубликовано: 02.09.2021 Бюл. № 25

Адрес для переписки:
160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта,
2, Малков Николай Гурьевич

(72) Автор(ы):

Киприянов Федор Александрович (RU),
Савиных Петр Алексеевич (RU),
Белозерова Светлана Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия имени Н.В.
Верещагина» (ФГБОУ ВО Вологодская
ГМХА) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2559635 C1, 10.08.2015. RU
2498551 C1, 20.11.2013. RU 54284 U1, 10.06.2006.
SU 1584784 A1, 15.08.1990. CN 109005739 A,
18.12.2018.

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ СВЧ-ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО ЗЕРНА

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскохозяйственному производству, а именно к предпосевной СВЧ-обработке семенного материала возделываемых сельскохозяйственных культур. Установка содержит остов, бункер с дозирующим устройством, СВЧ-камеру с магнетотронами. Для создания псевдооживленного слоя семенного зерна СВЧ-камера выполнена в виде вибротранспортера с пружинными подвесками, желоб которого закреплен на поворотной раме с возможностью

изменения угла наклона и снабжен электродвигателем с изменяемой частотой вращения вала. На концах вала диаметрально противоположно расположены эксцентрики с изменяемыми массой и эксцентриситетом. При этом электродвигатель имеет возможность изменения своего положения относительно желоба транспортера. Использование изобретения позволит обеспечить повышение равномерности и эффективности обработки семенного зерна. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 7 5 4 4 4 4 C 1

RU 2 7 5 4 4 4 4 C 1

Приложение В – Свидетельство о государственной регистрации программы
для ЭВМ
(обязательное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023615207

**Моделирование траектории движения частицы по
наклонной вибрирующей поверхности**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Вологодская государственная молочнохозяйственная
академия имени Н.В. Верещагина» (RU)*

Авторы: *Исупов Алексей Юрьевич (RU), Алешкин Алексей
Владимирович (RU), Савиных Петр Алексеевич (RU),
Белозерова Светлана Владимировна (RU), Киприянов Федор
Александрович (RU)*

Заявка № 2023613873

Дата поступления 02 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 13 марта 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2023615207**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2023615207

Дата регистрации: 13.03.2023

Номер и дата поступления заявки:
2023613873 02.03.2023

Дата публикации и номер бюллетеня:
13.03.2023 Бюл. № 3

Контактные реквизиты:
science@molochnoe.ru, 78172525306

Автор(ы):

Исупов Алексей Юрьевич (RU),
Алешкин Алексей Владимирович (RU),
Савиных Петр Алексеевич (RU),
Белозерова Светлана Владимировна (RU),
Киприянов Федор Александрович (RU)

Правообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия имени Н.В.
Верещагина» (RU)

Название программы для ЭВМ:

Моделирование траектории движения частицы по наклонной вибрирующей поверхности

Реферат:

Программа предназначена для моделирования траектории движения частицы. Программа позволяет на основании вибрационных характеристик, кривизны поверхности и условий транспортирования, смоделировать траекторию движения частицы по наклонной вибрирующей поверхности. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows /XP/7/10.

Язык программирования: С#

Объем программы для ЭВМ: 25 КБ

Приложение Г – Технологическая карта

(справочное)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Культура Ячмень яровой
Сорт - Сонет
Площадь - 100 га
Предшественники: картофель

Производство продукции	Урожай, ц/га	Валовой сбор, т
Основная	38,5	385

Норма высева семян 2,3 ц/га

№ п/п	Наименование работ	Объем работ							Сроки проведения работ			Состав агрегата	Кол-во человек для выполнения нормы	Кол-во прицепщиков и рабочих на ручных работах	Норма выработки	Количество нормо-смен в объеме работ	Затраты труда на объем работ, чел.-ч.		Тарифная ставка за норму, руб.	Тарифный фонд оплаты труда, руб.	Горючее		Автомобиль спорт					
		в физическом выражении	в физическом выражении	в условных эталонных гектарах	ориентировочный срок начала работ	ориентировочный срок окончания работ	продолжительность работы в дни	прицепщиков и рабочих на ручных работах	прицепщиков и рабочих на ручных работах	на единицу, кг	всего, л						стоимость всего, руб.	стоимость (пробет), тыс. км										
1	2	единица измерения	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
										трактора, комбайна, автомашинны	сельхозмашины	количество	трактористов - машинистов	прицепщиков и рабочих на ручных работах	Норма выработки	Количество нормо-смен в объеме работ	трактористов - машинистов	прицепщиков и рабочих на ручных работах	трактористов - машинистов	прицепщиков и рабочих на ручных работах	на единицу, кг	всего, л	стоимость всего, руб.	стоимость (пробет), тыс. км	Автомобиль спорт			
1	Погрузка фосфорных и калийных удобрений	т	23,7	5,1	1,84	15,09	16,09	2	2	МТЗ-82	ПНУ 800	1	1		65,00	0,36	2,5			362,9	0	8,30	2,0	43160,0	10400,0	75		
2	Транспортировка и внесение удобрений	га	100	5,1	6,63	15,09	18,09	4	4	Беларус 952.3	РА-1000 "Grach"	1	1		80,00	1,3	9,1			2038,5	0	8,30	2,0	43160,0	10400,0	487,5		

Основная обработка почвы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
3	Культивация боронованием	гв	100	5,1	16,47	16,09	20,09	6	Беларус 952.3	КЕМ-4,2 НУС	1	1		31,00	3,23	22,6		1568,1		5065,0	0	8,30	8,3	43160,0			
Предпосевная обработка почвы и посев																											
4	Погрузка азотных удобрений	т	24	5,1	4,08	24,04	25,04	2	МТЗ-82	ПНУ 800	1	1	1	30,00	0,80	5,6	5,60	1320,1	824,45	1056,1	660	0,46	0,1	520,0			
5	Транспортировка и внесение азотных удобрений	гв	100	5,1	12,14	24,04	25,04	2	Беларус 952.3	РА-1000 "Grach"	1	1		42,00	2,38	16,7		1568,1		3732,1	0	8,30	8,3	43160,0	75	487,5	
6	Культивация боронованием	гв	100	5,1	34,17	26,04	01,05	6	Беларус 952.3	КЕМ-4,2 НУС	1	1		31,00	6,70	46,9		1568,1		10506,3	0	8,30	8,3	43160,0	75	487,5	
7	СВЧ обработка семян	т	23			25,04	27,04	3		ЭУ*	1	1		12,00	1,92	13,4		1568,1		3010,8	0	0,00	0,0	0,0			
8	Погрузка минеральных удобрений и семян	т	33	5,1	7,40	27,04	30,04	4	МТЗ-82	ПНУ 800	1	1		22,70	1,45	10,2		1308,1		1896,7	0	8,30	2,7	14040,0			
9	Транспортирование семян и удобрений	т	33	5,1	3,06	27,04	30,04	4	ГАЗ-3302	ЗС-2М	1	1		55	0,60	4,2		1008,1		604,9	0	8,30	2,7	14040,0		487,5	
10	Погрузка семян и удобрений в сеялке	т	33	5,1	7,40	27,04		4	МТЗ-82	ПНУ 800	1	1	1	22,70	1,45	10,2	10,15	1568,1	824,45	2273,7	1195	8,30	2,7	14040,0			
11	Посев ячменя с внесением удобрений	гв	100	5,1	19,94	27,04	30,04	4	МТЗ-82	ВТМ-24-2-150 Сибирь-3,6	1	1		25,60	3,91	27,4		1568,1		6131,3	0	8,30	8,3	43160,0			
Уход за посевом																											
12	Транспортировка воды 2-х кратное	т	60		0,00	20,05	23,05	4	МТЗ-82	РЖТ-8	1	1		66,50	0,9	6,3		1568,1		1411,3	0	2,80	1,7	8840,0			

Приложение Д – Пример протокола проверки на всхожесть семенного материала
(справочное)

ФГБУ "Российский сельскохозяйственный центр"
Вологодский районный отдел
Филиал ФГБУ «Россельхозцентр»
Вологодской области
(наименование организации, структурного подразделения, выдающего протокол)
ул. Беляева, д.4-а

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

N 8 от " 26 " апреля 2022 г.

Выдан ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
(наименование организации, почтовый адрес)

На партию № Я 15
партию, пробу, объект и др.

семена, ячмень, Сонет

0	1	1	1	3	1	2	2	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

(наименование объекта, культура, сорт, категория, поколение, фракция, др. данные) (код ОКП)

ПР 1

8	8	0	1	2	0	7
---	---	---	---	---	---	---

(код сорта)

размером _____
(количество контейнеров, тонн, штук, м³ и др.)

урожая 2021 г., представленных на испытания по акту отбора проб № 1
от " 19 " апреля 2022 г., находящихся

(Заявитель) ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
наименование заявителя
(производитель, продавец и др.), адрес

и предназначенных на семенные цели
(на семенные, товарные посевы и другие цели)

Заключение по результатам испытаний объекта (работы): качество семян
(качество соответствует)

соответствует требованиям ГОСТ Р 52325-2005 категории ОС на семенные цели
(не соответствует) и по каким показателям, класс, наименование нормативного документа, др. требованиям)

по всхожести.

Срок действия показателя "Всхожесть" до 26 августа 2022 года
(указывается при соответствии качества партии семян требованиям НТД)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ:

1. Чистота _____ %	8. Всхожесть _____ 96 _____ %
в том числе _____ %	в том числе твёрдых _____ %
2. Отход, всего _____ %	Условия проращивания: _____ 20°C,
	_____ НП+ст, за 7 дней _____
в том числе преобладающие группы: _____ %	9. Жизнеспособность _____ %
3. Семян других культурных растений _____ %	Методы определения _____ %
в том числе семян других видов вики _____ %	10. Влажность _____ %
4. Семян других видов кормовых трав _____ %	11. Масса 1000 семян _____ г.
5. Семян других растений (шт. на 1 кг или %) _____ %	12. Заражённость болезнями:
6. Семян сорных растений всего (шт. на 1 кг или %) _____ %	Головнёвых образований _____ %
в том числе:	Склеротий _____ %
а) семян карантинных сорняков _____ шт. на 1 кг	Галлы пшеничной нематоды _____ %
б) семян наиболее вредных сорняков (для кормовых трав) _____ шт. на 1 кг	13. Заселённость вредителями _____ шт/кг
в) семян ядовитых сорняков _____ шт. на 1 кг	14. Одноростковость _____ %
7. Энергия прорастания _____ 71 _____ %	15. Стебельки длиннее 1 см _____ шт/кг
18. Данные внешнего осмотра пробы семян:	16. Выравненность _____ %
Цвет _____ Запах _____	17. Односемянность _____ %
_____ нормальный _____ нормальный	
_____ потемневший _____ затхлый	
19. Ботанический состав преобладающих видов:	
семян других культурных растений _____ название _____	
семян сорных растений _____ название _____	
20. Другие определения: _____	

Руководитель
М.П.



подпись

Шмелёва

Т.Н. Шмелева

инициалы, фамилия

Приложение Е – Справка о результатах работы на опытном поле (справочное)

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
(Минсельхоз России)
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Вологодская
государственная
молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина»
ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2
тел. (817-2) 525-730
E-mail academy@molochnoe.ru, www.molochnoe.ru

24.08.2024 № 01-31/529

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

А.А. Кузин/

«24.08.2024» г.



СПРАВКА

о результатах научно-исследовательской работы на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА

Настоящая справка подтверждает, что в период с 2021 по 2024 года на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, расположенном в Вологодском муниципальном округе Вологодской области, проведены полевые опыты по оценке влияния предпосевной обработки зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты на качественные показатели возделывания зерновых культур на примере ярового ячменя. Для исследований использовался районированный для Северо-Западного региона РФ яровой ячмень сорта «Сонет» (№ 29164 в Государственном реестре селекционных достижений). Участок проведения полевого опыта в общей площади составлял 2100 м².

Появление всходов ярового ячменя при проведении экспериментов 2021-2024 годы составило:

Без обработки	Число всходов, шт./м ²		Дата подсчета всходов
	с неподвижным зерновым слоем	с подвижным (псевдооживленный) зерновым слоем	
2021 год			
210	225	245	04 мая 2021 год
260	272	280	07 мая 2021 года
290	310	320	10 мая 2021 года
2022 год			
220	235	255	06 мая 2022 год
280	282	290	09 мая 2022 года
310	320	330	12 мая 2022 года
2023 год			
228	231	252	05 мая 2023 год
276	286	292	08 мая 2023 года
306	328	332	11 мая 2023 года
2024 год			
221	229	249	07 мая 2024 год
269	279	282	10 мая 2024 года
301	319	323	13 мая 2024 года

Семена, обработанные в подвижном слое, имеют от 3 до 8% большее количество всходов по сравнению с семенами, обработанными в неподвижном слое.

Урожайность ярового ячменя в период с 2021г. по 2024 годы составила:

Режим обработки	урожайность ярового ячменя, ц/га			
	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Зерно без обработки	39,6	38,6	37,1	37,6
СВЧ обработка зерна в неподвижном слое в течение 15с	42,2	40,1	39,2	39,6
СВЧ обработка зерна в псевдооживленном слое в течение 15с	44,3	43,1	40,3	43,9

В ходе реализации полевого опыта подтверждено, что благодаря предпосевной СВЧ-обработке зерна в подвижном зернового слое, получены более дружные всходы, которые превышают количество всходов без предпосевной обработки до 8 % и увеличении урожайности ярового ячменя от 2,8 до 10,9% в зависимости от погодных условий.

Заведующий опытным полем



Раевский Алексей Игоревич

Приложение Ж – Акт производственных испытаний в ООО «Зазеркалье»
(обязательное)

УТВЕРЖДАЮ



Директор ООО «Зазеркалье»

Хоштария Е.Е.

18 мая 2023г.

АКТ

производственных испытаний установки для предпосевной обработки
зерна в ООО «Зазеркалье» Грязовецкого муниципального округа
Вологодской области

Комиссия в составе главного инженера Косарева А.Н. и представителей ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА: к.т.н. доцента Палицына А.В., к.т.н. доцента Иванова И.И., ассистента Белозеровой С.В. составили настоящий акт о том, что в период с 25 апреля 2023г. по 26 апреля 2023г. в ООО «Зазеркалье» Грязовецкого муниципального округа Вологодской области проведены производственные испытания установки для предпосевной обработки зерна, изготовленной на базе ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

Установка для предпосевной обработки зерна (патент на изобретение РФ RU 2754444 С1) обеспечивает возможность изменения продолжительности воздействия электромагнитного излучения сверхвысокой частоты.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ Р 54784—2011, ГОСТ 12038-84, ГОСТ 12044-93 и ГОСТ Р 52325-2005. Для обработки использован ячмень сорта «Сонет» урожая 2022 г. со всхожестью 92%.

В результате производственных испытаний обработано 690 кг семян и установлено:

- 1) средняя пропускная способность установки составила 55,95 кг/ч;
- 2) отказов и сбоев в работе не наблюдалось;
- 3) нахождение зерна в зоне облучения составляет 15 с.;

4) удельные энергозатраты составили 54,5 кВт·ч/т;

5) всхожесть обработанного зерна составила 95 %.

Выводы и предложения:

1. Увеличить пропускную способность установки в 2...2,5 раза;
2. Качество предпосевной обработки зерна на установке, изготовленной на базе ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, удовлетворяет агротехническим требованиям.

Главный инженер
К.т.н. доцент
К.т.н. доцент
Ассистент

 / Косарев Александр Николаевич /
 / Палицын Андрей Владимирович /
 / Иванов Илья Игоревич /
 / Белозерова Светлана Владимировна /

Приложение И – Акт о внедрении СПК «Колхоз «Андога»
(обязательное)



УТВЕРЖДАЮ
Председатель СПК «Колхоз
"Андога"

Коротков А.Н.

15 сентября 2023г.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

Настоящий акт удостоверяет, что экспериментальная установка для предпосевной СВЧ-обработки семенного зерна, разработанная аспирантом кафедры «Технические системы в агробизнесе» Белозеровой Светланой Владимировной, профессором Савиных Петром Алексеевичем, доцентом Киприяновым Федором Александровичем, установлена в 2023 году в технологической линии предпосевной обработки ярового ячменя Сельскохозяйственного производственного кооператива «Колхоз Андога» Кадуysкого муниципального округа Вологодской области.

В 2023 году в СПК «Колхоз Андога» проведено внедрение в технологию выращивания ярового ячменя сорта «Сонет» установки для предпосевной СВЧ-обработки семян с целью оценки ее влияния на патогенную микрофору семян, качество семенного материала и урожайность зерновых культур.

В период с 28 по 29 апреля 2023 года в СПК «Колхоз Андога» обработано на экспериментальной установке и посеяно 690 кг семян ярового ячменя на площади 3 га. Средняя производительность лабораторной установки составила 56 кг/ч.

В сравнении с СВЧ-обработкой семян и традиционной технологией предпосевной обработки семян с использованием протравливателя «Ламадор Про» получены следующие результаты:

– уровень зараженности при СВЧ-обработке семенного материала составил 8%, что соответствует допустимому уровню (при традиционной технологии – 7%);

– всхожесть и энергия прорастания семян после предпосевной обработки магнитным полем СВЧ-диапазона на экспериментальной установке согласно протоколу испытаний ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» составляет на 7 сутки соответственно 95% и 76% (при традиционной технологии – соответственно 92% и 70%);

– урожайность ячменя при СВЧ-обработке на 8,3% выше, чем при традиционной технологии выращивания и составила 37,8 ц/га (при традиционной технологии – 34,9 ц/га).

И.о. главного инженера



Коротков
Александр Николаевич

Главный агроном



Шестерикова
Ирина Сергеевна

**Приложение К – Протокол проверки на всхожесть семенного материала
после обработки в ООО «Зазеркалье»
(справочное)**

ФГБУ "Российский сельскохозяйственный центр"
 Вологодский районный отдел
 Филиал ФГБУ «Россельхозцентр»
 по Вологодской области
 (наименование организации, структурного подразделения, выдающего протокол)
 ул.Беляева, д.4-а

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

N 13 от " 05 " мая 2023 г.

Выдан ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
 (наименование организации, почтовый адрес)

На партию № Я 15
 партию, пробу, объект и др.

семена, ячмень, Сонет

0	1	1	1	3	1	2	2	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

 (наименование объекта, культура, сорт, категория, поколение, фракция, др. данные) (код ОКП)

ПР 1

8	8	0	1	2	0	7
---	---	---	---	---	---	---

 (код сорта)

размером _____
 (количество контейнеров, тонн, штук, м³ и др.)

урожая 2022 г., представленных на испытания по акту отбора проб № 1

от " 26 " апреля 2023 г., находящихся

(Заявитель) ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
 наименование заявителя

(производитель, продавец и др.), адрес

и предназначенных на семенные цели
 (на семенные, товарные посевы и другие цели)

Заключение по результатам испытаний объекта (работы): качество семян
 (качество соответствует)

соответствует требованиям ГОСТ Р 52325-2005 категории ОС на семенные цели
 (не соответствует) и по каким показателям, класс, наименование нормативного документа, др. требованиям)

по всхожести.

Срок действия показателя "Всхожесть" до 04 августа 2023 года
 (указывается при соответствии качества партии семян требованиям НТД)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ:

1. Чистота _____ %	8. Всхожесть _____ 95 _____ %
в том числе _____ %	в том числе твёрдых _____ %
2. Отход, всего _____ %	Условия проращивания: _____ 20°C, _____
	НП+ст, за 7 дней _____
в том числе преобладающие группы:	9. Жизнеспособность _____ %
_____ %	Методы определения _____ %
3. Семян других культурных растений _____ %	10. Влажность _____ %
в том числе семян других видов вики _____ %	11. Масса 1000 семян _____ г.
4. Семян других видов кормовых трав _____ %	12. Заражённость болезнями:
_____ %	Головнёвых образований _____ %
5. Семян других растений (шт. на 1 кг или %) _____ %	Склероций _____ %
_____ %	Галлы пшеничной нематоды _____ %
6. Семян сорных растений всего (шт. на 1 кг или %) _____ %	13. Заселённость вредителями _____ шт/кг
в том числе:	14. Одноростковость _____ %
а) семян карантинных сорняков _____ шт. на 1 кг	15. Стебельки длиннее 1 см _____ шт/кг
б) семян наиболее вредных сорняков (для кормовых трав) _____ шт. на 1 кг	16. Выравненность _____ %
в) семян ядовитых сорняков _____ шт. на 1 кг	17. Односемянность _____ %
7. Энергия прорастания _____ 70 _____ %	
18. Данные внешнего осмотра пробы семян:	
Цвет _____ Запах _____	
_____ нормальный _____ нормальный	
_____ потемневший _____ затхлый	
19. Ботанический состав преобладающих видов:	
семян других культурных растений _____ название _____	
семян сорных растений _____ название _____	
_____ название _____	
20. Другие определения: _____	

Руководитель
М.П.



подпись

Шмелёва

Т.Н. Шмелева

инициалы, фамилия

**Приложение Л – Протокол проверки на всхожесть семенного материала
после обработки в СПК «Колхоз «Андога»
(справочное)**

ФГБУ "Российский сельскохозяйственный центр"
Вологодский районный отдел
Филиал ФГБУ «Россельхозцентр»
Вологодской области
(наименование организации, структурного подразделения, выдающего протокол)
160023, г. Вологда
ул. Беляева, д. 4-а

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

N 3 от "06" мая 2023 г.

Выдан ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
(наименование организации, почтовый адрес)

На партию № Я 15
партию, пробу, объект и др.

семена, ячмень, Сонет

0	1	.	1	1	.	3	1	.	2	2	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(наименование объекта, культура, сорт, категория, поколение, фракция, др. данные) (код ОКП)

ПР 1

8	8	0	1	2	0	7
---	---	---	---	---	---	---

(код сорта)

размером _____
(количество контейнеров, тонн, штук, м³ и др.)

урожая 2022 г., представленных на испытания по акту отбора проб № 1

от "28" апреля 2023 г., находящихся

(Заявитель) ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА
наименование заявителя

(производитель, продавец и др.), адрес

и предназначенных на семенные цели
(на семенные, товарные посевы и другие цели)

Заключение по результатам испытаний объекта (работы): качество семян
(качество соответствует)

соответствует требованиям ГОСТ Р 52325-2005 категории ОС на семенные цели
(не соответствует) и по каким показателям, класс, наименование нормативного документа, др. требованиям)

_____ по всхожести.

Срок действия показателя "Всхожесть" до 04 августа 2023 года
(указывается при соответствии качества партии семян требованиям НТД)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ:

1. Чистота _____ %	8. Всхожесть _____ 95 _____ %
в том числе _____ %	в том числе твёрдых _____ %
2. Отход, всего _____ %	Условия проращивания: _____ 20°C, _____
	НП+ст, за 7 дней _____
в том числе преобладающие группы:	9. Жизнеспособность _____ %
_____ %	Методы определения _____ %
3. Семян других культурных растений _____ %	10. Влажность _____ %
в том числе семян других видов вики _____ %	11. Масса 1000 семян _____ г.
4. Семян других видов кормовых трав _____ %	12. Зараженность болезнями: _____ %
_____ %	Головнёвых образований _____ %
5. Семян других растений (шт. на 1кг или %) _____ %	Склероций _____ %
_____ %	Галлы пшеничной нематоды _____ %
6. Семян сорных растений всего (шт. на 1кг или%) _____ %	13. Заселённость вредителями _____ шт/кг
в том числе:	14. Одноростковость _____ %
а) семян карантинных сорняков _____ шт. на 1 кг	15. Стебельки длиннее 1 см _____ шт/кг
б) семян наиболее вредных сорняков (для кормовых трав) _____ шт. на 1 кг	16. Выравненность _____ %
в) семян ядовитых сорняков _____ шт. на 1 кг	17. Односемянность _____ %
7. Энергия прорастания _____ 76 _____ %	
18. Данные внешнего осмотра пробы семян:	
Цвет _____ Запах _____	
_____ нормальный _____ нормальный	
_____ потемневший _____ затхлый	
19. Ботанический состав преобладающих видов:	
семян других культурных растений _____ название _____	
семян сорных растений _____ название _____	
_____ название _____	
20. Другие определения: _____	

Руководитель
М.П.



подпись

Шмелёва

Т.Н. Шмелева

инициалы, фамилия

**Приложение М – Протокол о проведении фитосанитарного обследования
семенного материала после обработки в ООО «Зазеркалье»
(справочное)**

Испытательная лаборатория
филиал федерального государственного бюджетного учреждения
«Российский сельскохозяйственный центр»
по Вологодской области
Свидетельство регистрационный номер РОСС RU. ДС 1.6.1.035
зарегистрировано в Едином реестре зарегистрированных
систем добровольной сертификации Федерального агентства
по техническому регулированию и метрологии,
действительно до 25.06.2025 г
160025, г. Вологда, ул. Космонавта Беляева, д. 4а, пом. 1
телефон/факс: (8172)74-39-85/73-95-47

**ПРОТОКОЛ
О ПРОВЕДЕНИИ ФИТОСАНИТАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

«05» мая 2023 г.

№ 1

Нами, специалистами группы по фитосанитарному мониторингу филиала ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Вологодской области ведущими агрономами ИЛ:

Ряжко Е.С. и Бакашевой А.В.
(ф.и.о., должность)

на основании положения ИЛ, проведено фитосанитарное обследование образцов посевного материала яровых зерновых культур методом проращивания в рулонах в соответствии с ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями».

Белозерова Светлана Владимировна
(наименование и реквизиты заказчика)

Дата(ы) проведения испытаний: 26 апреля 2023 г. – 05 мая 2023 г.

Результаты испытаний:

Культура	Сорт	№ партии	Масса, ц	Всхожесть, %	Общая зараженность	Фузариоз	Гельминтоспориз	Альтернариоз	Сапрофиты	Бактериоз
Ячмень	Сонет, РС-1	1	50	-	38	5	10	13	8	2
Ячмень	Сонет, РС-1	2	50	-	9	1	6	7,1	2,3	0

Специалисты группы по фитосанитарному мониторингу филиала ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Вологодской области



подпись

Ряжко Е.С.
(ФИО)

подпись

Бакашева А.В.
(ФИО)

**Приложение Н – Протокол о проведении фитосанитарного обследования
семенного материала после обработки в СПК «Колхоз «Андога»
(справочное)**

Испытательная лаборатория
филиал федерального государственного бюджетного учреждения
«Российский сельскохозяйственный центр»
по Вологодской области
Свидетельство регистрационный номер РОСС RU. ДС 1.6.1.035
зарегистрировано в Едином реестре зарегистрированных
систем добровольной сертификации Федерального агентства
по техническому регулированию и метрологии,
действительно до 25.06.2025 г
160025, г. Вологда, ул. Космонавта Беляева, д. 4а, пом. 1
телефон/факс: (8172)74-39-85/73-95-47

**ПРОТОКОЛ
О ПРОВЕДЕНИИ ФИТОСАНИТАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

«08» мая 2023 г.

№ 3

Нами, специалистами группы по фитосанитарному мониторингу филиала
ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Вологодской области
ведущими агрономами ИЛ:

Ряжко Е.С. и Бакашевой А.В.
(ф.и.о., должность)

на основании положения ИЛ, проведено фитосанитарное обследование
образцов посевного материала яровых зерновых культур методом проращивания
в рулонах в соответствии с ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных
культур. Методы определения зараженности болезнями».

Белозерова Светлана Владимировна
(наименование и реквизиты заказчика)

Дата(ы) проведения испытаний: 28 апреля 2023 г. – 08 мая 2023 г.

Результаты испытаний:

Культура	Сорт	№ партии	Масса, ц	Всхожесть, %	Общая зараженность	Фузариоз	Гельминтоспориз	Альтернариоз	Сапрофиты	Бактериоз
Ячмень	Сонет, РС-1	1	50	-	33	19	18	22	10	7
Ячмень	Сонет, РС-1	2	50	-	8	1	5,8	7,2	4,9	0

Специалисты группы по фитосанитарному
мониторингу филиала
ФГБУ «Россельхозцентр»
по Вологодской области




подпись

Ряжко Е.С.
(ФИО)


подпись

Бакашева А.В.
(ФИО)