

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)»**

На правах рукописи

УРМАНОВ АРТУР ИЛЬДАРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ВЫСОКОВЛАЖНЫХ
СЕМЯН РАПСА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА И ОБЪЕКТОВ СУШКИ
РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ**

Специальность 4.3.3 – Пищевые системы

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Щетинин Михаил Павлович

Москва, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
1.1 Свойства семян рапса как объекта сушки.....	12
1.2 Физико-химические и биохимические изменения семян рапса при тепловой сушке.....	23
1.3 Особенности сушки семян рапса и способы повышения её эффективности.....	27
1.4 Заключение по обзору литературы.....	38
2 ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ СУШКИ И ОХЛАЖДЕНИЯ СЕМЯН РАПСА.....	40
2.1 Объекты и методы исследований.....	42
2.2 Результаты исследований и их анализ.....	58
2.1.1 Влияние режимов конвективной сушки на кинетику процесса сушки однородных по влажности семян рапса.....	58
2.1.2 Влияние режимов конвективной сушки на кинетику процесса сушки смеси семян рапса с различной начальной влажностью.....	65
2.1.3 Влияние режимов охлаждения на кинетику процесса охлаждения семян рапса после сушки.....	72
2.1.4 Влияние режимов конвективной сушки на качественные характеристики высушиваемых семян рапса при системном взаимодействии сушильного агента и объекта сушки	84
2.1.5 Математическая модель зависимости температуры и влажности высушиваемых семян рапса от режимов их сушки и охлаждения.....	86
2.1.6 Разработка технологии рециркуляционной сушки высоковлажных семян рапса на основе применения квазиизотермических режимов.....	91
3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	98

3.1 Разработка нормативно-технической документации и апробация в производственных условиях разработанной технологии рециркуляционной сушки высоковлажных семян рапса.....	98
3.2 Анализ технико-экономической эффективности применения разработанной технологии рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	117
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	131
Приложение А. Патент РФ на изобретение.....	132
Приложение Б. Технические условия.....	133
Приложение В. Акт о внедрении результатов диссертационной работы.....	144
Приложение Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями.....	145
Приложение Д. Акт производственных испытаний с приложениями.....	179
Приложение Е. Справка о стоимости выполненных работ и затрат	183

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Рапс является ценной продовольственной культурой. Производство рапса в России за последние 10 лет увеличилось в четыре раза, достигнув максимума – 4,5 млн т в 2022 году [46].

Семена рапса являются источником растительного масла и высокобелковых ингредиентов кормов. Вторичные продукты, получаемые после отжима масла (жмых и шрот), содержат до 43% сырого белка и по энергетической ценности не уступают вторичным продуктам переработки семян подсолнечника. Рапсовое масло является пищевым, применяется в производстве специализированных жиров и маргарина, а также находит применение в металлургической, лакокрасочной, мыловаренной, текстильной и других отраслях промышленности [21]. В последнее время многие страны, включая и Россию, проводят научные исследования в направлении получения из семян рапса биотоплива. Семена новых селекционных сортов рапса характеризуются минимальным содержанием вредной эруковой кислоты.

Способ отдельной уборки семян рапса не нашёл широкого применения в связи с их неравномерным созреванием и склонностью к осыпанию. Поэтому при уборке, как правило, применяется способ прямого комбайнирования, вследствие чего семена рапса имеют повышенную влажность. Семенная масса высоковлажного рапса характеризуется интенсивными процессами самосогревания, способствующими существенному снижению основных качественных характеристик.

Одним из основных элементов системы послеуборочной обработки семян является их сушка. Правильно организованный процесс сушки позволяет обеспечить длительное хранение заготавливаемых семян при минимальных потерях массы и качества, а также с наименьшими энергозатратами.

На хлебоприёмные предприятия семена рапса зачастую поступают с неравномерной и высокой начальной влажностью (на

ОАО «Набережночелнинский элеватор» – до 46%), что определяет необходимость обеспечения их оперативной сушки в целях предотвращения развития процессов самосогревания. При общем сборе семян рапса в России на уровне 4,5 млн т в год, сушке подлежат около 3,6 млн т семян [46, 73].

На большинстве элеваторов России используется технология прямоточной сушки, которая не позволяет обеспечить снижение влажности семян до значений, необходимых для их размещения на хранение (7%) за один пропуск через сушилку.

Наиболее острой проблема становится с учётом того, что дефицит мощностей хранения в России оценивается в 20 млн тонн, а доля хранилищ, удовлетворяющих современным требованиям, не превышает 60% [7, 36].

Сушка с предварительным нагревом и частичной рециркуляцией семян позволяет достичь более высоких технико-экономических показателей. Однако при сушке предварительно нагретых семян атмосферным воздухом снижение влажности за цикл сушки также ограничено. Одним из направлений решения проблемы повышения эффективности сушки семян рапса является применение способа сушки, характеризующегося условным равенством температур в начале и конце процесса. Данные режимы сушки называются квазиизотермическими. Влага из семян, в случае сушки при данных режимах, испаряется как за счёт энергии, полученной от сушильного агента, так и за счёт энергии, накопленной в ходе предварительного нагрева семян.

Степень разработанности темы

Значительный вклад в исследование и развитие теории сушки и хранения семян внесли российские и зарубежные учёные А.С. Гинзбург, А.П. Гержой, В.Б. Фейденгольд, В.И. Атаназевич, Л.А. Трисвятский, Л.Д. Комышник, Н.П. Козмина, П.А. Ребиндер, Е. Ekcet, А. Aboltins и другие ученые. В области изучения и совершенствования процессов рециркуляционной сушки зерна наиболее известны работы А.В. Лыкова, В.А. Резчикова, В.Ф. Сорочинского, Г.С. Зелинского, Г.К. Филоненко, О.Н. Налеева, Н.И. Малина, С.В. Савченко и других, однако в существующих инструкциях по сушке зерна и масличных культур отсутствует

развернутая информация по рекомендуемым режимам сушки семян рапса на рециркуляционных зерносушилках.

Целью исследования являлось повышение эффективности сушки семян рапса с высокой начальной влажностью на основе исследования системного взаимодействия сушильного агента и объектов сушки различной влажности за счёт разработки технологии сушки, обеспечивающей требуемые качественные и технико-экономические показатели при хранении и последующей переработке семян.

Для достижения заявленной цели необходимо было решить следующие **задачи:**

1. Исследовать влияние режимов конвективной сушки семян рапса на кинетику процесса сушки однородных по влажности семян.
2. Изучить влияние режимов конвективной сушки семян рапса на кинетику процесса сушки смеси семян с различной начальной влажностью.
3. Исследовать влияние режимов охлаждения на кинетику процесса охлаждения семян рапса после сушки.
4. Определить влияние параметров конвективной сушки на качественные характеристики семян рапса при системном взаимодействии сушильного агента и объектов сушки.
5. Разработать математическую модель зависимости температуры и влажности высушиваемых семян от режимов их сушки и охлаждения.
6. Разработать технологию рециркуляционной сушки высоковлажных семян рапса на основе применения квазиизотермических режимов и провести её апробацию в производственных условиях.
7. Разработать нормативно-техническую документацию (технические условия) по сушке семян высоковлажного рапса при квазиизотермических режимах.
8. Провести сравнительный анализ технико-экономической эффективности применения разработанной технологии рециркуляционной сушки

семян рапса при квазиизотермических режимах с сушкой при осциллирующих режимах.

Научная новизна

Впервые были получены научные данные о специфике протекания процессов сушки семян рапса при квазиизотермических режимах - выявлены зависимости влияния скорости и температуры сушильного агента, начальной влажности семян и продолжительности контактного тепловлагообмена между семенами с различной начальной влажностью на скорость сушки семян при квазиизотермических режимах и на качественные характеристики высушиваемых семян рапса.

Научно доказано, что сушка семян рапса при квазиизотермических режимах протекает более интенсивно как в сравнении с сушкой при осциллирующих режимах, так и в сравнении с сушкой злаковых культур при аналогичных режимах ввиду более высокого коэффициента диффузии влаги у семян рапса.

Научно доказано, что применение квазиизотермических режимов при сушке семян рапса обеспечивает более высокую стабильность показателей качества высушиваемых семян в сравнении с традиционным методом рециркуляционной сушки при осциллирующих режимах. Это относится к таким параметрам как всхожесть и энергия прорастания семян, а также перекисное и кислотное числа масла, получаемого из просушенных семян. Данный эффект обеспечивается за счёт сокращения продолжительности термического воздействия на семенную массу благодаря интенсификации процессов сушки.

Выявленные зависимости интенсивности протекания процессов сушки и охлаждения в семенной массе рапса от заданных режимов позволили получить математические модели в виде уравнений регрессии с высоким уровнем аппроксимации, позволяющие описать и спрогнозировать сушку семян при установленных режимах.

Новизна предложенных технологических решений подтверждена патентом РФ на изобретение (№ 2812479) от 30.01.2024 г. (приложение А).

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в обосновании и внедрении в производство способов и режимов сушки семян рапса, обеспечивающих значительное повышение производительности сушилок, экономию топлива при сохранении основных качественных показателей высушиваемых семян.

Разработанная технология рециркуляционной сушки адаптирована для сушки семян рапса с высокой начальной влажностью. Данная технология подразумевает предварительный нагрев семян и описывается условным равенством температур высушиваемых семян в начале и конце процесса с их промежуточным охлаждением. Данный эффект обеспечивается за счёт интенсивного испарения влаги вследствие дополнительного подвода тепла в верхнюю зону сушки. По этой причине предложенный способ сушки является квазиизотермическим.

Применение разработанной технологии в производственных условиях позволило провести сушку семян рапса при рациональных режимах, которые обеспечили наименьшее снижение кислотного числа масла в сравнении с «классической» рециркуляционной сушкой, что свидетельствует о сведении к минимуму нежелательных гидролитических процессов путём быстрой инактивации липазы с одной стороны и о недопущении окислительного распада и связывания липидов с другой. При этом производительность сушилки увеличилась на четверть, при максимальной начальной влажности высушиваемых семян более 25%.

Были разработаны и утверждены технические условия ТУ 9721215-00946257-2016 на рециркуляционную сушку семян рапса при квазиизотермических режимах (приложение Б). Разработанная технология сушки семян рапса апробирована на ОАО «Набережночелнинский элеватор». Было установлено, что предложенный способ сушки обеспечивает снижение удельных затрат на плановую тонну высушиваемых семян более чем на 10% и обеспечивает окупаемость инвестиций менее чем за один заготовительный сезон. Результаты исследований

применимы при проектировании новых и реконструкции действующих зерносушилок.

Методология диссертационного исследования

Методологической основой исследований является изучение системного взаимодействия сушильного агента и объектов сушки различной влажности с целью обеспечения сохранности основных качественных показателей заготавливаемых семян и снижения затрат на их сушку. Для решения поставленных задач были применены методы исследования, основанные на оценке влияния различных режимов сушки и охлаждения семян рапса на кинетику протекания процессов, а также на изменение качественных показателей высушиваемых семян. В ходе исследований применялась математическая обработка данных, были проведены производственные испытания разработанной технологии сушки семян.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Влияние квазиизотермических режимов сушки и охлаждения семян рапса на интенсивность протекания процессов сушки и охлаждения.
2. Влияние квазиизотермических режимов сушки и охлаждения семян рапса на сохранность качественных характеристик высушиваемых семян и оптимизацию технико-экономических показателей процесса.
3. Разработанная технология рециркуляционной сушки, адаптированная для сушки высоковлажных семян рапса.

Степень достоверности результатов

Достоверность полученных результатов подтверждена использованием современных средств и методов исследований, трёхкратной повторностью проведенных опытов, математической обработкой полученных экспериментальных данных с помощью программы Microsoft Excel 2016 и апробацией полученных результатов в производственных условиях. Все научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, обоснованы и подтверждены экспериментальными исследованиями и материалами.

Апробация работы

Полученные данные и рекомендуемые режимы сушки подтверждены в ходе практических испытаний реконструированной зерносушилки ОАО «Набережночелнинский элеватор», по окончании которых был подписан акт внедрения результатов диссертационного исследования на ОАО «Набережночелнинский элеватор» (приложение В).

Результаты исследований были опубликованы в журнале «Ученые записки» Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э.Баумана. (г. Казань, 2014 г.), докладывались на XI научно-практической конференции «Технологии и продукты здорового питания. Функциональные пищевые продукты» (г. Москва, 2013 г.); международной научно-практической конференции «Современные концепции развития науки» (Уфа, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Тенденции развития технических наук» (Уфа, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития технических наук» (Уфа, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Теоретические и практические вопросы науки XXI века» (Уфа, 2015 г.); международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки» (Красноярск, 2015 г.); XIX международной научно-практической конференции «Наука России: Цели и задачи» (г. Екатеринбург, 2020 г.), III всероссийской научно-практической конференции «Стратегия современного научно-технологического развития: проблемы и перспективы реализации» (г. Петрозаводск 2021 г.).

Были опубликованы статьи в журналах, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки РФ:

1. Резчиков, В. А. Совершенствование технологии сушки зерна рапса / В. А. Резчиков, **А. И. Урманов** // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015. – №6. – С. 49–52.
2. Резчиков, В. А. Сушка семян рапса с высокой влажностью / В. А. Резчиков, **А. И. Урманов** // Хлебопродукты. – 2015. – №4. – С. 55–57.

3. Резчиков, В. А. Особенности сушки семян рапса и возможности повышения её эффективности / В. А. Резчиков, **А. И. Урманов** // Проблемы развития АПК Региона. – 2020. – №1. – С. 209–217.

4. **Урманов, А. И.** Применение масла из семян рапса конвективной сушки при фритюрной обработке продуктов / А. И. Урманов, Г. Г. Дубцов, И. У. Кусова, Т. Р. Любецкая // Хлебопродукты. – 2020. – №12. – С. 44–46.

5. Щетинин, М. П. Технологические решения, обеспечивающие повышение эффективности сушки высоковлажных семян рапса / М. П. Щетинин, **А. И. Урманов** // Проблемы развития АПК Региона. – 2022. – №1. – С.179–188.

6. Щетинин, М. П. Моделирование и математическая обработка результатов опытов по сушке семян рапса / М. П. Щетинин, **А. И. Урманов** // Ползуновский вестник. – 2023. – №2. – С. 131–135.

Получен патент РФ на изобретение:

Пат. 2812479 Российская Федерация, МПК А 23 В 9/08. Способ сушки семян рапса при квазиизотермических режимах / Урманов А. И., Щетинин М. П., Щетинина Е. М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» – № 2022127541 ; заявл. 24.10.2022 ; опубл. 30.01.2024, Бюл. № 4. – 7 с.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует пунктам 4, 7, 10, 23 паспорта научной специальности ВАК при Минобрнауки РФ (технические науки) 4.3.3. – «Пищевые системы»: 4. «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства», 7. «Технология жиров, продуктов переработки растительных масел, масличного и эфирно-масличного сырья», 10. «Механизмы и прогнозирование трансформаций сырья и пищевых продуктов на различных этапах жизненного цикла продукта», 23. «Адаптация процессов пищевых производств к перерабатываемому сырью».

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Свойства семян рапса как объекта сушки

Семена рапса имеют тёмный цвет. Натура семян ориентировочно 590 грамм на литр [47].

Рапс – однолетнее растение, относится к семейству крестоцветных. У рапса имеются как озимые, так и яровые формы. Урожайность составляет от 20 до 45 ц/га в зависимости от сорта и технологии возделывания [62].

Рапс относится к растениям устойчивым к ходам и заморозкам. Семена рапса прорастают при температуре от $-0,1^{\circ}$ до 3° С. Всходы сохраняют жизнеспособность при снижении температуры до -5° С. Взрослые растения способны переносить заморозки до -8° . При этом наиболее благоприятными погодными условиями для вегетации растений является температурный диапазон от 14 до 17° С [29, 62].

Рапс является растением, требовательным к влаге. Потребление воды в период вегетации превышает потребление зерновых культур в 1,5-2 раза. В связи с чем в периоды засухи урожайность рапса может снижаться значительно сильнее, в сравнении с другими культурами, в особенности со злаковыми [14].

Рекомендуемая кислотность почв для выращивания рапса составляет рН 6,5-6,8. Сырые почвы также противопоказаны рапсу. Урожайность рапса во многом зависит от плодородия почв, в особенности от содержания калия.

К наиболее распространённым вредителям рапса относятся капустная тля, крестоцветные блошки, рапсовый цветоед и рапсовый пилильщик. Среди наиболее опасных заболеваний растений рапса можно выделить альтернариоз, мучнистую росу, ложную мучнистую росу и чёрную ножку [90].

Уборка рапса имеет определённую специфику: верхняя часть растений подсыхает и зачастую переплетается между собой. Следует отметить, что на сегодняшний день получили практическое применение высокоурожайные сорта и

гибриды ярового и озимого рапса. Наиболее значимой их особенностью является устойчивость к осыпанию и полеганию. Это позволяет проводить уборку, сводя к минимуму потери семян в поле.

Уборку рапса начинают при созревании семян, когда их влажность снижается до 10-20%. В ходе заготовки семян должна быть обеспечена их своевременная сушка до влажности не выше 7% [81].

Сотрудниками японского международного исследовательского центра сельскохозяйственных наук было проведено исследование влияния спелости и сроков уборки семян рапса на их качественные показатели [122]. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние сроков уборки рапса на физические и физико-химические показатели семян

Период созревания, дни	Влажность, %	Масса тысячи зёрен, г	Содержание масла АСВ, %
245	38,7	3,01	49,2
246	31,1	3,04	50,5
252	15,1	3,00	49

Как видно из таблицы 1, преждевременная уборка семян рапса негативным образом влияет на товарные характеристики рапса, а также способствует повышению затрат, связанных с транспортировкой и сушкой семян. Также было установлено, что масло, получаемое из семян с начальной влажностью 38,7%, обладает повышенным перекисным числом, по сравнению с маслом, получаемым из семян с начальной влажностью 15,1%. Органолептические характеристики масла, полученного из незрелых семян, также отличаются от масла, полученного из спелых семян. Это объясняется высоким содержанием хлорофилла в семенах [122].

Ещё одной особенностью рапса является неравномерное созревание семян по высоте растения. В связи с чем обеспечение послеуборочного дозревания семян рапса является важнейшим условием для сохранения основных качественных

показателей. Продолжительность послеуборочного дозревания связана с сортовыми особенностями, зрелостью семян и погодными условиями.

Установлено, что для семян озимого рапса продолжительность послеуборочного дозревания при 10° С составляет 20 суток. При повышении температуры до 20°С данный период сокращается до 5 суток.

Для семян ярового рапса продолжительность данного периода составляет от 20 до 80 суток при температуре окружающей среды от 30 до 10° С соответственно [62].

Важнейшими условиями дальнейшего увеличения валового сбора семян рапса в нашей стране являются: размещение возделывания рапса в наиболее соответствующих его биологическим особенностям агроклиматических зонах, коренное улучшение селекции и перевод семеноводства на промышленную основу, использование сбалансированных доз удобрений, высокоэффективных гербицидов, применение современных высокопроизводительных уборочных машин и конечно же своевременно и правильно организованная сушка товарного зерна и семенного материала.

Для семян рапса характерно повышенное содержание липидов. В связи с этим они имеют, в сравнении с семенами злаковых культур, пониженную критическую влажность. Семена рапса характеризуются повышенной интенсивностью дыхания, которая резко возрастает с повышением влажности выше критической. Зона критической влажности для семян рапса находится на уровне 7%.

Для обеспечения оптимальной сохранности качественных показателей заготавливаемых семян необходимо предусмотреть их послеуборочное дозревание. При этом существенной интенсификации данного процесса возможно добиться за счёт сушки и активного вентилирования семян [97].

При размещении на хранение семян масличных культур важным условием является минимизация активности микроорганизмов в семенной массе. Это обусловлено тем, что липиды являются хорошей питательной средой для развития насекомых и микрогрибов. В результате их жизнедеятельности сокращается

содержание жира и резко снижается его качество. Скорейшая сушка и эффективное охлаждение семенной массы рапса необходимы в связи с тем, что процессы самосогревания в ней протекают более активно, в сравнении с семенами зерновых культур и сопровождаются достижением более высоких температурных значений [70].

Размещать партии влажных семян рапса рекомендуется на площадках и в емкостях, укомплектованных системами активного вентилирования.

Семена рапса легко повреждаются при их перемещении и очистке, что ухудшает их качественные показатели в процессе хранения. Высота насыпи для семян не более 2 м. При хранении в таре число рядов мешков в штабеле не более 6 [97].

В семенах рапса содержится большое количество пигментов группы хлорофиллов – от 10 до 150 мг/кг [62].

По жирно-кислотному составу классические сорта рапса характеризуются высоким содержанием эруковой кислоты, достигающим 52% и более. Однако за счёт достижений селекции в современных сортах оно снижено практически до 0% [90].

В настоящее время селекционеры работают над созданием сортов рапса с более тонкими плодовыми оболочками и меньшим содержанием клетчатки. Так называемые трехнулевые сорта рапса будут также характеризоваться повышенным содержанием триглицеридов. Однако по жирнокислотному составу масла различия между сортами «000» и «00» будут незначительны.

Рапсовые жмыхи и шроты широко применяются в качестве белковых добавок при производстве полнорационных комбикормов для сельскохозяйственных животных и птицы. Однако их ввод в рецептуру ограничен в связи с содержанием в них определённого количества глюкозидов.

Включение рапсового шрота (с низким содержанием глюкозинолатов) в рацион кормления сельскохозяйственных животных и птицы, является одним из ключевых факторов интенсификации развития животноводства, особенно птицеводства и свиноводства. В рацион для цыплят-бройлеров допускается ввод до

20% рапсового шрота, т. е. этим шротом возможно заменить до 80% соевого шрота. Для кур-несушек допускается ввод до 15-20%, откормочных свиней – до 15%, коров и телят – до 25%, лошадей – до 15% без ухудшения продуктивности [19].

В семенах рапса содержатся тиогликозиды, гликозинолаты и их производные. Содержание их, в зависимости от сорта, колеблется в диапазоне от 0,5 до 6,0%. Они раздражают слизистую оболочку и оказывают вредное действие на щитовидную железу, а при высоких концентрациях могут быть токсичными [1]. Содержание данных веществ в масле, получаемом из семян, существенно зависит от сортовых особенностей семян и технологии их переработки [88].

Помимо этого, в семенах рапса также содержатся полезные ферменты, такие как липаза, мирозиназа, липоксигеназа и др. [70].

К семенам, предназначенным для отжима пищевых растительных масел, предъявляют требования по жирно-кислотному составу согласно ГОСТ 31759-2012, в том числе и по содержанию эруковой кислоты – не более 5%, к общей массе жирных кислот.

Были выполнены исследования по изучению свойств рапсового масла в качестве фритюрного жира. Сравнение осуществлялось с пальмовым маслом. Данные, полученные по итогам исследований, показали, что при обжаривании в рапсовом масле в продукты переходит меньшее количество липидов, содержащих насыщенные жирные кислоты. Остаточное содержание эруковой кислоты в продуктах, обжаренных в пальмовом масле, даже выше, чем в продуктах, обжаренных в рапсовом масле [98].

Итогом работы в области селекции рапса стало создание сортов с низким содержанием эруковой кислоты и тиогликозидов. Это предопределило последующий активный рост использования продуктов, получаемых из рапса, в пищевой и кормовой сферах.

ГОСТ 10583-76 разделяет семена рапса на два класса. Основное отличие заключается в содержании в семенах эруковой кислоты и тиогликозидов (гликозинолатов). При отнесении семян к первому классу эруковой кислоты должно содержаться не более 5,0%, а тиогликозидов - не более 3,0%. В случае

отнесения ко второму классу, предназначенному для технических целей, данные показатели не нормируются.

Семена рапса, как и другие зерновые и зернобобовые культуры, представляют собой коллоидное капиллярно-пористое тело, влага в которых находится в различных формах связи [97].

Общие закономерности распределения и состояния воды в капиллярно-пористых материалах, а также информация о формах связи влаги в зерне, структуре зерна и процессах внутреннего влагопереноса подробно представлена в трудах А.С. Гинзбурга [25], А.Е. Баума [6], Г.А. Егорова [34], В.А. Резчикова [83], Е.Д. Казакова [40] и др.

В качестве основного показателя классификации форм связи влаги с материалом академик П.А. Ребиндер [80] предложил термодинамический принцип, который характеризуется величиной энергии этой связи или работы изотермического обратимого отрыва одного моля воды для данного влагосодержания и без изменения состава вещества. Всю влагу зерна как коллоидного капиллярно-пористого тела в зависимости от величины энергии связи разделяют на четыре формы: химическую, адсорбционно-связанную, капиллярно-связанную и осмотически удерживаемую.

Наличие различных форм связи влаги с семенами обуславливает характер их удаления при сушке.

В случае сушки семян для последующей закладки их на хранение необходимо удалить адсорбционно-связанную, капиллярно-связанную и осмотически удерживаемую влагу [24].

Проникновение влаги в семенах рапса подчиняется не только классическим законам физики, но и биологическим особенностям клеточного строения. По этой же причине осмотическая вода, проникая в клетку, меняет свои свойства. Вода в семенах рапса является составной частью и активным агентом, при помощи которого в тканях семян протекают сложные биохимические процессы.

Условия, при которых осуществляются приёмно-заготовительные работы в существенной мере зависят от равновесной влажности семян рапса, поступающих

на хлебоприёмные предприятия. В таблице 2 представлены данные по сравнению равновесной влажности семян рапса и зерновых культур [84, 95].

Таблица 2 – Равновесная влажность рапса при температуре 25°C, %

Культура	Относительная влажность воздуха, %						
	40	50	60	70	75	80	90
Рапс	5,7	6,6	7,4	8,8	10,2	11,9	17,4
Пшеница	10,7	12,0	13,7	15,6	16,6	17,6	23,0
Овес	9,5	11,0	12,5	14,3	15,4	16,7	22,0

По данным, приведенным в таблице 2, равновесная влажность семян рапса при одинаковых условиях на 25-50% ниже, чем зерна пшеницы. Это предопределяет необходимость снижения влажности семян рапса до более низких значений при их размещении на хранение. Значения критической влажности семян рапса находятся в диапазоне от 7 до 9%. Отсюда вытекает необходимость определения допустимых сроков хранения в зависимости от остаточной влажности семян рапса (таблица 3) [90].

Таблица 3 – Максимальный срок хранения семян рапса (в неделях) в зависимости от их температуры и влажности

Температура хранения, °C	Влажность семян, %					
	8	9	10	12	14	17
25	16	9	5	2,5	1	-
20	32	19	10	5	2	0,5
15	65	40	20	10	4	1
10	160	90	50	21	8,5	2
5	400	200	120	50	17	5

На основании данных, приведенных в таблице 3, при температуре семян 5°C и влажности от 7 до 8% срок хранения семян рапса может достигать 10 лет. Увеличение же влажности всего на 1% снижает срок допустимого хранения в два раза. Аналогичная зависимость присуща и температуре семян, закладываемых на

хранение. Семена рапса влажностью 17% и температурой 5°C допускается размещать на хранение на срок не более месяца. Даже сухой рапс возможно закладывать на круглогодичное хранение без перемещения только в условиях охлаждения. Из-за относительно высокой склонности семян к прорастанию температура семенной массы не должна превышать 15-20°C.

Также последние исследования доказали наличие определённой зависимости между влажностью семенной массы рапса и количеством вредителей хлебных запасов, присутствующих в ней [108]. График зависимости представлен на рисунке 1.

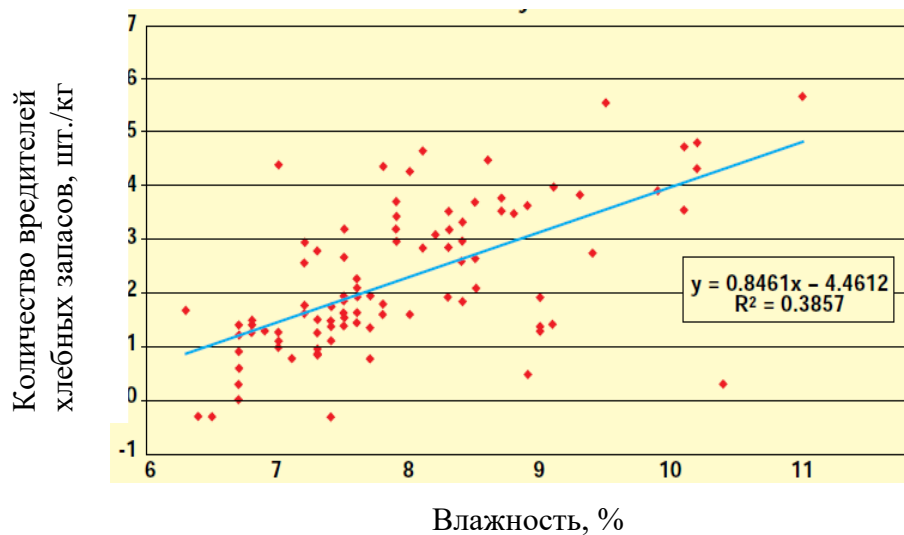


Рисунок 1 - Зависимость заражённости вредителями семенной массы рапса от влажности семян.

Гигроскопичность – одно из важнейших свойств семян, определяющих режимы их хранения и сушки. Продолжительность сушки семян в существенной степени зависит от начальной влажности семян, а именно от формы связи влаги с семенами и заданного количества удаляемой влаги.

У масличных семян равновесная влажность ориентировочно в 2 раза ниже, чем у зерновых культур. Это объясняется высокой долей содержания гидрофобных жиров. Для обеспечения равновесной влажности семян рапса в диапазоне от 7 до 8%, при влажности атмосферного воздуха от 60 до 70%, температура семян не должна превышать 15-20°C [90].

Различие сортов рапса по химическому составу определяется, прежде всего, различным содержанием масла, обладающего высокой гидрофобностью, что в свою очередь обуславливает различную критическую влажность.

Для выбора и обоснования эффективных режимов сушки семян рапса и получения характеристик, влияющих на его технологические свойства, необходимо знание его теплофизических и массообменных свойств.

Большая активная поверхность семенной массы рапса обуславливает высокий коэффициент теплопроводности, находящийся в диапазоне от 0,214 до 0,292 Вт/м×°С, при начальной влажности от 7,5 до 37,5% соответственно [127].

Теплопроводность отдельного семени рапса в 3-5 раз превышает теплопроводность семенной массы. Исследованиями, проведёнными в МГУПП [60], определена зависимость коэффициента теплопроводности зерновой массы от её влажности. Эта зависимость имеет сложный характер. По достижении определённой влажности зерна, соответствующей области капиллярной влаги, с дальнейшим повышением влажности коэффициент теплопроводности уменьшается, в то время как до этого величина его с повышением влажности возрастала. При влажности в пределах 8-11% коэффициент теплопроводности возрастает. Дальнейший рост влажности приводит к снижению этого коэффициента.

Коэффициент температуропроводности семенной массы рапса при влажности 20% составляет $1,486 \times 10^{-7}$ – $1,633 \times 10^{-7}$ м²/с, что ниже коэффициента температуропроводности зерновой массы пшеницы при аналогичных условиях ($2,0 \times 10^{-7}$ м²/с). Причём начальная влажность семян рапса, в отличие от коэффициентов теплопроводности и теплоёмкости, существенно не влияет на коэффициент температуропроводности семенной массы [127].

Ещё одним важным показателем, оказывающим существенное влияние на изучение семян, как объекта сушки, является их теплоёмкость.

Удельную теплоёмкость влажных семян рапса с известным допущением можно рассчитать, как среднее значение от теплоёмкости абсолютно сухого

вещества семени и содержащейся в нём воды. Данная зависимость имеет следующий вид [83]:

$$C_3 = \frac{w}{100} C + \frac{100 - w}{100} C_c; \quad (1)$$

где: C_c – удельная теплоёмкость абсолютно сухого вещества семени;

C – удельная теплоёмкость воды;

w – влажность семян рапса.

Наличие минеральных и органических примесей в семенной массе рапса сильно влияет на её теплофизические свойства.

Теплоёмкость жира равна 2050 Дж/кг × К. Это в два раза выше, чем теплоёмкость углеводов, белков и клетчатки. В связи с тем, что содержание липидов в различных сортах и партиях семян рапса может существенно отличаться, значение теплоёмкости также будет сильно варьировать – от 2,0 – 3,2 кДж/кг × К [63, 127].

Наиболее сильное влияние на скорость перемещения влаги в семенах оказывает коэффициент диффузии влаги. Он характеризует влагоинерционные свойства материала, как объекта сушки.

Коэффициент диффузии зависит от различных показателей семян, таких как температура и влажность. Данная зависимость весьма сложная, так как характеризует одновременное испарение влаги из различных частей семени. Величина коэффициента для различных культур не одинакова. Это можно объяснить различием химического состава, а следовательно, и формой связи влаги с зерном [25].

Изучением коэффициента диффузии влаги в семенах рапса занимались немецкие учёные Йон Мирвелл [134, 135], Д. Каргер [124], Г. Флейшер [117], А. Маклаков [51].

По имеющимся данным коэффициент диффузии влаги у семян рапса составляет около $4,2 \times 10^{-10}$ м²/с [117]. Данное значение было определено при влажности семян 40% и температуре 20°C. Это фактически в два раза выше, чем у зерна пшеницы при аналогичных условиях [24].

Высокий коэффициент диффузии влаги у семян рапса предопределяет более интенсивные процессы тепловлагопереноса, происходящие в семенной массе данной культуры. Особенно важную роль данное свойство оказывает при изучении сушки семян в рециркуляционных зерносушилках, так как одной из технологических операций сушки рассматриваемым способом является тепловлагообмен между влажными и рециркулирующими семенами.

Скважистость семенной массы рапса зависит от однородности семян, его влажности, формы шероховатости поверхности, толщины слоя, наличия примесей и др.

Семенная масса рапса имеет относительно низкую скважистость. Она варьируется в диапазоне от 37 до 45%. Это обуславливает более высокое сопротивление воздушному потоку при продувании семенного слоя [70].

Напор воздушного потока при продувании семенной массы рапса ослабевает в среднем в 2,5 раза интенсивнее, чем в случае продувания зернового слоя пшеницы [28]. Этот факт необходимо учитывать при определении режимов работы вентиляторов.

Сыпучесть семенной массы определяет возможность её перемещения по поверхности, находящейся под углом к горизонту. Основной её характеристикой является угол естественного откоса. Он зависит от состояния поверхности, влажности, размера и формы семян, а также от содержания и характеристик примесей.

Угол естественного откоса семенной массы рапса варьируется в диапазоне от 9 до 25°, что является относительно низкой величиной и обуславливает необходимость проведения соответствующих технических и технологических мероприятий, предупреждающих высыпание семян из узлов производственного и аспирационного оборудования, бункеров, самотёков, коробов зерносушилок и т.д. По этой же причине не рекомендуется размещать партии семян рапса на открытых площадках без навеса.

Скорость витания семян рапса составляет от 5 до 9 м/с. Это в среднем на 20% ниже аналогичного показателя у зерна пшеницы [17].

Сушка рапса имеет определённые особенности, связанные с его размерами, аэродинамическим сопротивлением и скоростью витания. Из-за небольших размеров семян и их повышенной текучести сушилки особенно тщательно проверяют на отсутствие щелей в местах установки коробов и других стыков. Для предотвращения уноса семян уменьшают подачу сушильного агента и атмосферного воздуха в зоны сушки и охлаждения [72].

1.2 Физико-химические и биохимические изменения семян рапса при тепловой сушке

За последние пятнадцать лет интерес к производству рапса в России ощутимо увеличился. В восьмидесятых годах прошлого века валовой сбор рапса в СССР был менее 100 тыс. тонн [76]. Это было связано со следующими причинами:

- плохая зимостойкость возделываемых сортов озимого рапса, низкая продуктивность ярового рапса и сурепицы при малых дозах внесения удобрений и отсутствии эффективных средств защиты растений;
- высокое содержание у распространённых сортов вредной эруковой кислоты (до 52%), вырабатываемое из них при этом масло значительно уступало по качественным характеристикам подсолнечному;
- наличие в шротах большого количества глюкозинолатов (до 50 мг на 1 г шрота) резко снижало его кормовые достоинства;
- отставание с проведением научных исследований по селекции, семеноводству и технологии возделывания рапса, особенно ярового.

Последние шесть лет в стране наблюдается положительная тенденция в увеличении производства рапса. В 2022 году валовой сбор рапса в Российской Федерации, по данным Минсельхоза РФ, составил 2,5 млн. тонн [46]. Это связано с успешной селекцией этой культуры и созданием новых сортов с минимальным содержанием эруковой кислоты и глюкозинолатов. Отработана технология выращивания высокого урожая рапса, защиты его от вредителей.

Важнейшей задачей технологии сушки является разработка методов управления процессами, происходящими в самих семенах, с целью получения высококачественного продукта с регламентированными физико-химическими, структурно-механическими и органолептическими показателями.

Сушка семян рапса основана на современной теории сушки, при этом имеет свои особенности. Они заключаются в физико-механических, физико-химических и биохимических свойствах семян рапса, как объекта сушки.

Повсеместно используемая конвективно-кондуктивная тепловая сушка в зерносушилках различной конструкции подразумевает активное воздействие на биологическую систему семени, как живого организма. Снижение влажности семени в ходе сушки ведёт к изменению соотношения составных частей системы и, соответственно, оказывает комплексное воздействие на всю систему.

Тепловая сушка способствует изменениям в составе белкового, углеводного, липидного и ферментного комплексов. В результате теплового воздействия меняются физические, теплофизические и влагообменные свойства высушиваемых семян.

Данные изменения могут иметь либо положительные, либо отрицательные последствия. Необходимо обеспечить, чтобы в процессе сушки не возникло отрицательных необратимых изменений, снижающих качественные и количественные характеристики высушиваемых семян [83].

Семена рапса содержат от 35 до 45% липидов, в связи с чем, в них при повышенных температурах активно протекают процессы гидролиза, в результате которых качество масла ухудшается. Активность гидролитических процессов можно значительно замедлить, используя активное вентилирование атмосферным или искусственно охлаждённым воздухом.

По характеру изменения основных качественных показателей, семена рапса, как объект сушки, характеризуются повышенной активностью физиолого-биохимических процессов, являются нестойкими в хранении, предрасположены к быстрой порче даже при влажности близкой к критической.

Установлено, что быстрое изменение влажности семян рапса вызывает растрескивание семенных оболочек, что в дальнейшем негативно влияет на его стабильность в процессе хранения, а также на товарные качества семян [67]. Это необходимо учитывать при выборе режимов сушки и условий хранения. Необходимо минимизировать резкие перепады влажности семян в процессе сушки и хранения. В климатических зонах регионов России, активно выращивающих рапс, относительная влажность атмосферного воздуха в заготовительный период варьирует в диапазоне от 40 до 100%, температура атмосферного воздуха меняется от -5 до +30°C, в связи с чем равновесная влажность рапса также варьирует от 6,5 до 11%.

Экспериментально установлено, что интенсивность сорбции и десорбции парообразной влаги семенами рапса особенно высока в первые 24 часа хранения после сушки. По истечении 10 суток сорбционная активность незначительна [66]. Это свойство необходимо учитывать при размещении семян рапса на хранение.

Специфические свойства семян рапса, такие как распад тиогликозидов и триглицеридов, прогоркание масла, налипание масляной пыли на стенки зерносушильных камер, более низкие температуры самовоспламенения (в сравнении с зерновыми) и т.д. обуславливают требование к осуществлению сушки семян рапса при более мягких режимах [66].

По имеющимся данным, нагрев рапса до температуры 60° С не приводит к снижению товарных качеств семян и производимого из него масла. Питательные характеристики и токсичность не изменяются, остаточное содержание бензапирена не обнаружено. Однако следует уделять повышенное внимание контролю конечной влажности семян на выходе из сушилки, особенно при дальнейшем использовании семян в качестве сырья для получения растительного масла, так как при снижении влажности семян ниже 7%, резко снижается выход масла при отжиме.

По данным, приведённым в некоторых источниках [33, 90], температура агента сушки, в случае сушки семян рапса в шахтных прямоточных зерносушилках должна составлять от 45 до 50°C. При этом температура нагрева самих семян не

должна быть больше 45°C. Однако по результатам ряда исследований зависимостей качественных характеристик семян рапса от температуры их нагрева установили, что нагрев семян до температуры 60°C не оказывает существенного влияния на основные качественные характеристики высушиваемых семян – семенные характеристики (всхожесть и энергия прорастания) снижаются незначительно, кислотное и перекисное числа, практически не меняются. В связи с чем определили, что сушку семян рапса промышленного назначения допустимо осуществлять при максимальной температуре нагрева семян не выше 60°C. Результаты, полученные в ходе исследований, подтверждаются соответствующими данными, представленными в трудах отечественных [16, 57], американских [120], канадских [108], индийских [132], бразильских [118] и польских [131] учёных.

Сотрудниками Московского государственного университета пищевых производств было проведено исследование влияния температуры нагрева семян рапса на его качественные характеристики [57]. По результатам данного исследования установлено, что нагрев семян рапса до температуры 80°C приводит к снижению кислотного числа на 1,5 мг КОН/г (с 4 до 2,5 мг КОН/г). Однако в ходе дальнейшего повышения температуры нагрева семян кислотное число начинает возрастать. При нагреве семян до температуры 100°C и выше оно достигает и превышает значения в 4,00 мг КОН/г.

Схожие зависимости были выявлены при измерении концентрации хлорофиллов в маслах, полученных из данных семян. При этом нагрев семян рапса выше 60°C однозначно ведёт к снижению семенных характеристик семян и повышению содержания фосфолипидов - при нагреве семян с 50° до 80°C наблюдается увеличение содержания с 0,9 до 1,5% [57].

В ходе проведенных исследований также было установлено, что ежедневное увеличение кислотного числа масла, получаемого из семян рапса влажностью около 20-25%, в случае его хранения без сушки, составляет от 0,3 до 0,9 мг КОН/1г. Температура семян была ок. 20°C. Схожие данные представлены и в других источниках [33, 90]. Полученные результаты напрямую свидетельствует о

необходимости осуществления скорейшей сушки рапса со снижением начальной влажности семян до установленных значений в 7%.

1.3 Особенности сушки семян рапса и способы повышения её эффективности

В настоящее время более 20 российских и зарубежных предприятий и фирм предлагают на отечественном рынке новую зерносушильную технику, зачастую не приспособленную для сушки рапса с высокой начальной влажностью.

Основным критерием, определяющим эффективность работы зерносушилок, является коэффициент их полезного действия. При этом поставщики зерносушильной техники в ряде случаев указывают такие значения, при которых расчетные затраты теплоэнергии, необходимой на испарение влаги, оказываются ниже теоретических. Это обстоятельство заставляет с особой осторожностью подходить к выбору зерносушильной техники при её покупке с целью дальнейшей длительной эксплуатации [93].

Сушка семян рапса – важнейший процесс послеуборочной обработки, обеспечивающий полную сохранность их качества. Вместе с тем, необходимо иметь в виду, что процесс тепловой сушки является энергоемким процессом.

В течение последних нескольких лет энергоресурсы в мире в целом и в России в частности существенно росли в цене. При этом, по имеющимся прогнозам, в ближайшей и среднесрочной перспективе ожидается их дальнейшее удорожание. Наиболее существенно за последние годы подорожал природный газ – фактически в 2 раза, также за аналогичный период на 20-30% увеличились тарифы на электроэнергию. При столь существенном росте стоимости энергоносителей доля энергозатрат в себестоимости продукции растениеводства увеличилась до 20-25%. При этом доля затрат на энергоносители в себестоимости сушки зерна достигает 80% [93]. Данные затраты непосредственно влияют на конечную стоимость товарных семян и продуктов их переработки. В связи с этим разработка новых энергосберегающих технологий и оборудования,

обеспечивающих наиболее рациональное использование энергоносителей, имеет важное значение для сокращения себестоимости производства семян рапса и повышения конкурентоспособности готовой продукции.

К современной технике, предназначенной для сушки семян рапса, предъявляется комплекс специальных требований: сушка должна обеспечивать максимальное сохранение качественных показателей семян, конструктивные элементы зерносушилки должны предусматривать равномерное распределение теплоносителя по слою семян, контроль температуры, влажности семян и сушильного агента в процессе сушки должен обеспечиваться в автоматическом режиме во избежание выхода режимов сушки за пределы заданных значений [5].

Устройство зерносушилки должно предотвращать механические повреждения семян и унос (выдувание) семян сушильным агентом. Зерносушильная установка должна быть экономичной с точки зрения расхода материалов на её создание и энергоносителей в ходе её последующей эксплуатации [5].

Интеграция зерносушилок в поточные линии формирует требование по возможности сушки семян с разной начальной влажностью. При обеспечении выполнения данного условия партии поступающих семян будет возможно формировать не исходя из их начальной влажности, а по сортовым и иным признакам, характеризующим их производственные качества. Это требование особенно актуально на фоне преобладающего способа прямого комбайнирования семян рапса при его уборке, в результате чего семена рапса на элеваторы зачастую поступают с неравномерной и высокой начальной влажностью [28].

Сушилки должны иметь возможность сушки семян рапса любой начальной влажности до значений, позволяющих обеспечить их размещение на хранение, за один пропуск через зерносушилку. Повторная сушка семян значительно увеличивает трудоёмкость, снижает коэффициент полезного использования зерносушилок и приводит к дополнительным затратам на погрузочно-разгрузочные операции [35]. Также сушилки должны позволять высушивать семена без предварительной их очистки, что позволит получать отходы

механической обработки семян в сухом виде для облегчения его дальнейшей вторичной переработки, либо утилизации.

Зерносушилки должны обеспечивать эффективное охлаждение семян до требований, соответствующих ГОСТ 28293-89 (не выше 10°C от температуры атмосферного воздуха).

Зерносушилки должны обеспечивать соблюдение современных требований по защите окружающей среды, обеспечивать надлежащую очистку отработавшего сушильного агента и охлаждающего воздуха от взвешенных частиц до требуемых концентраций.

Зерносушилки должны обеспечивать остаточное содержание продуктов сгорания топлива в семенах на допустимом уровне.

Зерносушилки должны обеспечивать в требуемых ситуациях осуществление иных технологических мероприятий: очистку от легких примесей, охлаждение семян при закладке на хранение или нагрев при подготовке к последующей переработке, либо в целях термического обеззараживания от вредителей [5].

С целью повышения производительности труда и уровня контроля режимных параметров работы оборудования, современные зерносушилки должны быть оснащены автоматизированными системами управления сушильным процессом. Высокая производительность в сочетании с большой скоростью протекания процесса сушки чрезвычайно затрудняют его ведение при ручном управлении. Объем и средства автоматизации должны быть экономически обоснованы в связи с требованиями снижения капитальных и эксплуатационных затрат [77].

В шахтных прямоточных сушилках в связи с низкой воздухопроницаемостью плотного слоя семян рапса, пониженными скоростями его псевдоожижения и витания семян, неравномерностью движения семян по сечению шахт, имеет место большая неравномерность их нагрева и сушки по толщине продуваемого слоя, а также вынос семян из отводящих коробов шахт зерносушилки. Для исключения выноса зерен из шахты необходимо сократить

подачу сушильного агента и охлаждающего воздуха на 25-30%. Также во избежание возгорания необходимо осуществлять контроль содержания сорной примеси в семенах, поступающих на сушку.

Рециркуляционные зерносушилки, по сравнению с прямоточными, обеспечивают возможность одновременной сушки семян различной начальной влажности за один пропуск и имеют более высокие технико-экономические показатели, а также обеспечивают удаление легкой фракции в процессе сушки.

Ведутся исследования, на основании которых опубликованы соответствующие работы по изучению возможности совершенствования сушки семян рапса за счёт применения СВЧ [12, 56, 63, 133] и электромагнитного излучения [21]. Данные работы являются потенциально перспективными, однако в отличие от технологии рециркуляционной сушки семян, в настоящее время не могут обеспечить сушку промышленных объёмов семян рапса при конкурентоспособном уровне капитальных и эксплуатационных затрат.

Опубликован ряд работ по совершенствованию сушки семян рапса за счёт использования систем активного вентилирования [52]. Основной принцип данного способа заключается в том, что в зону активного вентилирования подаётся нагретый атмосферный воздух. В качестве основного недостатка данного способа сушки можно отметить его низкую скорость и, как следствие, невозможность снижения влажности рапса на 10-20% в приемлемые сроки. В сложившихся условиях, при которых рапс, поступающий на предприятия, имеет высокую начальную влажность (см. таблицу 4), а также учитывая нехватку современных зерносушилок и сокращение периода уборки урожая, представленный способ сушки не позволит обеспечить своевременную сушку всего объёма заготавливаемых семян в приемлемые сроки.

В текущее время сушка семян рапса в России в основном происходит на шахтных прямоточных, колонковых и башенных зерносушилках. Технологии, по которым осуществляется сушка семян на зерносушилках рассматриваемой конструкции, как правило, предусматривают однократный пропуск семян через установку, что существенно ограничивает снижение начальной влажности семян

до установленных значений. За один пропуск, как правило, снижение влажности составляет 4-7%.

Таблица 4 – Качественные характеристики семян рапса, поступивших на Набережночелнинский элеватор в период заготовки 2013-2015 годов

Год урожая	Средняя влажность, %	Среднее содержание сорной примеси, %	Среднее содержание масличной примеси, %
2013	22,5	16,5	3,9
2014	16,6	8,21	3,85
2015	24,5	10,08	4,9

Барабанные, карусельные, конвейерные и камерные зерносушилки не получили широкого распространения на крупных хлебоприёмных предприятиях для сушки семян масличных культур вследствие невозможности сушки больших партий семян в короткие сроки без потери в качестве семян.

На хлебоприёмных предприятиях можно встретить различные технологические схемы рециркуляционных зерносушилок. Их отличия заключаются в параметрах смешивания свежих и рециркулирующих семян, составе технологических операций и их последовательности [83].

Немецкие «Buhler», «Petkus», «Stela», французская «CFCAI«Law», датская «Cimbria», итальянский «Mulmix», американская «GrainHandler», шведский «Tornum», отечественные «Мельинвест» и «Воронежсельмаш» производят шахтные прямоточные сушилки. Немецкая «Riela», аргентинская «Mega» поставляют на рынок колонковые зерносушилки. Американские «GSI» и «Mahtews» специализируются на производстве башенных и колонковых зерносушилок. В настоящий момент только украинская «KMZ» и отечественная «ОКБ по теплогенераторам» поставляют на рынок высокопроизводительные рециркуляционные зерносушилки, являющиеся модернизированными аналогами зерносушилок типа «Целинная».

Из таблицы 4 видно, что подавляющая масса семян рапса, поступающего на рассматриваемый элеватор, имеет влажность более 20%! При традиционных способах конвективной сушки, если применять экономически выгодные температурные режимы, не удаётся снизить влажность семян за один пропуск через сушильную камеру более чем на 6-8%. Дело в том, что период постоянной скорости сушки, свойственный большинству капиллярно-пористых тел и происходящий при постоянной температуре материала, при сушке семян отсутствует [25]. Удаление влаги из семян сопровождается непрерывным ростом их температуры - семена быстро нагреваются до предельной температуры, при этом влага из них в большом объёме испариться не успевает. Происходит это вследствие того, что семена рапса являются влагоинерционными [29].

Сушку семян рапса с высокой начальной влажностью до значений, при которых они могут размещаться на длительное хранение, возможно осуществить только комбинированными способами. При повышении температуры семян до предельно допустимой, подвод теплоносителя должен прекратиться. Поэтапная смена процессов нагрева и охлаждения семян в ходе сушки называется осциллирующим режимом. Применение данных режимов получило широкое распространение на постсоветском пространстве и нашло отражение в различных схемах рециркуляционных зерносушилок [50].

Рециркуляционный способ сушки семян, предложенный в своё время институтом тепло- и массообмена АН БССР и воплощённый в сушилках типа «Целинная» и шахтных рециркуляционных зерносушилках, обеспечил решение задачи по сушке семян с высокой начальной влажностью до заданных значений за один пропуск через сушилку без ощутимого снижения качественных показателей высушиваемых семян.

Внедрение рециркуляционных зерносушилок позволило отказаться от формирования партий поступающих семян в зависимости от их начальной влажности.

В ходе длительного периода работы рециркуляционных зерносушилок на элеваторах стран СНГ аккумулирован большой объём данных по изучению

процессов сушки различных видов зерна на рассматриваемых зерносушилках. При этом исследовательских данных по сушке семян рапса на рециркуляционных зерносушилках практически нет.

Данное обстоятельство обусловлено тем, что рапс в значительных объёмах в России начали производить не так давно – повсеместное распространение данная культура в России получила лишь в начале 2010 гг. В тех же странах, где семена рапса в промышленных масштабах производят длительное время, рециркуляционные зерносушилки не нашли широкого применения в виду присущих им особенностей ведения сельскохозяйственной деятельности.

Рециркуляционные зерносушилки различаются по многим технологическим и конструктивным признакам. Вместе с тем, общим признаком для них является циклический характер движения зерна и протекания процесса сушки. При установившемся режиме работы сушилки часть выпускаемых из неё просушенных семян возвращается на смешение со свежими (сырыми) семенами. Полученная смесь семян высушивается при непрерывном поступлении сырых семян в размере производительности сушилки, а соответствующая ему часть просушенных семян непрерывно выпускается из сушилки. Пропорция (кратность) смешения сырых и просушенных (рециркулирующих) семян зависит от начальной влажности семян и технологической схемы зерносушилки. Изменяя пропорцию смешения сырых и рециркулирующих семян, можно обеспечить требуемую влажность семенной смеси вне зависимости от колебаний влажности поступающих на сушку семян. Если свежие семена имеют высокую влажность, пропорцию их смешения с рециркулирующими семенами необходимо сократить. Во всех случаях в сушильную камеру рециркуляционной зерносушилки поступает нагретая смесь семян [19].

Схема рециркуляционной зерносушилки с предварительным нагревом семян типа «Целинная» представлена на рисунке 2.

По представленной схеме осуществляется кратковременный нагрев смеси сырых и рециркулирующих семян высокотемпературным агентом сушки. Данный процесс осуществляется в камере предварительного нагрева семян. Далее семена

рапса загружаются в тепловлагообменник. В данной секции осуществляется выравнивание температуры и влажности между рециркулирующими и влажными семенами. Затем семена разделяются на два потока и поступают в рециркуляционную шахту и шахту охлаждения. В них происходит продувание семян атмосферным воздухом, за счёт чего осуществляется их сушка и охлаждение. Распределение охлаждающего воздуха по толщине семенного слоя происходит при помощи воздухораспределительных коробов. Сухие охлаждённые семена после шахты охлаждения направляются далее (на размещение на хранение или на иные технологические операции). Семена из рециркуляционной шахты – на смешение со свежими семенами, направляемыми на сушку [83].

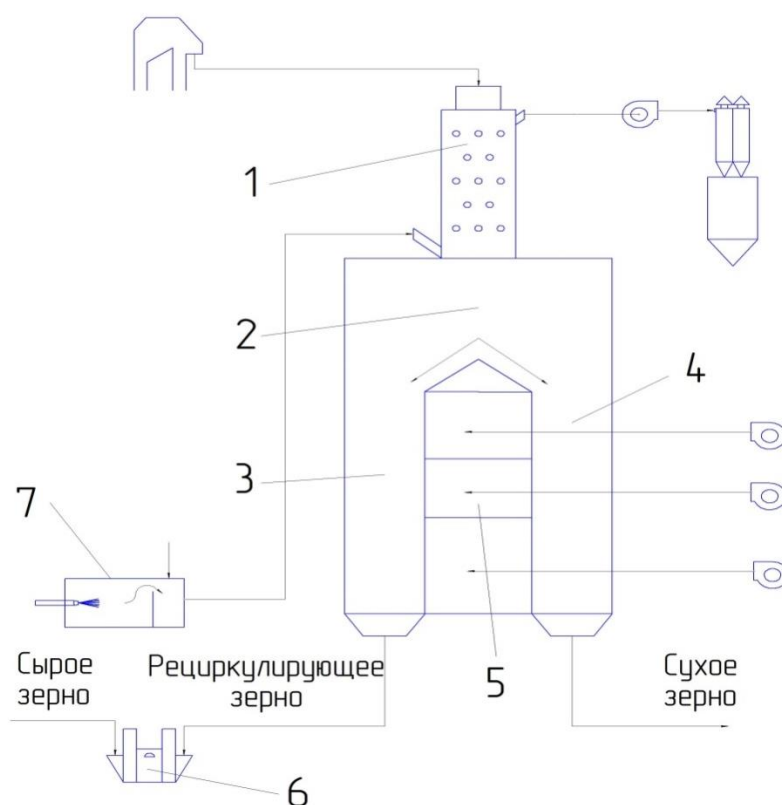


Рисунок 2 - Схема рециркуляционной зерносушилки с предварительным нагревом семян в заторможенно-падающем слое типа «Целинная». 1 – камера предварительного нагрева семян; 2 – тепловлагообменник; 3 – рециркуляционная шахта; 4 – шахта охлаждения семян; 5 – напорно-распределительная камера, 6 – рециркуляционная нория, 7 – топка.

Большое влияние на эффективность сушки семян оказывает термовлагопроводность. Это процесс, характеризующий перемещение влаги по направлению потока тепла. При охлаждении материала направления потоков влагопроводности и термовлагопроводности совпадают. Однако при нагреве семян термовлагопроводность препятствует удалению из них влаги. Также следует отметить, что промежуточное охлаждение рециркулирующих семян приводит к снижению коэффициента диффузии влаги и снижению скорости испарения влаги. Длительность процесса сушки увеличивается. К тому же, время выравнивания температуры внутри семени, по данным ряда исследований, составляет от 1 до 20 с, тогда как продолжительность промежуточного охлаждения семян в рециркуляционной шахте длится от 2 до 30 минут. Семена «переохлаждаются», коэффициент диффузии влаги снижается, поток влаги замедляется. Иными словами, семена в процессе сушки быстро охлаждаются и медленно отдают влагу [105]. Следовательно, интенсификацию процесса сушки семян рапса необходимо осуществлять за счёт увеличения коэффициента диффузии, который, как известно, находится в прямой зависимости от температуры нагрева семян (у зерна пшеницы, при повышении температуры зерна с 20 до 55°C возрастает с $0,25 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ до $0,79 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ [25]).

Опыт эксплуатации рециркуляционных зерносушилок на других культурах показывает, что наряду с указанными достоинствами, зерносушилки, работающие по принципу рециркуляции части просушенного зерна, имеют также и определённые недостатки.

Так, промежуточное охлаждение рециркулирующих семян приводит к потерям тепла, а снижение температуры семян в зоне промежуточного охлаждения замедляет скорость испарения из него влаги. Также эффективность перераспределения влаги в процессе контактного влагообмена снижается вследствие того, что более влажные семена в смеси имеют в начале процесса меньшую температуру [60].

Возможно добиться дополнительного повышения эффективности работы рециркуляционных зерносушилок за счёт просушивания семян с высокой

начальной влажностью до заданных значений за один пропуск через зерносушилку, а также повышения производительности в среднем на 25% при аналогичных затратах на энергоносители. Отечественными учёными в 70-х годах прошлого века было предложено усовершенствование режима рециркуляционной сушки зерна [60, 105].

Данный способ предусматривает подачу теплоносителя в напорно-распределительную камеру. В этом случае сушка семян осуществляется при квазиизотермических режимах. Особенностью данных режимов является условное равенство температур в начале и конце процесса сушки. Вначале сушки температура семян снижается, а затем начинает возрастать. Сушка семян осуществляется как за счёт теплоэнергии, полученной семенами от агента сушки, так и за счёт расходования энергии, накопленной семенами в ходе предварительного нагрева [82]. При этом интенсивность испарения влаги в первые моменты сушки настолько велика, что приводит к снижению температуры семян.

Технологическая схема соответствующей зерносушильной установки представлена на рисунке 3.

По представленной схеме сырые семена смешиваются с просушенными. Далее смесь семян нагревается путём их продувания в заторможенно-подающем слое высокотемпературным агентом сушки. Затем осуществляется тепловлагообмен между сырыми и рециркулирующими семенами. Далее осуществляется сушка рециркулирующих семян при квазиизотермических режимах. Оставшаяся часть семян направляется на охлаждение.

Отличительными особенностями рассматриваемой технологии сушки, в сравнении с прямоточной сушкой, являются:

- применение предварительного нагрева смеси свежих и рециркулирующих семян;
- перераспределение влаги в процессе контактного влагообмена;
- высушивание смеси семян происходит при температуре близкой к предельно допустимой температуре нагрева, что повышает эффективность

влажнопереноса и сокращает продолжительность сушки за счёт увеличения коэффициента диффузии влаги внутри семени.

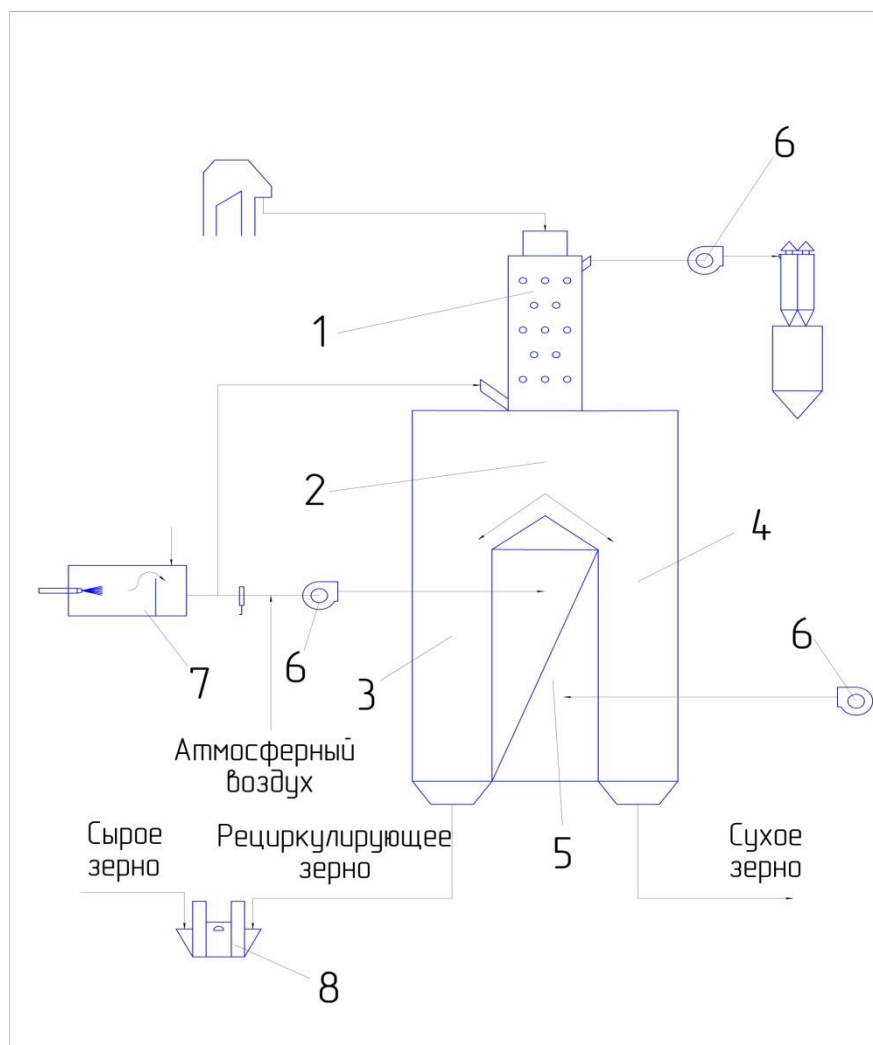


Рисунок 3 - Схема рециркуляционной зерносушилки, работающей по принципу сушки семян при квазиизотермических режимах: 1 – камера предварительного нагрева семян; 2 – бункер-тепловлагообменник; 3 – рециркуляционная шахта; 4 – шахта охлаждения семян; 5 – напорно-распределительная камера, 6 – вентиляторы, 7 – топка, 8 – рециркуляционная норка.

Существуют определённые особенности, которые необходимо иметь ввиду при работе по рассматриваемой схеме сушки семян. Одна из них – необходимость постоянно осуществлять контроль температурных режимов семян в зоне квазиизотермической сушки и не допускать их нагрева до температуры выше критической (60°C). Требуемую температуру семян необходимо поддерживать

путём регулировки температуры и расхода агента сушки, подаваемого в верхнюю зону напорно-распределительной камеры.

Рассматриваемая технология особенно эффективна при сушке семян высоковлажного рапса, так как позволяет просушивать семена рапса с начальной влажностью более 30% за один пропуск через зерносушилку.

1.4 Заключение по обзору литературы

Достижения селекции позволили создать сорта рапса с минимальным содержанием эруковой кислоты. Данное обстоятельство способствовало значительному увеличению объёмов выращиваемого рапса на территории Российской Федерации.

Проведенные исследования по использованию продуктов переработки семян рапса как в пищевых целях, так и в качестве кормовых компонентов доказали их очевидное преимущество перед аналогами и предопределили потенциал дальнейшего роста интереса к данной культуре.

Зачастую начальная влажность семян рапса, поступающих на элеваторы России, превышает 20%, а в отдельных случаях - 30%. Данный факт обусловлен методом прямого комбайнирования, применяемым при уборке данной культуры.

Сушка семян рапса основана на современной теории сушки, при этом имеет свои особенности. Они заключаются в физико-механических, физико-химических и биохимических свойствах семян рапса, как объекта сушки.

Семена рапса содержат до 45% липидов. В связи с чем, как и другие масличные культуры, они имеют достаточно низкую критическую влажность, равную 7%.

Семенная масса рапса характеризуется протеканием гидролитических процессов с образованием свободных жирных кислот при участии фермента липазы на начальных этапах сушки. Повышение температуры нагрева семян

вызывает образование комплексов белков со свободными жирными кислотами в результате гидролиза триглицеридов.

Определили, что процессы нагрева и охлаждения, а также испарения влаги из семян рапса протекают интенсивнее в сравнении с аналогичными процессами, происходящими у зерновых культур. Это объясняется высокими коэффициентами диффузии (при максимальной влажности семян 40% и температуре 20°C равен $4,2 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$), теплопроводности (0,214-0,292 Вт/м×°C), а также развитой активной поверхностью семенной массы рапса (1700-3400 м²/м³).

Широко распространённая технология прямоточной сушки не позволяет снизить влажность семян рапса более чем на 6-7% за один цикл сушки. Рециркуляционная сушка с предварительным нагревом семян обеспечивает более высокие технико-экономические показатели, однако также имеет ограничения по снижению влажности и обладает потенциалом для дальнейшего повышения эффективности теплофизических процессов.

Предложено рассмотреть усовершенствованный способ рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах. Принципиальным отличием данной технологии является то, что в напорно-распределительную шахту подаётся теплоноситель. Это способствует значительному увеличению количества испаряемой влаги за счёт повышения показателей термовлагопроводности и диффузии, а также за счёт расходования энергии, накопленной семенами в процессе нагрева.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ И ОХЛАЖДЕНИЯ СЕМЯН РАПСА

По результатам изучения современного состояния технологии и техники сушки семян рапса, а также необходимости совершенствования способов сушки рапса возникает потребность в изучении кинетики сушки семян рапса при различных режимах и в изучении влияния данных режимов на качественные показатели семян.

Экспериментальные исследования процессов и выбор режимов сушки семян рапса проводили в лаборатории кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» Московского государственного университета пищевых производств (ныне – Росбиотех) и в производственно-технологической лаборатории ОАО «Набережночелнинский элеватор». В ходе экспериментальных исследований осуществляли анализ влияния режимов сушки и охлаждения семян рапса на кинетику процессов, в увязке с оценкой их влияния на качественные характеристики просушенных семян. Схема проведения исследований представлена на рисунке 4.

По представленной схеме проведенные исследования были разделены на три этапа. На первом этапе выполнили теоретические исследования, состоявшие из анализа научно-технической литературы по вопросам состояния сушки семян рапса, а также формулирования направлений исследований, целей и научных задач.

На втором этапе осуществляли непосредственно экспериментальные исследования по изучению влияния режимов сушки и охлаждения семян рапса на кинетику протекания процессов, а также на качественные показатели высушиваемых семян.

На третьем заключительном этапе осуществляли практическую реализацию результатов исследований, включающую апробацию разработанной технологии в производственных условиях, анализ технико-экономической эффективности и разработку технических условий.



Рисунок 4 – Структурная схема проведения исследований.

Проведенные исследования были основаны на изучении системного взаимодействия сушильного агента и объектов сушки различной влажности, при котором начальные характеристики одного элемента системы непосредственным образом влияют на характеристики другого элемента в течение протекания процесса. При этом характеристики первого элемента также изменяются. Данные зависимости отражены в виде математических уравнений, представленных на соответствующих графиках, а также сформулированы в виде математической модели в разделе 2.2.5.

2.1 Объекты и методы исследований

Исследования проводили на семенах рапса ярового сорта «Ратник» с содержанием эруковой кислоты не более 0,5% от суммы жирных кислот. Масса 1000 семян от 3,4 до 4,7 г. Содержание жира в семенах от 42,1 до 47,3%. Регион производства исследуемых партий семян – Республика Татарстан. Характеристики семян рапса определяли в соответствии с методами, предусмотренными ГОСТ 10583-76 «Рапс для промышленной переработки».

В теории сушки режимы, при которых температура зерна в конце процесса сушки сопоставима с первоначальными значениями, называют квазиизотермическими. При данных режимах сушки тепло, подводимое агентом сушки, расходуется только на испарение влаги.

Экспериментальные исследования были выполнены на лабораторной установке, моделирующей отдельные этапы технологического процесса сушки семян при осциллирующих и квазиизотермических режимах. Функциональная схема лабораторной установки представлена на рисунке 5, общий вид установки представлен на рисунке 6.

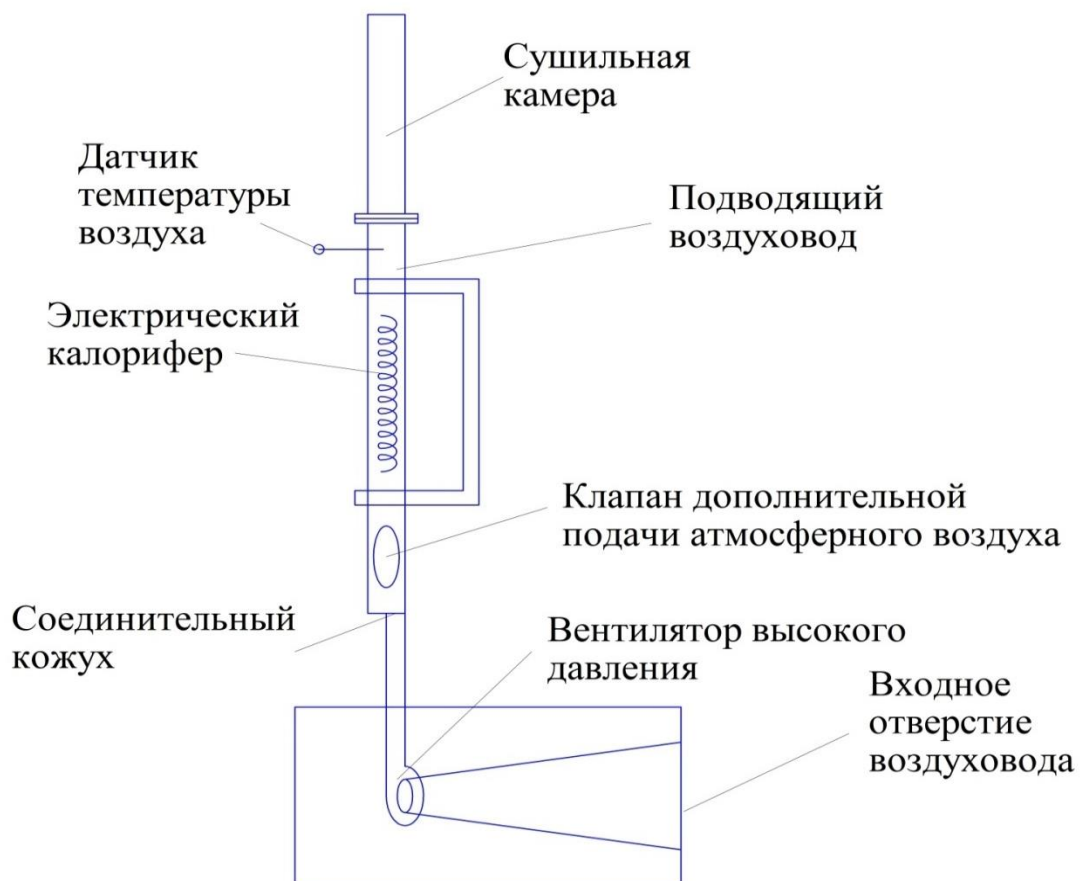


Рисунок 5 - Функциональная схема лабораторной установки моделирования процессов сушки семян.

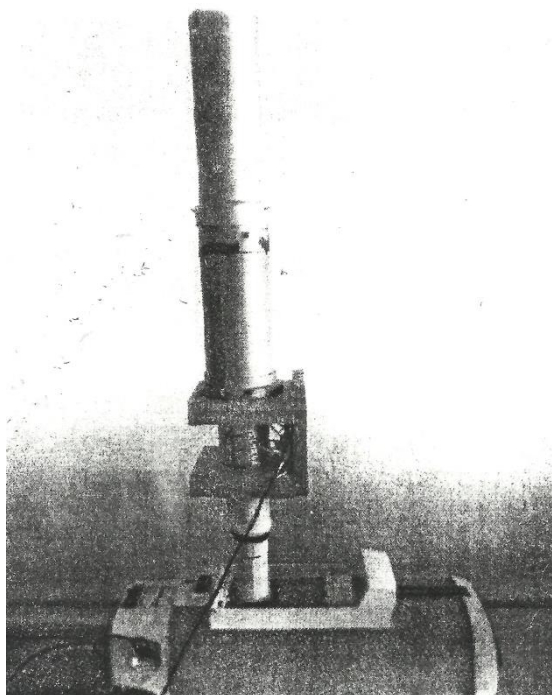


Рисунок 6 - Общий вид лабораторной установки.

Лабораторная установка состоит электрического калорифера, вентилятора с задвижкой для регулировки количества подаваемого сушильного агента, сушильной камеры и измерительных приборов.

Сушильная камера представляет собой изготовленный из стали цилиндр диаметром 80 мм и высотой 250 мм. Днище камеры изготовлено из металлочеканного сита с квадратными отверстиями 1,2 мм.

Сушильная камера соединяется с подводящим воздуховодом, выполненным из стали, той же марки, что и камера. Герметичность соединения обеспечена при помощи нахлёста стенок камеры на стенки воздуховода. В качестве уплотнителя применена резиновая прокладка соответствующего диаметра толщиной 1 мм.

При помощи реостата, подключенного к электродвигателю вентилятора высокого давления, возможно осуществлять регулировку режима работы вентилятора, и соответственно – скорости подаваемого в сушильную камеру воздуха в диапазоне от 0,2 до 6,5 м/с.

Температура агента сушки измеряется при помощи датчика температуры маятникового типа RPTM 1.

В ходе лабораторных исследований просушили около 450 кг семян рапса при различных режимах сушки.

По имеющимся данным наиболее сильное снижение влажности при относительно невысоком росте температуры семян в процессе сушки наблюдается при продувании плотного семенного слоя сушильным агентом с невысокой скоростью [60]. При более интенсивных способах подвода воздуха и агента сушки (в разрыхлённом, псевдоожиженном и взвешенном слоях) скорость испарения влаги из семян снижается за счёт того, что температура семян быстро достигает предельно допустимого значения. Кроме того, при этом резко возрастает аэродинамическое сопротивление семенного слоя, а следовательно, и энергетические затраты [60]. В связи с этим скорость сушильного агента и охлаждающего воздуха поддерживали на уровне не более 0,6 м/с, что соответствует показателям действующих шахтных зерносушилок типа ДСП.

В связи с отсутствием методических рекомендаций по сушке семян рапса на рециркуляционных зерносушилках, максимальную температуру нагрева семян установили на уровне 60°C. Данное значение было выбрано по итогам опытов по определению всхожести семян рапса при различных температурах нагрева. Также близкие к этим значения представлены в различных российских и зарубежных источниках [16, 57, 108, 120, 131, 132].

Температура сушильного агента при проведении лабораторных испытаний составила 80-120°C [25, 60, 67, 105]. Заданный диапазон установили исходя из специфики сушки семян масличных культур и опыта эксплуатации рециркуляционных зерносушилок с дополнительным подводом тепла в верхнюю зону сушки. Нагрев сушильного агента до требуемых значений осуществляли при помощи электрического калорифера. Продолжительность сушки и значения начальной влажности устанавливали на основе данных, представленных в работах по сушке рапса [5, 120, 129, 132], учитывая конструктивные особенности лабораторной установки. Начальная влажность семян рапса в различных опытах составляла от 9,5 до 25%.

Толщину семенного слоя приняли равной 100 мм, что соответствует толщине семенного слоя в шахтных зерносушилках типа «Целинная».

Температуру охлаждающего воздуха изменяли в диапазоне 20-30°C, относительная влажность составила около 60%.

С целью получения данных, характеризующих влияние различных факторов на кинетику сушки семян рапса, опыты проводили как с однородными по влажности семенами рапса, так и со смесью нагретых сырых и сухих семян.

Увлажнение семян осуществляли в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ Р 8.581-2001.

Отобранную пробу семян для проведения лабораторных исследований очищали от сорной и масличной примеси, полностью удаляли битые и дроблёные семена. Измерение начальной влажности осуществляли на СЭШ-3М в соответствии с ГОСТ 13586.5-2015.

Требуемое количество воды рассчитывали по формуле:

$$M_{\text{в}} = \frac{M_{\text{н}}(W_{\text{тр}} - W_{\text{н}})}{100 - W_{\text{тр}}}, \quad (2)$$

где: $M_{\text{н}}$ – начальная масса пробы семян, г;

$W_{\text{тр}}$ – требуемая влажность, %;

$W_{\text{н}}$ – начальная влажность, %.

Пробу семян массой $M_{\text{н}}$ помещали в стеклянный сосуд на 2/3 объёма, затем добавляли требуемое количество воды и тщательно перемешивали встряхиванием.

Герметично закрытые сосуды помещали в холодильник и периодически их перемешивали путём их встряхивания. В первые сутки перемешивание осуществляли не менее шести раз, в остальное время – не менее трёх раз в сутки. Пробы хранили при температуре 6°C в течение 96 часов.

Непосредственно перед проведением опытов пробы семян выдерживали при комнатной температуре не менее 8 часов.

Первоначально, при помощи литровой пурки, в соответствии с ГОСТ 10840-2017, определяли натуру увлажнённого рапса. Далее, по формуле 3, устанавливали необходимое количество семян, соответствующее толщине семенного слоя 100 мм.

$$m = \pi \times R^2 \times H \times N \times 1000, \quad (3)$$

где: m – масса семян, необходимая для создания семенного слоя 100 мм, г;

R – радиус сечения цилиндра сушильной камеры, м;

H – высота установленного семенного слоя, м;

N – натура семян рапса, г/л.

Далее пробу рапса с массой равной $2m$, определённой по формуле 3, взвешивали на лабораторных весах и засыпали в сушильную камеру. В пробу семян помещали термометр, после чего, осуществляли запуск установки. Предварительный нагрев семян осуществляли при помощи сушильного агента температурой 120°C и скоростью от 2,5 до 5 м/с в псевдоожиженном слое. При достижении рапсом предельно-допустимой температуры нагрева, равной 60°C, установку выключали, семена пересыпали в деревянный буюкс. Часть семян массой, определённой по формуле 3, засыпали обратно в сушильную камеру, оставшуюся

часть использовали для определения влажности нагретых семян стандартным и экспресс методами в соответствии с ГОСТ 8.434-81 и ГОСТ 13586.5-2015. Сразу после загрузки первой части семян в сушильную камеру, осуществляли повторный запуск установки. Сушка происходила при заданной температуре агента сушки 80-120°C и скорости сушильного агента 0,2-0,6 м/с. По истечении заданного времени установку вновь отключали, высушиваемые семена пересыпали в деревянный буюкс. Далее осуществляли определение температуры и влажности семян.

Продолжительность сушки выбрали на основании литературных данных, определяющих продолжительность нахождения семян в различных зонах зерносушильных установок, используемых для сушки предварительно нагретых семян [38, 83]. В соответствии с данными источников, максимальная продолжительность сушки равна 26 минутам.

Конечный результат каждого эксперимента определяли как среднее арифметическое из значений, полученных в ходе трёх опытов, проводимых при одинаковых режимных параметрах, путем наложения опытных данных, приведенных в приложении Г.

Анализ литературных данных позволил произвести предварительную оценку критериев, влияющих на кинетику сушки семян и изменение их качественных показателей [16, 57, 66, 67, 83, 105, 108, 118, 120, 131, 132]. По результатам анализа была сформирована следующая последовательность: 1) температура нагрева семян; 2) температура и влажность семян после сушки; 3) начальная влажность и температура семян; 4) температура и влажность смеси свежих и рециркулирующих семян; 5) температура и влажность рециркулирующих семян.

В соответствии с целью исследования, важной задачей являлось определение влияния каждого из наиболее существенных факторов на кинетику сушки и качество высушиваемых семян рапса в условиях их совокупности и тесной взаимосвязи с учетом специфики рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах.

В соответствии с поставленной целью исследований основными задачами организации процесса сушки семян являются сокращение затрат на организацию процесса сушки, в частности расхода топлива и сохранение (или улучшение) основных качественных показателей.

Основным целевым назначением высушиваемых семян является их промышленная переработка путём отжима из них качественного растительного масла для последующего его использования в продуктах питания и кормах для сельскохозяйственных животных и птицы. В связи с этим за основные качественные показатели высушиваемых семян приняли кислотное и перекисное числа масла, отжимаемого из высушиваемых семян.

Также в ходе проведения исследований определяли всхожесть и энергию прорастания просушенных семян. Это обусловлено с тем, что снижение всхожести свидетельствует о течении отрицательных процессов в белковом и липидном комплексах семени, понижении энзимной активности и распаде витаминов.

Проведение анализа качественных характеристик выполняли в соответствии со стандартной методологией:

- кислотное число масла – титриметрическим методом с извлечением масла путем экстрагирования этиловым эфиром в аппарате Сокслета в соответствии с ГОСТ 10858-77;

- перекисное числа масла – в соответствии с методом, основанном на реакции взаимодействия продуктов окисления растительного масла с йодистым калием в растворе уксусной кислоты и хлороформа с последующим количественным определением выделившегося йода раствором тиосульфата натрия титриметрическим методом (ГОСТ Р 51487-99);

- всхожесть и энергию прорастания семян – путем проращивания в темноте, на фильтровальной бумаге при 25°C в соответствии с ГОСТ 12038-84; срок определения всхожести при этом составил 3 суток, энергии прорастания – 7 суток.

На этапе отработки техники эксперимента ставилась цель установить насколько точность измерения и условия проведения опыта влияют на текущее значение контролируемых величин и конечный результат эксперимента. С этой

целью провели три опыта при зафиксированных значениях режимных параметров, влияющих на кинетику нагрева семян, т.е. при постоянной температуре и скорости сушильного агента, одинаковых начальной влажности и температуре семян.

Результаты этих опытов приведены в таблице 5, на графике (рисунок 7) и приложении Г (опыты 1.1.1-1.3.7), из которых видно, что воспроизводство параллельных измерений удовлетворительное, разница в значениях экспериментальных данных, вызываемых неточностью измерений и случайными факторами, не превышает 10%. Исходная влажность нагретых семян рапса в исследованиях колебалась в пределах от 9,8 до 10,1%, а различие в конечной влажности сушеных семян рапса составило менее 0,5%.

Таблица 5 – Результаты анализа измерения температуры высушиваемых семян рапса

№ опыта	Температура семян рапса, °С							
	Начальная	Сушка 2 мин	Сушка 4 мин	Сушка 6 мин	Сушка 8 мин	Сушка 10 мин	Сушка 12 мин	Сушка 14 мин
1 опыт	60	52,1	47,8	48,4	50,6	54,6	57,5	59,5
2 опыт	60	53,9	48,2	50,9	52,6	55,8	58,4	60,3
3 опыт	60	54,1	48,5	51,5	53,3	55,5	57,9	60,1

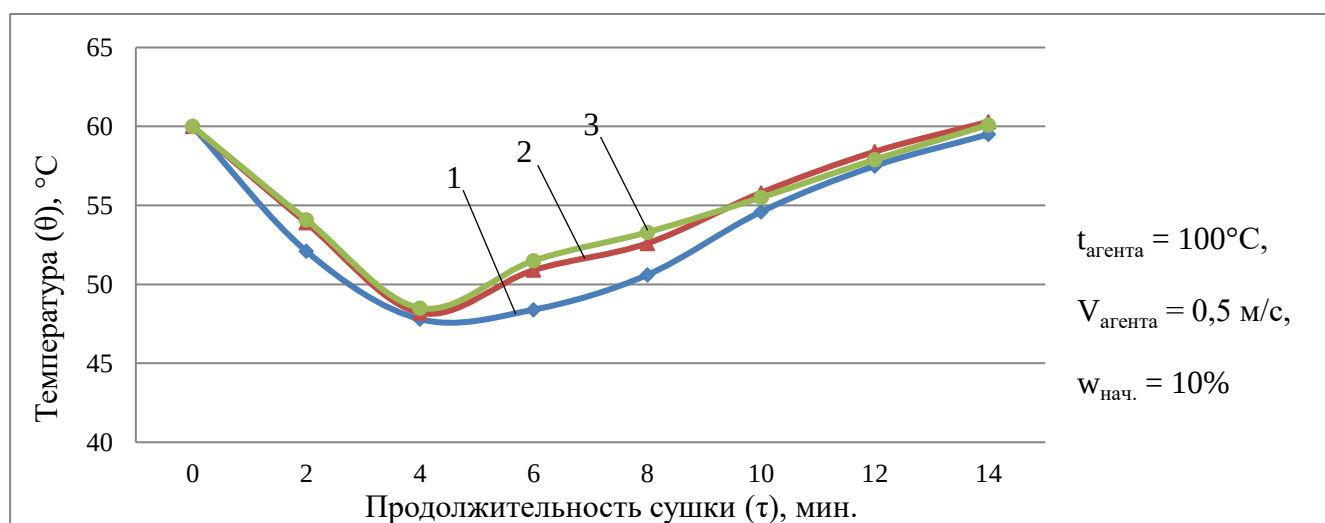


Рисунок 7 – Воспроизводство опытов при идентичных параметрах сушки для определения точности измерения: 1 – 1 опыт, 2 – 2 опыт, 3 – 3 опыт.

Помимо изучения кинетики сушки семян при квазиизотермических режимах, одной из задач исследования являлось изучение процесса охлаждения семян применительно к рассматриваемому способу сушки.

Цель проведения данных испытаний заключалась в поиске и обосновании предпочтительных режимов охлаждения семян рапса.

Принципиально процесс охлаждения семян рапса на рециркуляционных зерносушилках не отличается от процесса охлаждения семян в шахтных прямоточных зерносушилках, поэтому данные, полученные в ходе исследования, можно использовать не только для обоснования рациональных режимов сушки по рассматриваемой технологии, но и для рекомендаций по совершенствованию процесса сушки рапса на шахтных прямоточных зерносушилках.

При проведении исследований режимы, влияющие на кинетику процесса, установили в следующих пределах:

- влажность нагретых семян – 7-21%;
- температура охлаждающего воздуха – 20-30°C;
- скорость охлаждающего воздуха – 0,2-0,6 м/с.

Оборудование, необходимое для моделирования процесса охлаждения семян в лабораторных условиях аналогично оборудованию, необходимому для моделирования процесса сушки семян при квазиизотермических режимах в лабораторных условиях.

Скорость охлаждающего воздуха составляла 0,5 м/с. Тем самым моделировали процесс охлаждения семян в шахте зерносушилki в заторможенно-движущемся слое при продувании его атмосферным воздухом.

После охлаждения определяли влажность и температуру просушенных семян. Определение первоначальных параметров нагретых семян проводили без охлаждения. Охлаждение семян осуществляли в течение установленной продолжительности, составляющей 4, 8, 12, 16, 20...60 минут. Конечный результат, как и в опытах по сушке семян, определяли как среднее арифметическое из значений, полученных в ходе опытов, проводимых при одинаковых параметрах.

Полученные результаты фиксировали в журнале лабораторных испытаний (акт лабораторных испытаний с данными приведен в приложении Г).

Существенный интерес представляло изучение процессов сушки смеси семян с различной влажностью и температурой при различной длительности тепловлагообмена.

Принципиальное отличие моделирования данного процесса заключалось в необходимости нагрева и смешивания двух проб семян различной начальной влажности с последующей выдержкой в термостате.

Коэффициент смешения определяли согласно следующей формуле:

$$n = \frac{w_1 - w_{cm}}{w_{cm} - w_2}, \quad (4)$$

где: w_1 – влажность первой пробы семян (сырые), %;

w_2 – влажность второй пробы семян (рециркулирующие), %;

w_{cm} – целевая влажность смеси двух проб семян, %.

Длительность тепловлагообмена между пробами семян с различной начальной влажностью установили на основании литературных данных [6, 60, 82, 83] и руководствуясь экономической целесообразностью (высокая продолжительность тепловлагообмена подразумевает необходимость создания больших емкостей, что ведёт к увеличению расхода металлоконструкции и общему увеличению стоимости зерносушилок). На основании изложенного решили провести исследования при длительности тепловлагообмена от 10 до 30 минут. Данный процесс моделировали путём нагрева и выдержки двух проб семян с различной начальной влажностью в термостате в стеклянном сосуде в течение заданной продолжительности времени при температуре 60°C.

По другим параметрам исследования охлаждения и сушки смеси семян рапса были аналогичны исследованиям кинетики сушки и охлаждения однородных партий семян.

Результаты исследований были зафиксированы в лабораторном журнале и подтверждены актом проведения лабораторных испытаний (приложение Г).

Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась в программе Microsoft Excel 2016. По результатам проведенной математической обработки получены уравнения регрессии.

Производственную апробацию разработанной технологии рециркуляционной сушки проводили на ОАО «Набережночелнинский элеватор» на модернизированной зерносушилке непрерывного действия типа «Целинная» на базе ДСП-24 СН с предварительным нагревом семян в заторможенно-падающем слое и воздухопроводом, обеспечивающим дополнительную подачу сушильного агента в верхнюю часть напорно-распределительной камеры.

При проведении производственных испытаний отбор проб семян на различных этапах сушки производили последовательно в течение двух часов. Конечный результат определяли путём расчёта среднего арифметического значения из данных, полученных из четырёх проб семян рапса, отобранных последовательно через каждые 30-40 минут в ходе проведения опыта при заданных режимах. Таким образом, каждый образец характеризовал состояние влажности в данной точке за два часа непрерывной работы.

При определении температуры и влажности семян рапса в зонах сушки и охлаждения рециркуляционной и охладительной шахт зерносушилки, образцы семян отбирали зерновым щупом из нескольких подводящих коробов, после чего смешивали. Точки отбора проб семян рапса при проведении производственных испытаний изображены на рисунке 8.

Температуру семян в отдельных точках сушильной установки определяли путём отбора проб образцов с помощью термометра в соответствии с ГОСТ 9871-75.

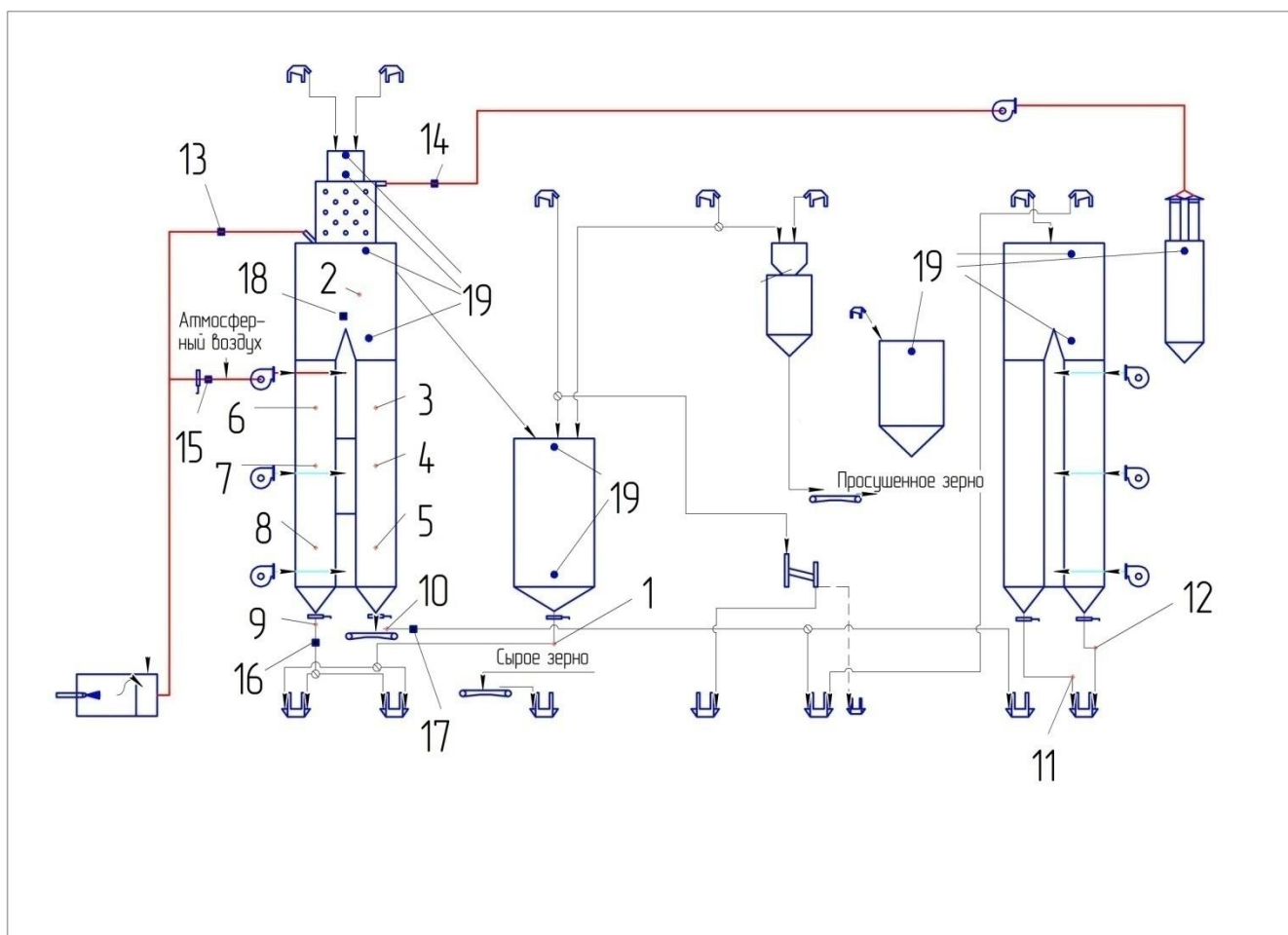


Рисунок 8 - Схема автоматизации и точек отбора проб. 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 – места отбора проб; 13,14,15,16,17, 18 – датчики температуры (ТПП); 19 – датчики уровня (мембранные).

Образцы семян для определения температуры и влажности отбирали после накопительного бункера перед рециркуляционными нориями (1), в тепловлагообменнике через инспекционный люк при помощи щупа для зерна (2), в зоне сушки рециркуляционной и охлаждающей шахт (3,6) путём отбора проб из нескольких подводящих коробов в напорно-распределительной камере. Аналогичным образом происходил отбор проб в зонах охлаждения рециркуляционной (7,8) и охлаждающей (4,5) шахт. Помимо этого, отбор проб осуществляли на выходе из шахты охлаждения (10) и рециркуляционной шахты (9). При задействовании дополнительной шахты охлаждения, отбор проб осуществляли также на выходе из неё (11, 12).

Температуру сушильного агента в различных точках измеряли при помощи платиnorodий-платиновых термопар (13,14,15).

Расходы воздуха и сушильного агента определяли один раз за опыт при помощи переносного комплекта аэродинамических приборов (микроманометра и пневмометрической трубки) по общепринятой методике.

При проведении производственных испытаний относительная влажность атмосферного воздуха варьировала в диапазоне 52-78%.

Анализ качественных показателей семян рапса осуществляли по стандартной методике на основании средней пробы семян, сформированной путем отбора и смешения четырех проб семян одинаковой массы, отобранных через равные промежутки времени (интервал 30-40 минут). Для анализа воздействия режимов сушки семян на их качественные характеристики, пробы отбирали на входе в сушилку (сырые семена) и на выходе из неё (просушенные семена). Результаты опытов приведены в таблице 15 и приложении Д.

Как и в случае проведения лабораторных исследований, производственную апробацию проводили на безэруковом сорте рапса «Ратник», среди основных достоинств которого можно выделить высокую степень адаптации к агроклиматическим условиям регионов Поволжья и Центральной России, высокий показатель масличности (40-47%), высокую урожайность (ок. 20 ц/га) и низкое содержание антипитательных и токсичных веществ (массовая доля эруковой кислоты не более 0,5% к сумме жирных кислот).

Опыты на производственной зерносушилке проводили в два этапа: на первом этапе изучался процесс «классической» рециркуляционной сушки при осциллирующих режимах - с предварительным нагревом семян в заторможено-падающем слое, последующим тепловлагообменном и продуванием атмосферным воздухом; на втором этапе, в отличие от первого, в верхнюю зону напорно-распределительной камеры рециркуляционной шахты и шахты охлаждения подавали сушильный агент (квазиизотермический режим). Это осуществлялось за счет открытия шиберной задвижки в воздуховоде, ведущем к вентилятору первой зоны сушки. С целью получения максимально объективных данных по характеру

протекания процессов сушки семян рапса при квазиизотермических режимах, отбор проб семян начинали осуществлять спустя три часа после подачи сушильного агента в верхнюю зону напорно-распределительной камеры.

Анализ кинетики сушки семян при различном состоянии слоя показывает, что наиболее сильное снижение влажности при относительно невысоком росте температуры семян в процессе сушки наблюдается при продувании плотного семенного слоя сушильным агентом с невысокой скоростью (0,4-0,6 м/с). При более интенсивных способах обработки снижение влажности семян уменьшается вследствие того, что температура его быстро достигает предельно допустимого значения. Кроме того, при этом резко возрастает аэродинамическое сопротивление семенного слоя, а следовательно, и энергетические затраты.

На производственной зерносушильной установке были проведены эксперименты с использованием режимов, определённых в качестве предпочтительных на основе лабораторных исследований. Температура семян рапса после предварительного нагрева была около 60°C, температура агента сушки – приблизительно 80°C, а его скорость варьировалась в диапазоне от 0,4 до 0,5 м/с. Удельная подача охлаждающего воздуха составила от 2 до 5 м³/кг×ч в зависимости от режимов сушки семян и температуры атмосферного воздуха.

Температуру агента сушки в камере предварительного нагрева задавали в диапазоне от 260 до 300°C. Эксперименты проводили на разных партиях семян при различных погодных условиях. Результаты производственных испытаний представлены в таблице 14 и приложениях к акту производственных испытаний (приложение Д).

При проведении производственных исследований осуществляли контроль производительности зерносушильной установки, температуры и скорости сушильного агента, влажности и температуры высушиваемых семян рапса на отдельных стадиях процесса, а также его основные качественные параметры до и после сушки.

Производительность зерносушилки определяли по показаниям бункерных весов ДН-2000. Технические характеристики бункерных весов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики бункерных весов ДН-2000

Показатель	Значение
Предел взвешивания, кг	40-2000
Производительность, т/ч	200
Точность дозирования, %	±1
Точность взвешивания, %	±0,1

Для мониторинга температуры и влажности окружающего воздуха применяли микропроцессорный датчик ДВТ-02. Технические параметры данного датчика представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики датчика температуры и относительной влажности ДВТ-02

Показатель	Значение
Диапазон измерения температуры, °С	От -40 до +85
Предел погрешности температуры, °С	Не более 1
Диапазон измерения относительной влажности, %	От 0 до 98
Предел погрешности по относительной влажности, %	Не более 3
Максимальное сопротивление нагрузки, кОм	1,0

Для отжима масла из анализируемых семян рапса в лабораторных условиях использовали пресс ручной лабораторный ПРЛ-03.

Влажность семян на различных этапах процесса определяли при помощи экспресс-влажомера «Wile65» (рисунок 9) и подтверждали путём высушивания навесок из проб семян в сушильном шкафу СЭШ-3М в соответствии с ГОСТ 13586.5-2015. Технические характеристики экспресс-влажомера приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики влагомера Wile 65

Показатель	Значение
Диапазон измерения влажности для масличных культур, %	5-25
Погрешность измерения, %	Не более 1
Масса исследуемого материала, г	50



Рисунок 9 - Влагомер «Wile65».

Автоматизированный контроль влажности и температуры семян на выходе из охладительной шахты осуществляли при помощи отечественного поточного влагомера «Фауна-М». Его технические характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики поточного влагомера «Фауна-М»

Показатель	Значение
Диапазон измерений влажности (для масличных), %	От 6,5 до 20
Пределы погрешности, %:	
- до 17% влажности	От 0,5 до 1,0
- свыше 17 % влажности	От 1,0 до 1,5
Рабочие температуры, °С	От 5 до 40
Объем измерительной камеры, см ³	270

Контроль температуры высушиваемых семян рапса и агента сушки осуществляли дистанционно при помощи платиновых-платиновых термопар и устройства контроля температуры ОВЕН УКТ38-В с аварийной сигнализацией, срабатывающей в случае выхода любого из контролируемых параметров за

заданные пределы. Технические характеристики устройства контроля температуры приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики восьмиканального устройства контроля температуры с аварийной сигнализацией ОВЕН УКТ38-В

Показатель	Значение
Предел допустимой осн. погрешности измерения входного параметра, %	$\pm 0,5$
Время опроса одного входа, с	Не более 2
Количество входов для подключения датчиков	8
Степень защиты корпуса	IP54

По результатам проведенных производственных испытаний сушки семян рапса при квазиизотермических режимах был подписан соответствующий акт (приложение Д).

2. 2 Результаты исследований и их анализ

2.2.1 Влияние режимов конвективной сушки на кинетику процесса сушки однородных по влажности семян рапса

Процесс рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах состоит из смешивания сырых семян с рециркулирующими в установленной пропорции, предварительного нагрева смеси семян до предельно допустимой температуры, контактного тепловлагообмена между сырыми и рециркулирующими семенами, сушки и охлаждения семян.

В связи с отсутствием в общепринятых инструкциях рекомендаций по сушке семян рапса на рециркуляционных зерносушилках основная задача экспериментальных исследований состояла в изучении и обосновании рациональных режимов сушки семян рапса, обеспечивающих наилучшие технико-

экономические показатели при максимальном сохранении качественных показателей.

В соответствии с описанной методикой исследования было изучено воздействие скорости и температуры агента сушки, длительности контактного теплообмена на кинетику сушки семян рапса.

Во всех опытах на первом этапе осуществляли кратковременный предварительный нагрев семян рапса в состоянии псевдооживленного слоя до предельно допустимой температуры нагрева семян равной 60°C. Снижение влажности семян на данном этапе составило от 0,2 до 0,4% от начальной. Далее приступали непосредственно к сушке семян нагретым сушильным агентом, либо атмосферным воздухом.

Построение графиков проводили с использованием программы «Microsoft Excel».

Результаты влияния изменения температуры сушильного агента в интервале от 80 до 120°C на кинетику сушки приведены на рисунках 10 и 11. Результаты опытных данных приведены в приложении Г (опыты 3.1.1.1 – 3.3.13.3).

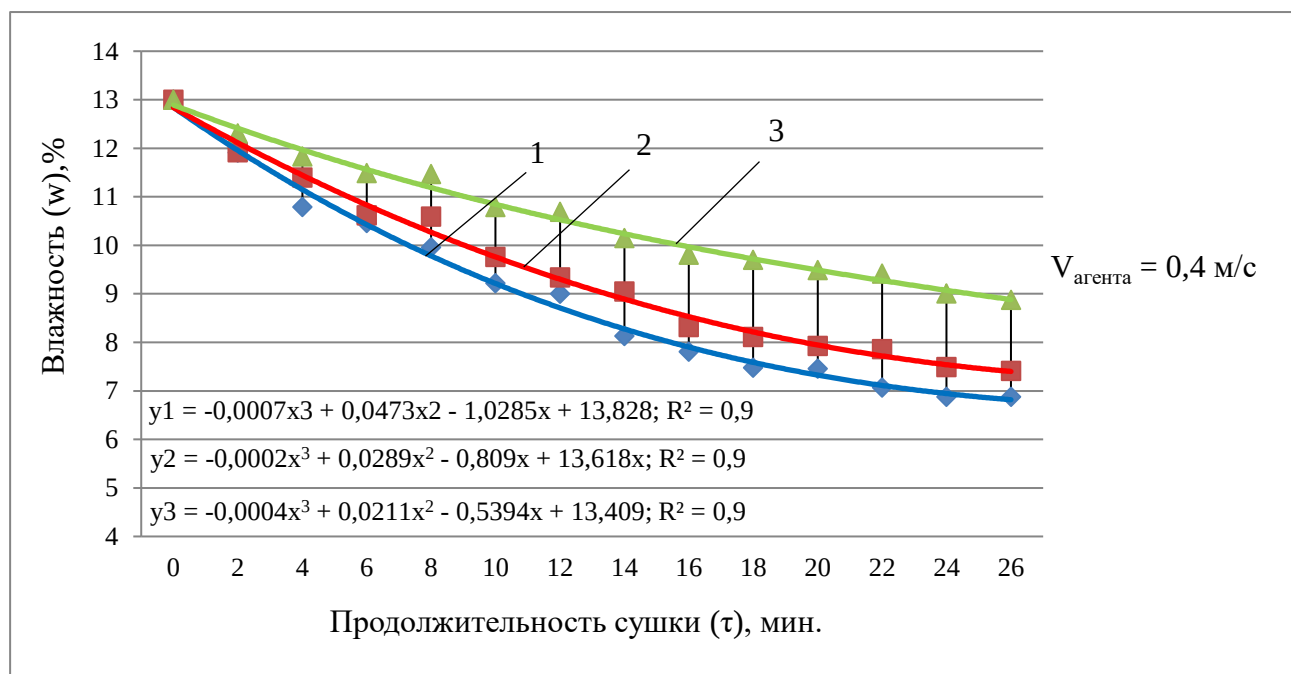


Рисунок 10 – Зависимости влажности семян рапса от температуры сушильного агента: 1 - при сушке агентом температурой 120°C, 2 - при сушке агентом температурой 100°C, 3 - при сушке агентом температурой 80°C.

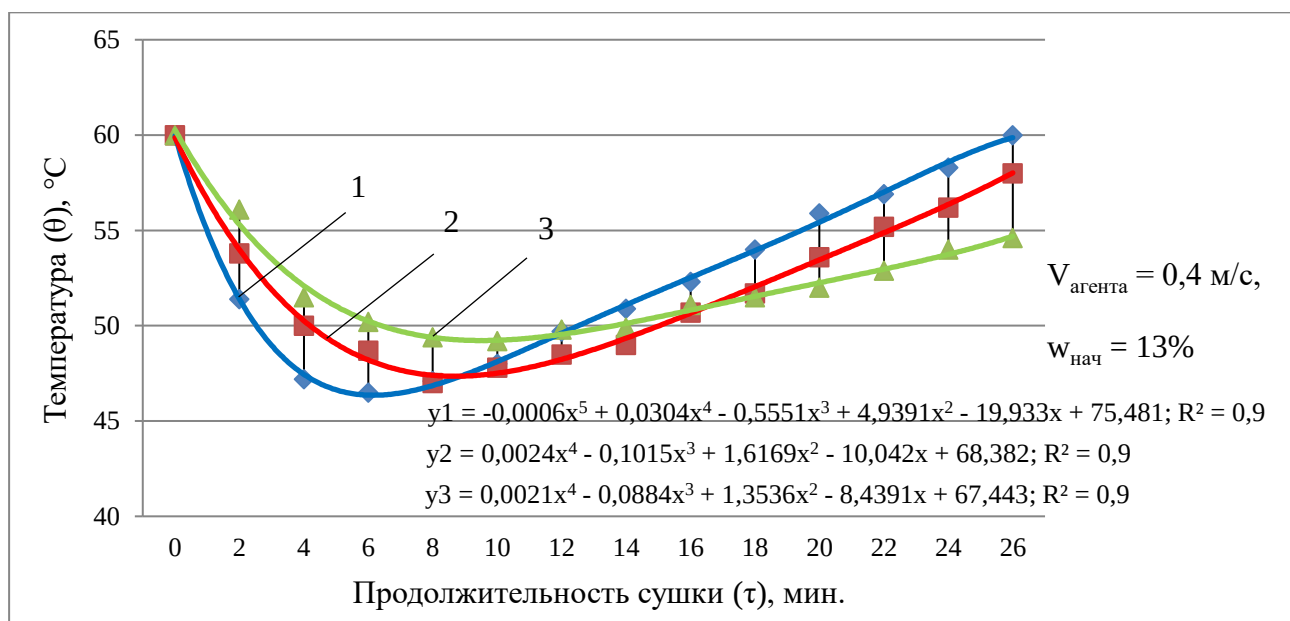


Рисунок 11 – Зависимости температуры семян рапса от температуры сушильного агента: 1 - при сушке агентом температурой 120°C, 2 - при сушке агентом температурой 100°C, 3 - при сушке агентом температурой 80°C.

Начальную влажность семян, равную 13%, приняли исходя из значений снижения влажности при сушке одной плановой тонны.

Предварительный нагрев семян осуществляли в соответствии с методикой, описанной в п. 2.1.

Данные опытов, представленные на рисунке 10, продемонстрировали, что влажность семян рапса в ходе сушки при квазиизотермических режимах способна снижаться от 4,0 до 6,5%.

По результатам опытов, представленных на рисунке 11, температура семян рапса снижается в начале процесса от 60 до 46°C, после чего начинает возрастать, что является характерной особенностью рассматриваемого процесса. Необходимо отметить, что температура семян рапса остается в пределах допустимой нормы в течение всего процесса сушки.

Вопреки тому, что температура агента сушки была выше температуры высушиваемых семян от 20 до 60°C, в начале эксперимента наблюдалось снижение их температуры. Данный эффект обусловлен интенсивным испарением влаги из семян за счет расходования части тепла, накопленного в них при предварительном нагреве. Аналогичные данные по снижению температуры семян при различных

температурах агента сушки объясняются неравномерными затратами тепла, расходуемыми сушильным агентом и семенами на испарение влаги.

При продувании семенного слоя агентом сушки с температурой 80°C снижение температуры семян занимает около 10 минут, что составляет примерно 40% от общей продолжительности процесса. За этот период температура семян снижается на 11°C. При сушке семян агентом с температурой 120°C, их температура за 6 минут снижается на 13,5°C. Последующее увеличение температуры также протекает более интенсивно в сравнении с экспериментом по сушке при температуре сушильного агента 80°C.

Процесс сушки семян протекает с различной интенсивностью. На начальной стадии процесса наблюдается максимальная скорость сушки, что обусловлено испарением влаги преимущественно из верхних слоёв семян. По ходу процесса интенсивность испарения влаги сокращается, при этом температура семян начинает увеличиваться. Это связано с расширением зоны испарения внутри семени [60].

По данным, представленным на рисунке 11, видно, что температура семян в конце исследования достигает исходного значения только в опыте с температурой агента сушки 120°C. При более низких температурах сушильного агента к концу процесса сушки температура семян составляла 54,5-58°C.

Проведенная математическая обработка экспериментальных результатов позволила выявить тесные линейные и полиномиальные зависимости третьей степени ($R^2 = 0,9$) влажности семян рапса от продолжительности сушки.

Данные зависимости представлены в виде уравнений регрессии в следующем виде:

$$Y1 = -0,0007x^3 + 0,0473x^2 - 1,0285x + 13,828, \quad (5)$$

$$Y2 = -0,0002x^3 + 0,0289x^2 - 0,809x + 13,618, \quad (6)$$

$$Y3 = -0,0004x^3 + 0,0211x^2 - 0,5394x + 13,409, \quad (7)$$

где $Y1$, $Y2$, $Y3$ – показатели влажности семян рапса при сушке смеси агентом 120°C, 100°C и 80°C соответственно;

x – продолжительность сушки.

Также были выявлены зависимости температуры семян рапса от продолжительности сушки, представленные следующими уравнениями регрессии:

$$Y1 = -0,0006x^5 + 0,0304x^4 - 0,5551x^3 + 4,9391x^2 - 19,933x + 75,481, \quad (8)$$

$$Y2 = 0,0024x^4 - 0,1015x^3 + 1,6169x^2 - 10,042x + 68,382, \quad (9)$$

$$Y3 = 0,0021x^4 - 0,0884x^3 + 1,3536x^2 - 8,4391x + 67,443, \quad (10)$$

где $Y1$, $Y2$, $Y3$ – показатели температуры семян рапса при сушке смеси агентом 120°C , 100°C и 80°C соответственно;

x – продолжительность сушки.

На следующем этапе исследований изучали влияние начальной влажности рапса на кинетику сушки однородных по влажности семян. Результаты опытов представлены на рисунках 12 и 13 (опыты 4.1.1.1 – 4.3.13.3 в приложении Г).

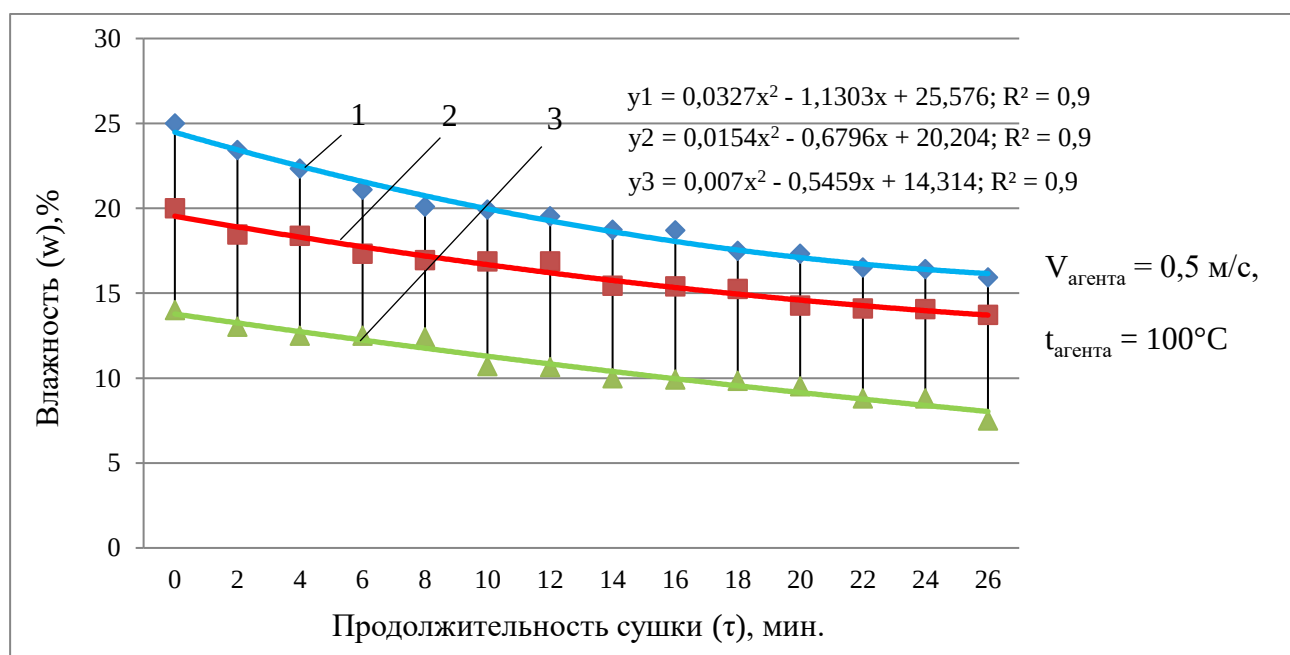


Рисунок 12 – Зависимости влажности высушиваемых семян рапса от начальной влажности семян: 1 - при начальной влажности 25%; 2 - при начальной влажности 20%; 3 - при начальной влажности 14%.

Снижение влажности семян рапса в этих опытах, согласно данным, представленным на рисунке 12, составляло от 6 до 9% для семян с начальной влажностью от 14 до 25%. При этом сушку семян осуществили при температуре ниже предельно допустимой для семян рапса, как и в ранее проведенных опытах.

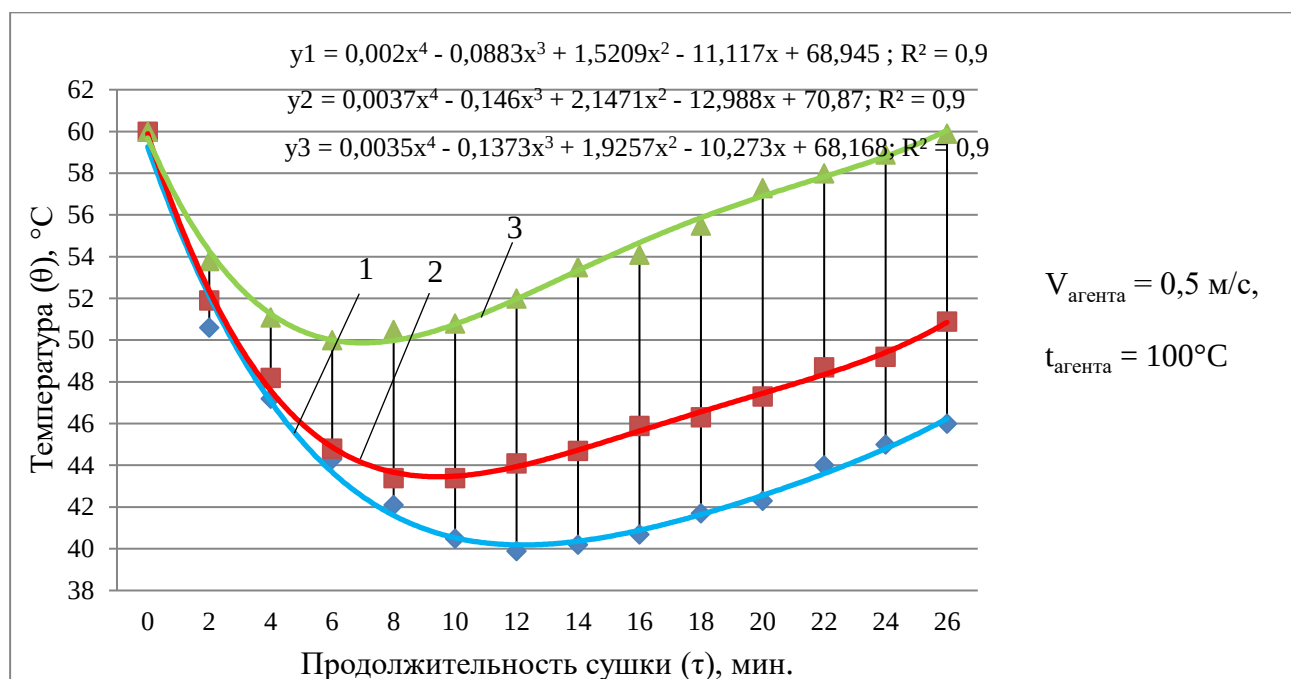


Рисунок 13 – Зависимости температуры семян рапса от начальной влажности семян: 1 - при начальной влажности 25%; 2 - при начальной влажности 20%; 3 - при начальной влажности 14%.

Снижение влажности семян рапса в опытах по сушке семян с различной начальной влажностью происходит неравномерно. Это также характерно и для ранее проведенных опытов сушки семян рапса сушильным агентом различной температуры. На начальном этапе скорость сушки увеличивается за счёт испарения влаги из верхних слоёв семени. В дальнейшем распространение зоны испарения вглубь семени снижает скорость испарения влаги.

Серия опытов, результаты которых представлены на рисунках 13 и 14, продемонстрировала, что повышенная начальная влажность семян ведёт к повышению интенсивности снижения температуры и влажности семян в начале опыта – максимальное снижение температуры у семян влажностью 25% составило 20°C , в то время как у семян рапса влажностью 14%, снижение составило лишь 10°C .

С целью определения степени воздействия скорости агента на кинетику процесса сушки семян при квазиизотермических режимах провели серию опытов на однородных по влажности семенах при скоростях сушильного агента от 0,2 до

0,6 м/с. Результаты опытов представлены на рисунках 14 и 15. Результаты опытных данных приведены в приложении Г (опыты 5.1.1.1 – 5.3.13.3).

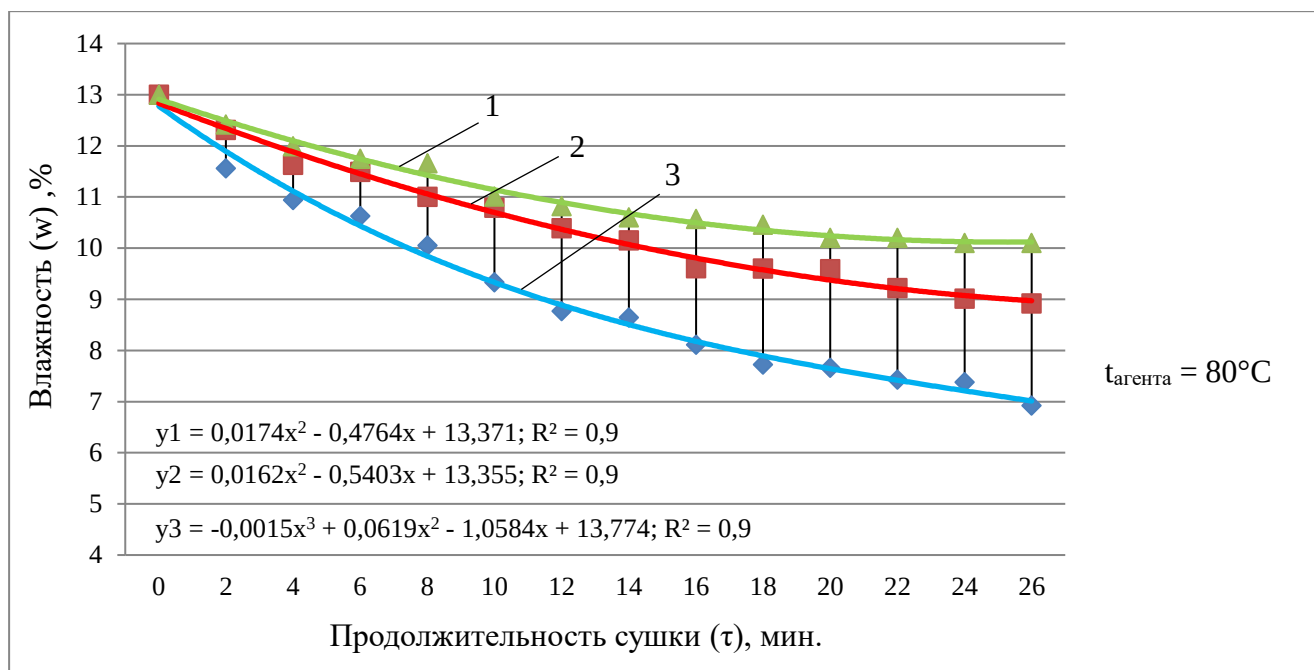


Рисунок 14 – Зависимости влажности семян рапса от скорости агента сушки: 1 – скорость сушильного агента 0,2 м/с; 2 – скорость сушильного агента 0,4 м/с; 3 – скорость сушильного агента 0,6 м/с.

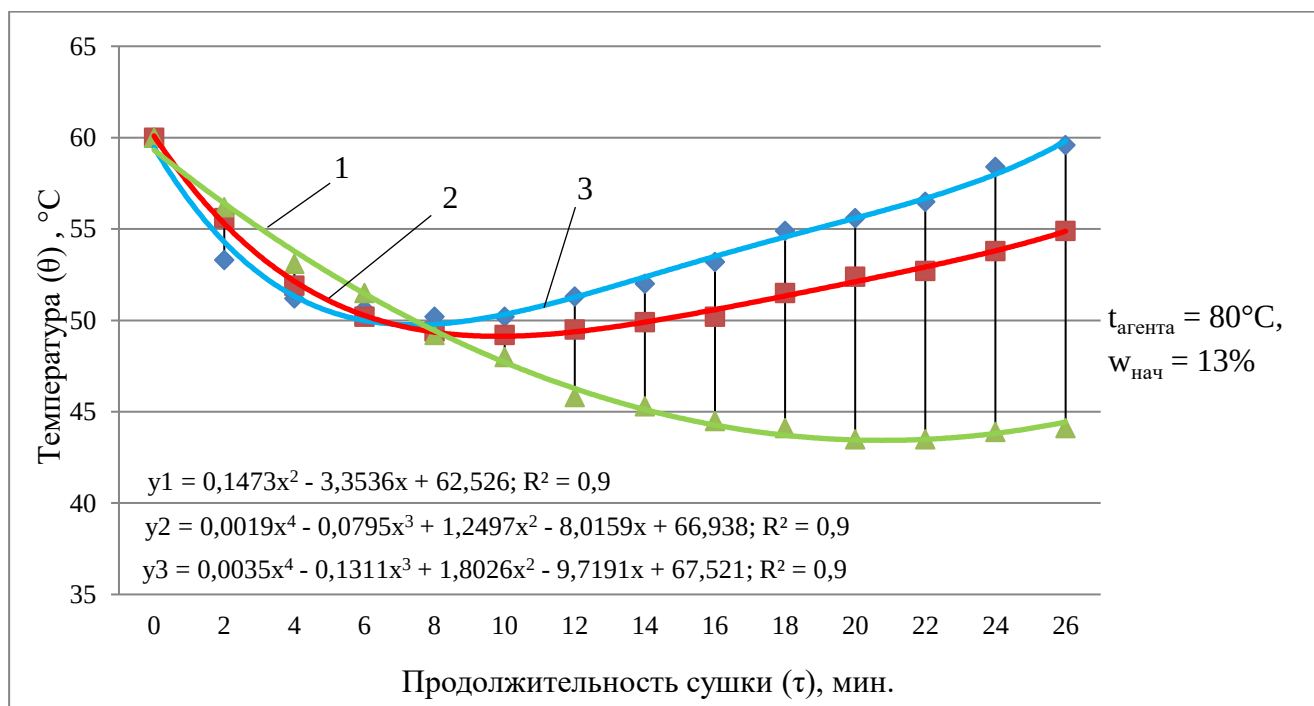


Рисунок 15 – Зависимости температуры семян рапса от скорости агента сушки: 1 – скорость сушильного агента 0,2 м/с; 2 – скорость сушильного агента 0,4 м/с; 3 – скорость сушильного агента 0,6 м/с.

Начальную влажность семян, равную 13%, приняли исходя из значений снижения влажности при сушке одной плановой тонны.

Результаты исследований, представленные на рисунках 14 и 15, продемонстрировали, что повышение скорости агента сушки с 0,2 м/с до 0,6 м/с увеличивало интенсивность процесса – разница в снижении влажности высушиваемых семян составила около 3%. Однако при сушке агентом со скоростью 0,6 м/с семена рапса быстрее достигали исходной температуры нагрева, равной 60°C. При этом температура семян рапса оставалась ниже предельно допустимой температуры нагрева на протяжении всех опытов. Снижение влажности семян составило от 3 до 6%.

2.2.2 Влияние режимов конвективной сушки на кинетику процесса сушки смеси семян рапса с различной начальной влажностью

В существующих рециркуляционных зерносушилках высушиваемые семена представляют собой смесь семян с различной влажностью, что обусловлено принципом работы этих установок - циклическим высушиванием рециркулирующих семян и смешиванием их с сырыми. Данную смесь можно рассматривать как двухкомпонентную, состоящую из нагретых сырых и рециркулирующих семян. Поэтому исследование влияния отдельных факторов на кинетику процесса сушки двухкомпонентной смеси семян представляет практический интерес.

В рассматриваемом опыте изучали кинетику сушки смеси семян с начальной влажностью 33% и 9%. Пропорцию смешения установили в соотношении 2 к 1 чтобы обеспечить средневзвешенную влажность смеси на уровне 25%.

Результаты опытов представлены на рисунках 16 и 17, и в приложении Г (опыты 6.1.1.1 – 6.3.13.3).

Период тепловлагообмена (1) характеризует продолжительность процессов тепловлагообмена между семенами рапса с различной начальной влажностью.

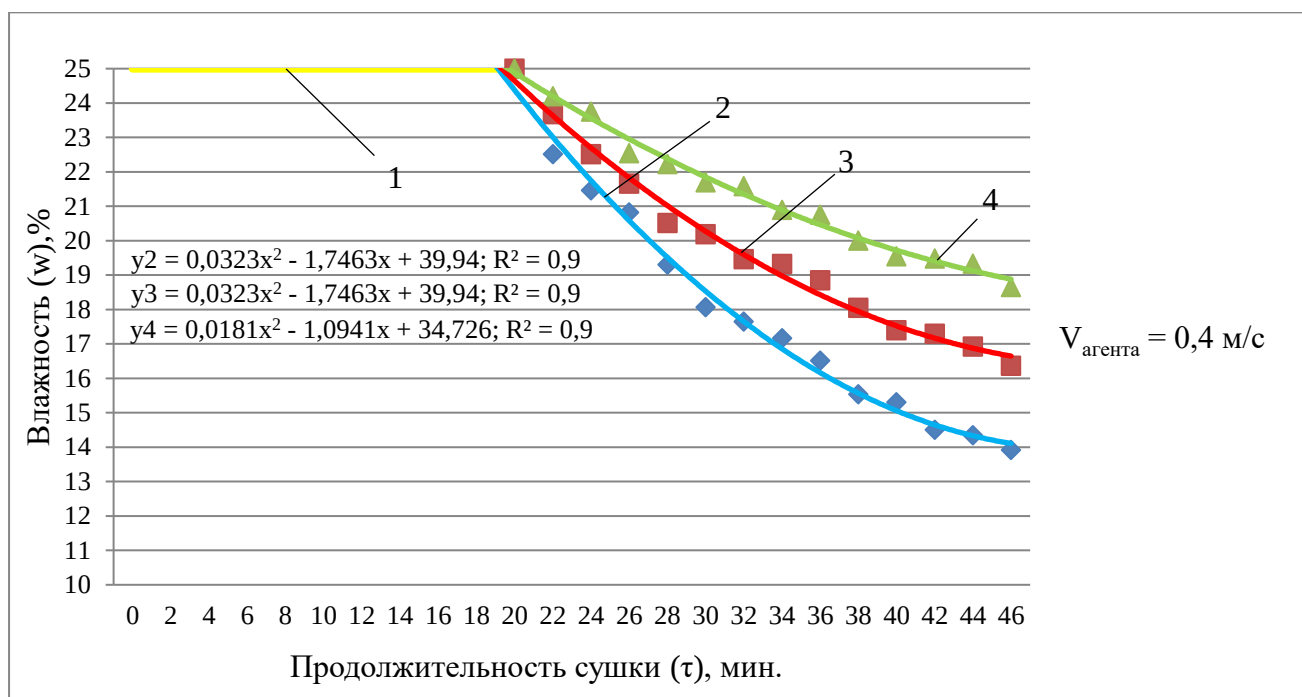


Рисунок 16 – Зависимости влажности смеси семян рапса от температуры сушильного агента: 1 – период тепловлагообмена, 2 - при сушке агентом температурой 120°C, 3 - при сушке агентом температурой 100°C, 4 - при сушке агентом температурой 80°C.

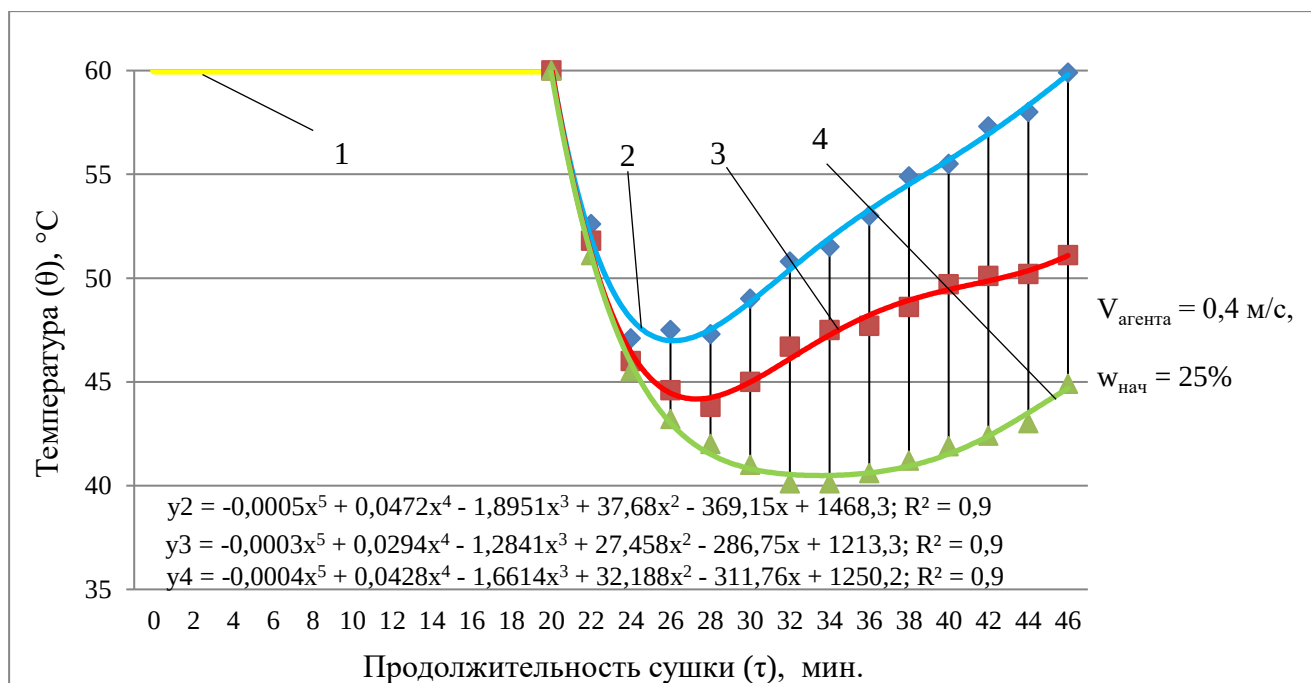


Рисунок 17 – Зависимости температуры смеси семян рапса от температуры сушильного агента: 1 – период тепловлагообмена, 2 - при сушке агентом температурой 120°C, 3 - при сушке агентом температурой 100°C, 4 - при сушке агентом температурой 80°C.

Как видно из данных, представленных на рисунках 16 и 17, выявленная в опытах по сушке однородных по влажности семян закономерность снижения температуры проявляется и при сушке двухкомпонентной смеси семян.

Снижение влажности семян в рассматриваемых опытах варьировало от 6,5 до 11%. Данные исследования подтверждают эффективность сушки семян рапса с высокой начальной влажностью при квазиизотермических режимах.

Также, как и в случае сушки однородных по влажности семян, выявили линейные и полиномиальные зависимости второй степени ($R^2 = 0,9$) влажности семян рапса от продолжительности сушки.

Зависимости температуры семян рапса от продолжительности сушки имели более сложный характер и были выражены следующими уравнениями регрессии:

$$Y_2 = -0,0005x^5 + 0,0472x^4 - 1,8951x^3 + 37,68x^2 - 369,15x + 1468,3 \quad (11)$$

$$Y_3 = -0,0003x^5 + 0,0294x^4 - 1,2841x^3 + 27,458x^2 - 286,75x + 1213,3 \quad (12)$$

$$Y_4 = -0,0004x^5 + 0,0428x^4 - 1,6614x^3 + 32,188x^2 - 311,76x + 1250,2 \quad (13)$$

где Y_2 , Y_3 , Y_4 – показатели температуры семян рапса при сушке смеси агентом 120°C, 100°C и 80°C соответственно;

x – продолжительность сушки.

Результаты исследования по определению влияния скорости сушильного агента на кинетику сушки семенной смеси представлены на рисунках 18 и 19 (опыты 7.1.1.1 – 7.3.13.3 в приложении Г). Как и в предыдущей серии опытов, пропорция смешения семян рапса влажностью 33% и 9% составила 2 к 1 соответственно.

По данным, представленным на рисунке 19, видно, что в начальный период сушки температура семян снижается с 60° до 44,5-39°C. При этом более высокое снижение температуры семян обеспечивалось при меньшей скорости агента сушки. Данный эффект предоставляет возможность обеспечить требуемое снижение температуры семян рапса за заданную длительность сушки.

Поскольку температура семян рапса в ходе проводимых исследований оставалась ниже предельно допустимых значений, снижение их качественных показателей оказалось минимальным.

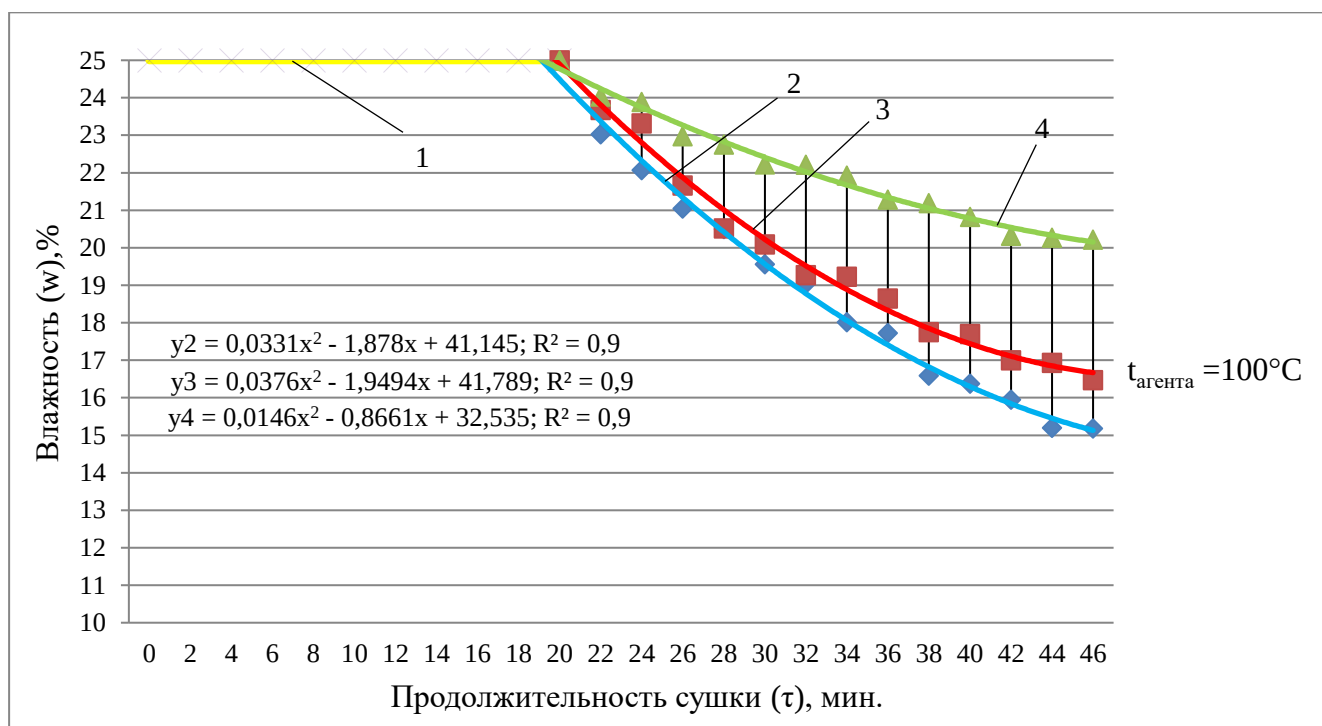


Рисунок 18 – Зависимости влажности смеси семян рапса от скорости сушильного агента: 1 – период тепловлагообмена, 2 – скорость сушильного агента 0,6 м/с, 3 – скорость сушильного агента 0,4 м/с, 4 – скорость сушильного агента 0,2 м/с.

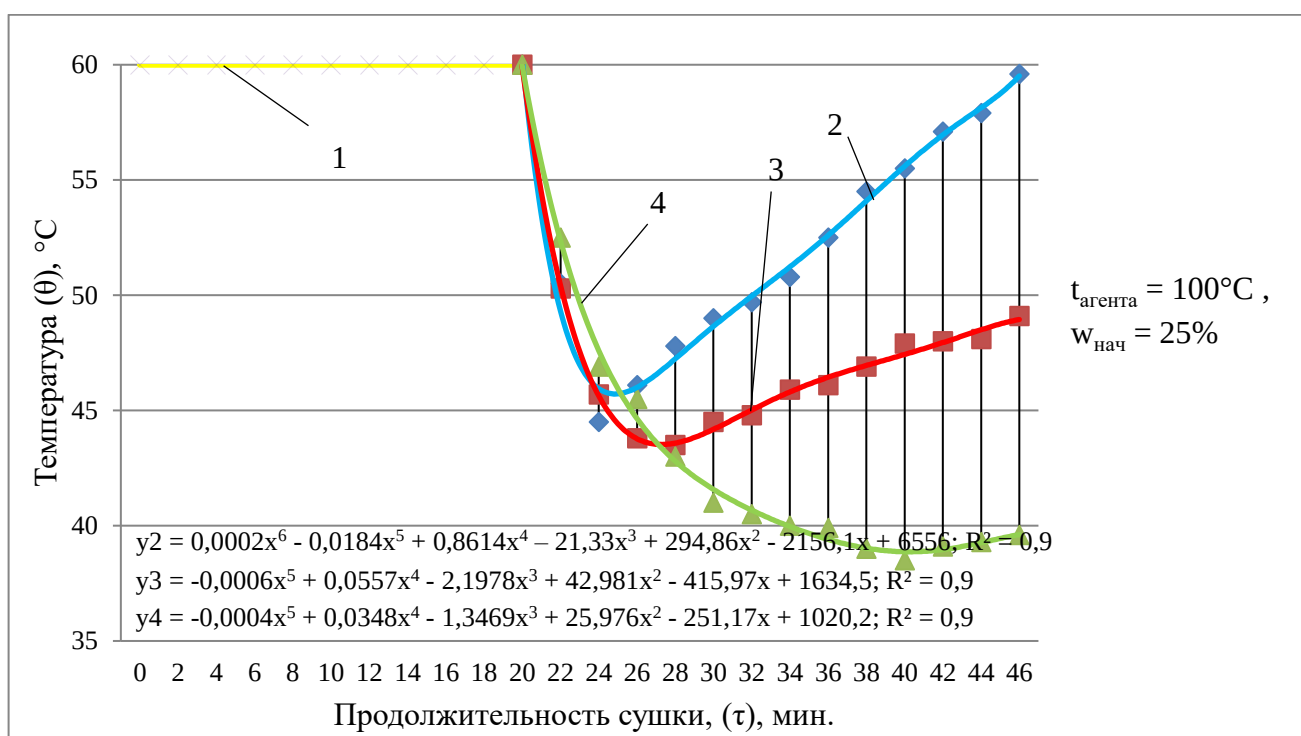


Рисунок 19 – Зависимости температуры смеси семян рапса от скорости сушильного агента: 1 – период тепловлагообмена, 2 – скорость сушильного агента 0,6 м/с, 3 – скорость сушильного агента 0,4 м/с, 4 – скорость сушильного агента 0,2 м/с.

В шахтных рециркуляционных зерносушилках тепловлагообмен между предварительно нагретыми влажными и частично просушенными рециркулирующими семенами осуществляется в бункере-тепловлагообменнике. Влияние продолжительности тепловлагообмена на кинетику процесса сушки представлено на рисунках 20 и 21 (опыты 8.1.1.1 – 8.3.13.3 в приложении Г). Пропорция смешения семян с различной начальной влажностью идентична предшествующим опытам.

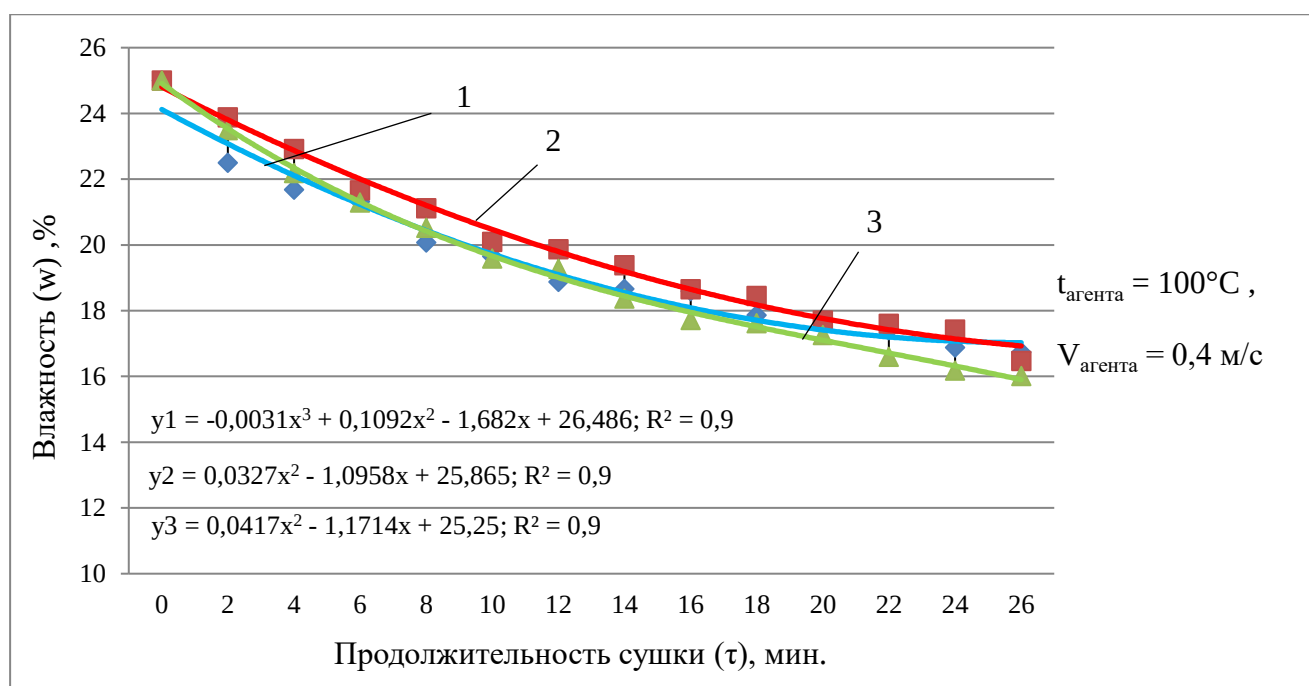


Рисунок 20 – Зависимости влажности смеси семян рапса от продолжительности контактного тепловлагообмена: 1 – при продолжительности 10 мин., 2 – при продолжительности 20 мин., 3 – при продолжительности 30 мин.

По данным, представленным на рисунке 20, продолжительность тепловлагообмена не оказывает значительного влияния на удаление влаги из семян. При сушке смеси семян после 10 и 30 минут тепловлагообмена влажность смеси семян рапса за первые 12 минут сушки снизилась на 6%. При этом снижение влажности в семенах, подвергшихся 20 минутному тепловлагообмену, составило только 5%.

Из графиков, представленных на рисунке 20, следует, что максимальная скорость сушки на начальных этапах процесса наблюдается в опыте со смесью семян, подвергшихся 10 минутному тепловлагообмену. Но далее, по ходу

протекания процесса, скорость сушки замедляется и становится ниже, чем у семян после 20 и 30 минутного тепловлагообмена. По данным, представленным на графиках рисунка 21, высокая скорость сушки на начальных этапах процесса приводит к более интенсивному охлаждению семян – на 17°C в течение первых 4 минут сушки.

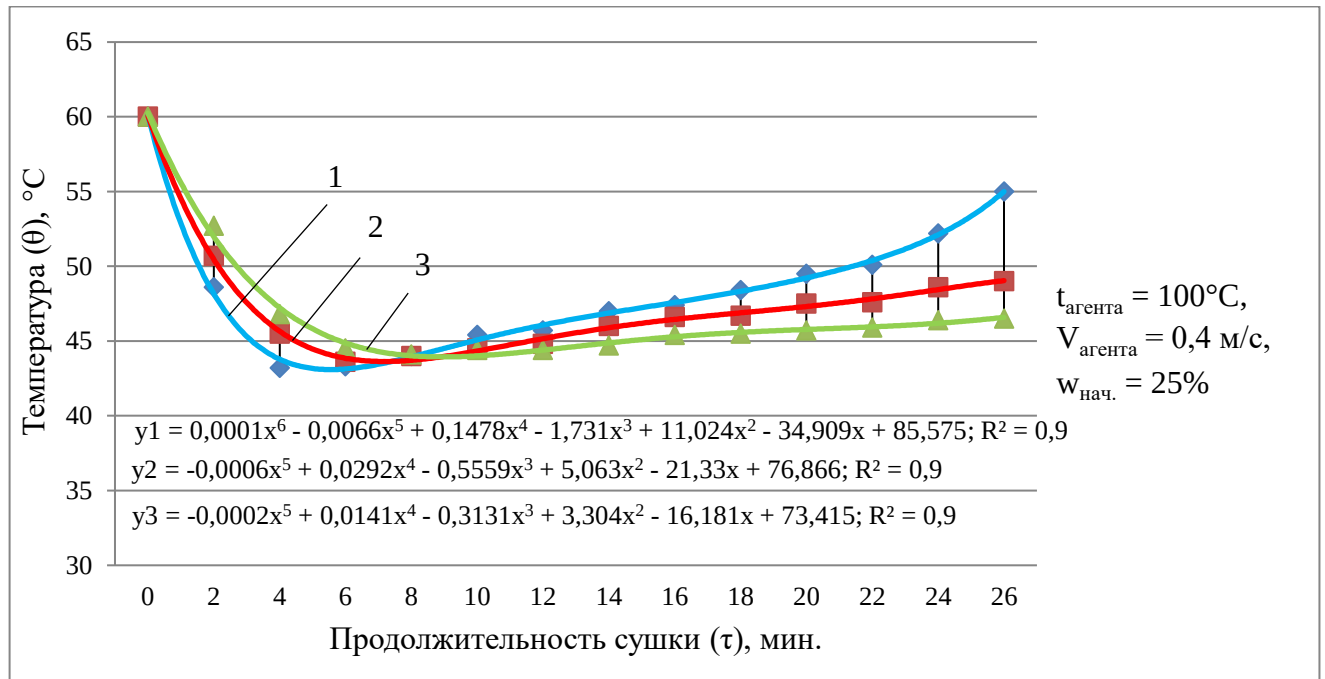


Рисунок 21 – Зависимости температуры смеси семян рапса от продолжительности контактного тепловлагообмена: 1 – при продолжительности 10 мин., 2 – при продолжительности 20 мин., 3 – при продолжительности 30 мин.

В экспериментах с большей длительностью контактного тепловлагообмена продолжительность охлаждения увеличивается до 6-10 минут. Температура семян также снижается на меньшие значения – 16-15,5°C. Это происходит вследствие того, что в начале тепловлагообмена влага в семенах успевает переместиться к поверхности семени, но не успевает адсорбироваться сухими семенами. Следовательно, начальная стадия процесса сушки характеризуется активным испарением влаги из поверхностных слоёв семян. Это, в свою очередь, вызывает интенсивное снижение их температуры.

В случае увеличения длительности контактного тепловлагообмена, часть влаги, находящейся на поверхности сырых семян, частично поглощается сухими семенами. Данное заключение подтверждается тем, что после испарения влаги с

поверхности семян, подвергшихся 10-минутному контактному тепловлагообмену, происходит интенсивное увеличение температуры и замедление скорости сушки семян. При этом сушка семян после 20 и 30 минутного тепловлагообмена характеризуется более медленным повышением температуры и более высокой скоростью сушки на заключительных этапах процесса.

По итогам проведенных исследований процесса рециркуляционной сушки, осуществляемой при квазиизотермических режимах, можно сделать следующие выводы. В отличие от сушки семян в прямоточных зерносушилках, где температура и влажность семян непрерывно изменяются по ходу сушильного процесса, а тепло сушильного агента расходуется на нагрев материала и испарение из него влаги, при рециркуляционном способе с применением квазиизотермических режимов на сушку поступают предварительно нагретые семена рапса. Тепло сушильного агента, в данном случае, расходуется, за исключением тепловых потерь, на испарение влаги из семян рапса. Характерной особенностью этого процесса является снижение температуры в начале процесса сушки семян. Испарение влаги в этот момент настолько интенсивно, что на него расходуется часть тепла, аккумулированного семенами в процессе нагрева. В дальнейшем, по мере углубления зоны испарения внутрь семян, скорость сушки снижается, а температура семян начинает возрастать.

Снижение температуры семян на начальной стадии процесса создаёт временной «буфер», на протяжении которого температура высушиваемых семян остаётся в диапазоне, не превышающем допустимую температуру нагрева семян. Это, в свою очередь, обеспечивает значительную интенсификацию влагосъёма за один цикл сушки.

В этих условиях обеспечивается наибольшая интенсивность сушки, поскольку перенос влаги внутри материала происходит при температуре и скорости близких к максимальным за счет высокого коэффициента диффузии влаги.

Снижение температуры семян в начале цикла сушки не только не снижает интенсивности процесса сушки, но и способствует дополнительному подводу

влаги из внутренних слоёв семян к его поверхности за счёт термовлагопроводности, поток которой направлен в это время из центра семени к её оболочке. Дальнейшее удаление влаги из семян происходит также достаточно интенсивно за счёт непрерывного роста коэффициента диффузии.

Необходимо также отметить, что при обычной конвективной сушке, и в частности – при интенсивном нагреве семян высокотемпературным агентом сушки во взвешенном и заторможенно-падающем слоях, скорость подвода влаги к поверхности семян замедляется вследствие тормозящего явления термовлагопроводности, роль которого повышается с ростом температурного градиента в семени. При данном способе удаётся локализовать отрицательное влияние термовлагопроводности, так как сушка ведётся при незначительно меняющейся, а в определённом моменте – при снижающейся температуре семян.

Результаты проведенных исследований доказали, что длительность сушки при квазиизотермических режимах и удельное снижение влажности высушиваемых семян непосредственно зависит от режимов сушки. При увеличении температуры и скорости агента сушки длительность процесса сокращается, а при увеличении начальной влажности нагретых семян повышается общее снижение влажности.

В исследованном диапазоне температур от 80 до 120°C и скорости от 0,2 до 0,6 м/с при влажности нагретых семян до 15%, общее снижение влажности составляет от 3 до 6% и может достигать 8-11% при повышении влажности до 25%.

2.2.3 Влияние режимов охлаждения на кинетику процесса охлаждения семян рапса после сушки

Необходимость изучения процесса охлаждения семян рапса обусловлена как возможностью охлаждения семян с повышенной влажностью в прамоточных шахтных зерносушилках, так и промежуточным охлаждением семян в рециркуляционных зерносушилках.

Основная цель исследования процесса охлаждения семян рапса заключалась в изучении влияния температуры и скорости охлаждающего воздуха, влажности нагретых семян на интенсивность их сушки и охлаждения.

На рисунках 22 и 23 отображены результаты исследования влияния начальной влажности семян на интенсивность его охлаждения (результаты опытов по моделированию процесса охлаждения 1.1.1.1 – 1.3.10.3, приведенные в приложении Г).

На основании данных, представленных на рисунках 22 и 23, можно сделать вывод, что при увеличении влажности семян, скорость их охлаждения повышается. Как показали исследования, снижение влажности семян в процессе их охлаждения также зависит от величины начальной влажности нагретых семян. Так, повышение влажности семян с 7 до 21% приводит к увеличению влагосъёма с 1,4 до 3,2%.

Как и в случае моделирования процессов сушки семян, выявили логарифмические и полиномиальные зависимости четвёртой степени ($R^2 = 0,9$) влажности семян рапса от продолжительности охлаждения. Данные зависимости можно представить в виде уравнений регрессии:

$$Y1 = 8E-05x^4 - 0,0053x^3 + 0,1204x^2 - 1,1312x + 21,992 \quad (14)$$

$$Y2 = -0,0011x^3 + 0,0421x^2 - 0,549x + 14,376 \quad (15)$$

$$Y3 = 8E-05x^4 - 0,0044x^3 + 0,0888x^2 - 0,7299x + 7,6496 \quad (16)$$

где $Y1$, $Y2$, $Y3$ – показатели влажности семян рапса при охлаждении семян рапса начальной влажностью 21%, 14% и 7% соответственно;

x – продолжительность охлаждения.

При анализе температуры семян рапса от продолжительности охлаждения также выявили логарифмические и полиномиальные зависимости четвёртой степени ($R^2 = 0,9$).

Представленные на рисунке 23 графики охлаждения выражены уравнениями регрессии:

$$Y1 = 2E-06x^6 - 0,0002x^5 + 0,0069x^4 - 0,1568x^3 + 2,0425x^2 - 14,974x + 73,104 \quad (17)$$

$$Y2 = 0,0009x^4 - 0,0529x^3 + 1,1092x^2 - 10,791x + 69,44 \quad (18)$$

$$Y3 = 0,0007x^4 - 0,0382x^3 + 0,8533x^2 - 9,0679x + 68,082 \quad (19)$$

где Y_1 , Y_2 , Y_3 – показатели температуры семян рапса при начальной влажности 21%, 14% и 7% соответственно;

x – продолжительность охлаждения.

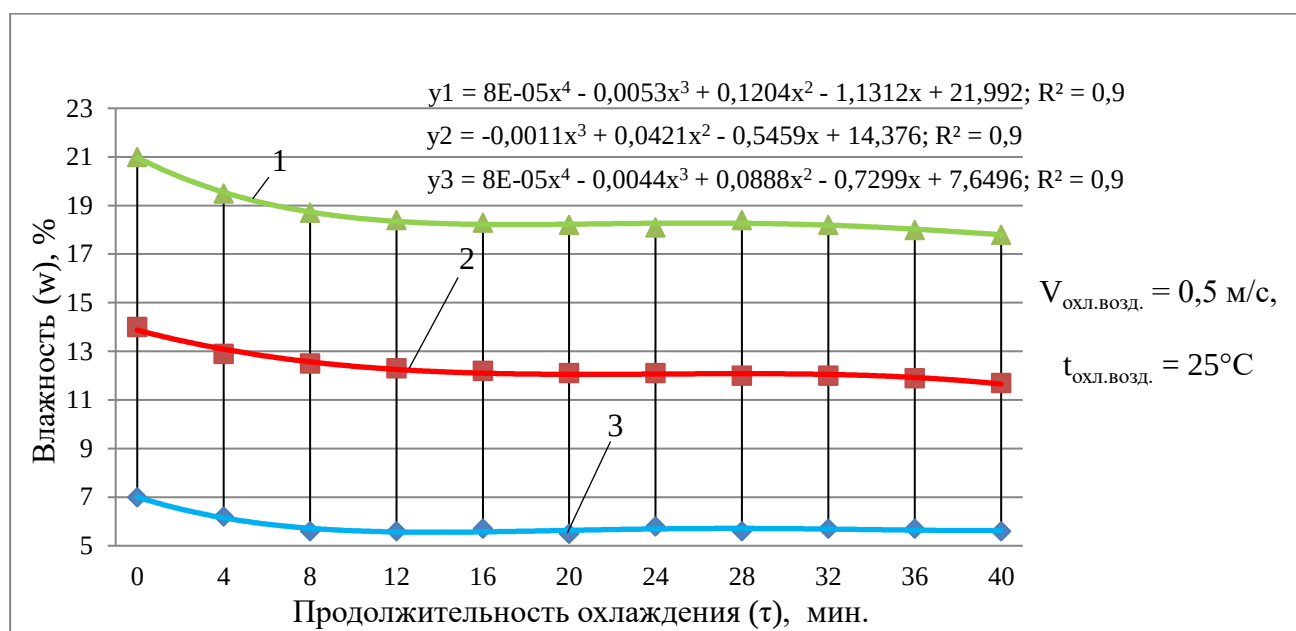


Рисунок 22 – Зависимости влажности высушиваемых семян рапса от начальной влажности семян: 1 – при начальной влажности 21%, 2 – при начальной влажности 14%, 3 – при начальной влажности 7%.

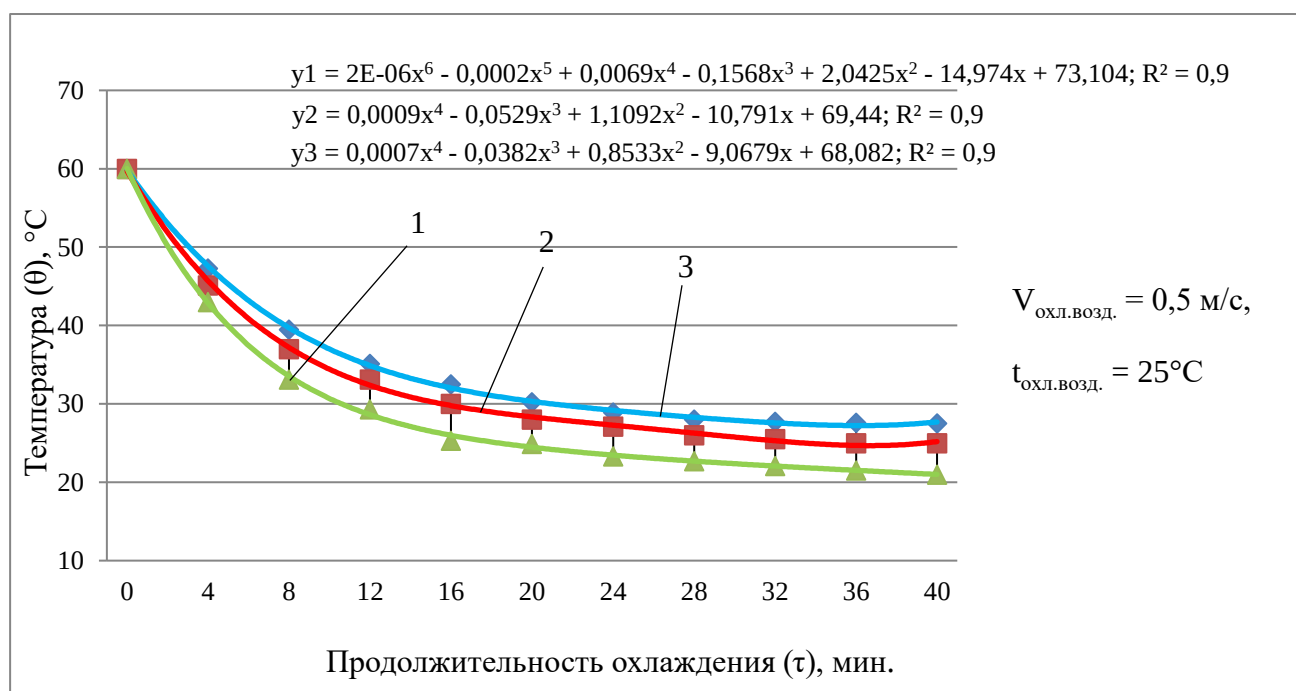


Рисунок 23 – Зависимости температуры семян рапса от начальной влажности семян: 1 – при начальной влажности 21%, 2 – при начальной влажности 14%, 3 – при начальной влажности 7%.

Следует также отметить, что при охлаждении сырых семян их температура может снижаться ниже температуры сухого термометра. Как видно из рисунка 23, при охлаждении семян влажностью 21% уже через 12 минут от начала опыта температура семян становится равной температуре охлаждающего воздуха, а через 40 минут охлаждения достигает 21°C, тогда как температура охлаждающего воздуха в опыте не опускалась ниже 25°C.

Наблюдаемое снижение температуры обуславливается интенсивным непрекращающимся испарением влаги, продолжающимся и после достижения семенами температуры охлаждающего воздуха. В этих условиях на дополнительное испарение влаги расходуется часть тепла семян, что и вызывает снижение их температуры.

Таким образом, наиболее интенсивное охлаждение отмечается у семян с повышенной влажностью, причем процесс охлаждения сопровождается повышенным испарением влаги, что может быть использовано при определении режимов сушки в зоне промежуточного охлаждения рециркулирующих семян.

Влияние скорости охлаждающего воздуха на кинетику охлаждения изучали при различной начальной влажности нагретых семян. Результаты представлены на рисунках 24 и 25 (результаты опытов по моделированию процесса охлаждения 2.1.1.1 – 2.4.10.3, приведенные в приложении Г).

Анализ полученных результатов, представленных на рисунках 24 и 25, показывает, что изменение скорости охлаждающего воздуха по-разному влияет на снижение влажности семян с различной начальной влажностью. Увеличение скорости охлаждающего воздуха способствует интенсификации сушки при охлаждении влажных семян, а при охлаждении сухих семян разница в снижении влажности незначительна.

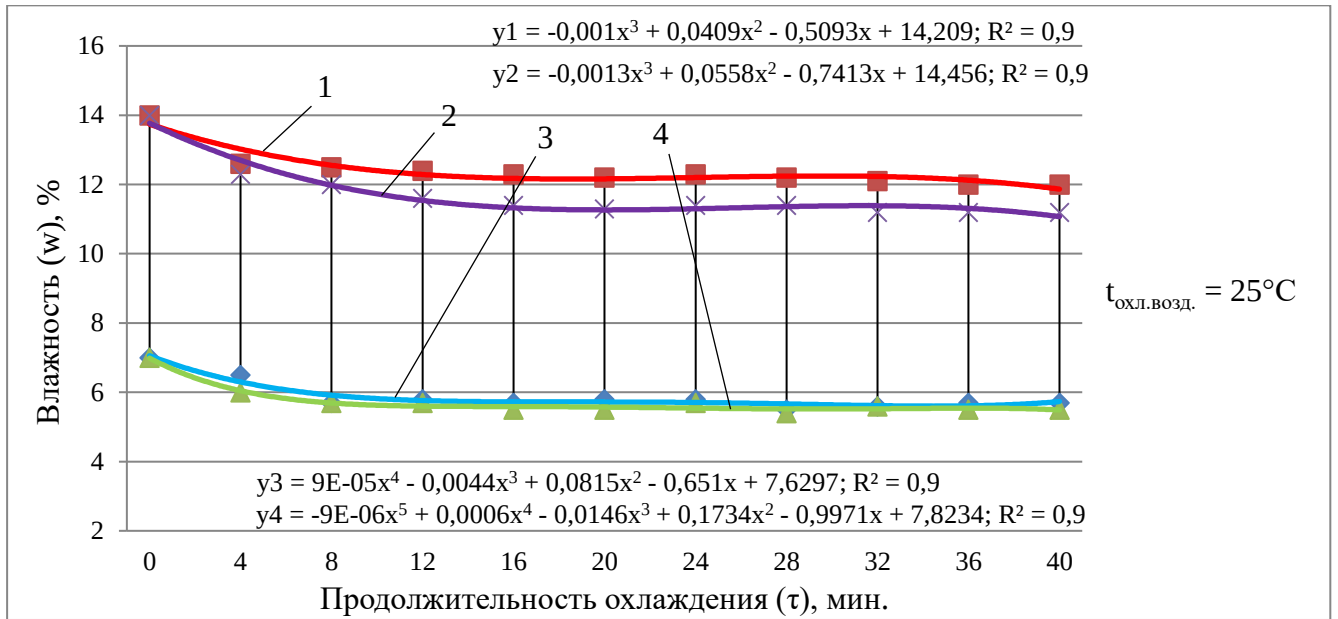


Рисунок 24 – Зависимости влажности семян рапса от начальной влажности семян и скорости охлаждающего воздуха: 1 – при скорости воздуха 0,2 м/с и начальной влажности семян 14%, 2 – при скорости воздуха 0,6 м/с и начальной влажности семян 14%, 3 – при скорости воздуха 0,2 м/с и начальной влажности семян 7%, 4 – при скорости воздуха 0,6 м/с и начальной влажности семян 7%.

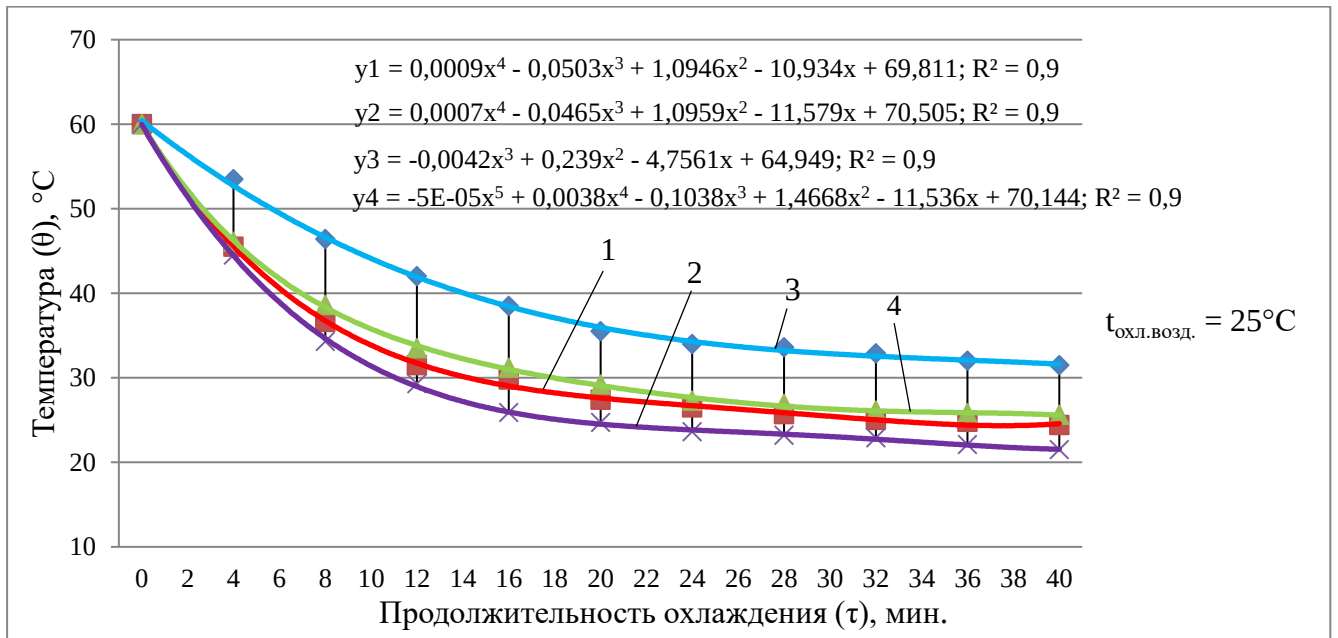


Рисунок 25 – Зависимости температуры семян рапса от начальной влажности семян и скорости охлаждающего воздуха: 1 – при скорости воздуха 0,2 м/с и начальной влажности семян 14%, 2 – при скорости воздуха 0,6 м/с и начальной влажности семян 14%, 3 – при скорости воздуха 0,2 м/с и начальной влажности семян 7%, 4 – при скорости воздуха 0,6 м/с и начальной влажности семян 7%.

Как и следовало ожидать, с увеличением скорости охлаждающего воздуха интенсивность охлаждения семян существенно возрастает и сокращается продолжительность охлаждения. Как видно из рисунка 25, увеличение скорости охлаждающего воздуха с 0,2 до 0,6 м/с способствует сокращению продолжительности охлаждения семян рапса до температуры охлаждающего воздуха минимум в два раза.

Результаты исследования влияния температуры охлаждающего воздуха на процесс охлаждения семян показаны на рисунках 26 и 27 (результаты опытов по моделированию процесса охлаждения 3.1.1.1 – 3.2.10.3, приведенные в приложении Г).

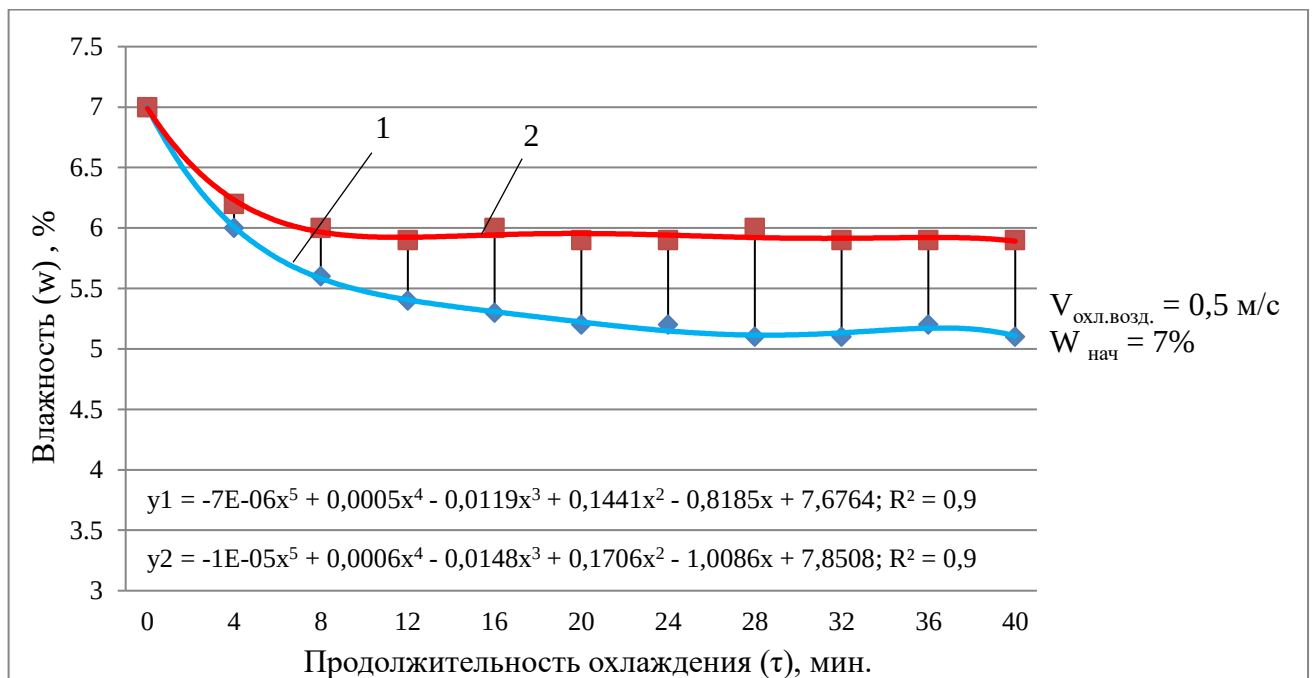


Рисунок 26 – Зависимости влажности семян рапса от температуры охлаждающего воздуха: 1 – при температуре 30°C; 2 – при температуре 20°C.

Проведя анализ результатов опытов, представленных на рисунках 26 и 27, можно сформулировать следующий вывод: несмотря на то, что семена охлаждались более интенсивно при более низкой температуре охлаждающего воздуха, общая длительность процесса увеличивалась на 10 минут, что составляет 25% от общей продолжительности охлаждения. Это вызвано снижением длительности процесса сушки (согласно рисунку 26), которая была более чем в два

раза меньше, чем в эксперименте с повышенной температурой охлаждающего воздуха.

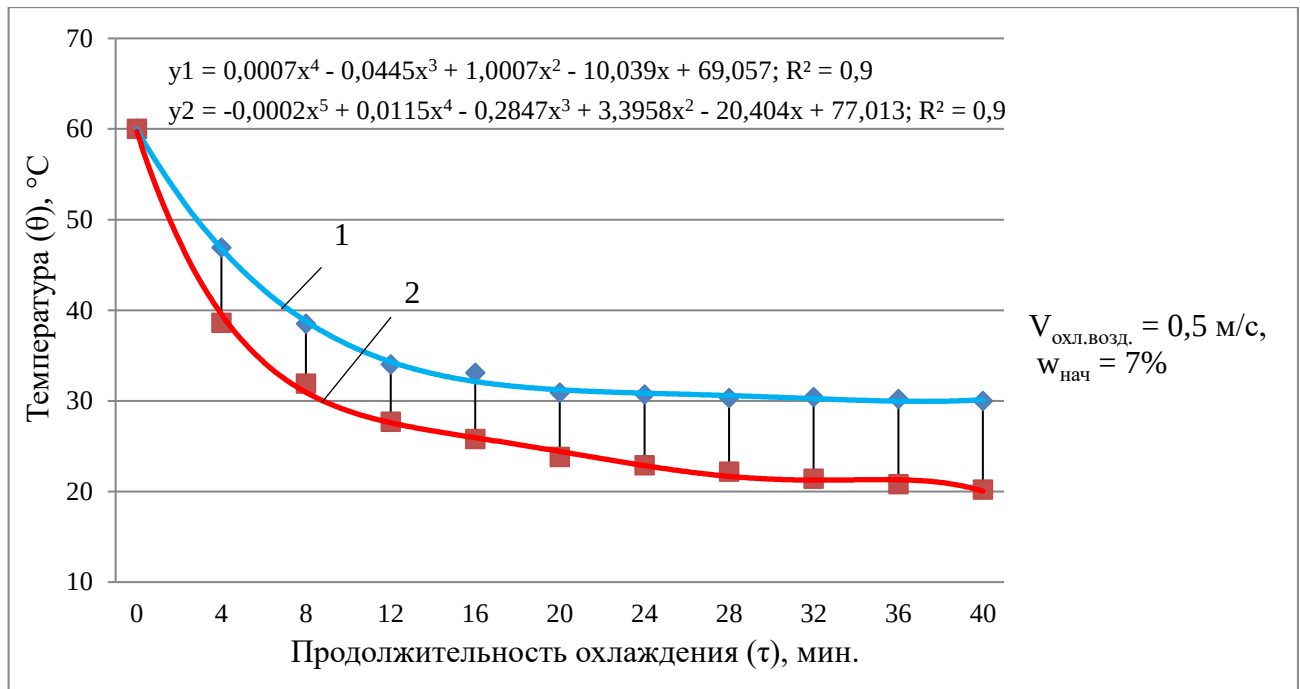


Рисунок 27 – Зависимости температуры семян рапса от температуры охлаждающего воздуха: 1 – при температуре 30°C; 2 – при температуре 20°C.

Аналогично опытам по сушке семян была проведена серия экспериментов по охлаждению двухкомпонентной смеси семян рапса с различной начальной влажностью. Связано это с тем, что в действующих рециркуляционных зерносушилках семена рапса в зонах сушки и охлаждения представляют собой именно двухкомпонентную семенную смесь, состоящую из нагретых сырых и рециркулирующих семян. Поэтому исследование влияния отдельных факторов на кинетику охлаждения двухкомпонентной смеси семян представляет практический интерес.

Как уже было отмечено ранее, рекомендованная продолжительность контактного тепловлагообмена составляет 10-30 минут. Исходя из этого, при проведении опытов по охлаждению двухкомпонентной смеси семян среднюю продолжительность тепловлагообмена в термостате было решено принять равной 20 минутам.

В процессе проведения лабораторных испытаний особый интерес представляло выявить влияние на процесс скорости сушильного агента и

начальной влажности семян, так как именно эти факторы оказали наибольшее влияние на процесс сушки однородных по влажности семян.

На рисунках 28 и 29 представлены результаты анализа влияния начальной влажности смеси семян на процесс охлаждения (результаты опытов 4.1.1.1 – 4.2.10.3 по моделированию процесса охлаждения, приведенные в приложении Г). Отрезки 1 (обозначены на графиках желтым цветом) характеризуют продолжительность процессов тепловлагообмена между семенами рапса с различной начальной влажностью.

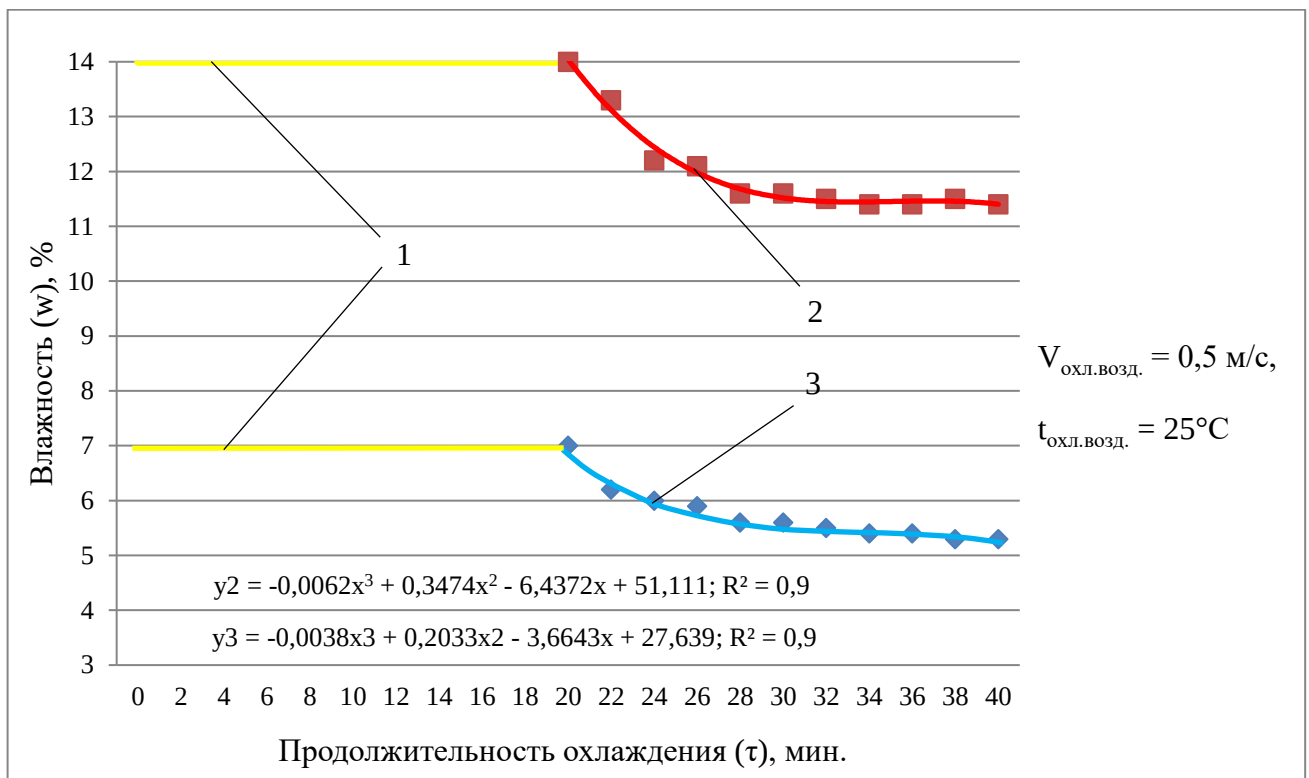


Рисунок 28 – Зависимости влажности смеси семян рапса от начальной влажности смеси семян: 1 – тепловлагообмен; 2 – при начальной влажности смеси семян 14%; 3 – при начальной влажности смеси семян 7%.

На основании полученных результатов, представленных на графиках рисунков 28 и 29, можно сделать вывод, что увеличение средневзвешенной влажности смеси вызывает интенсификацию процесса охлаждения (как и в опыте по моделированию охлаждения однородной партии семян). В этом случае, как и в случае с охлаждением однородной партии семян, увеличение темпа снижения температуры семенной смеси обусловлено увеличением доли тепла, расходуемого

семенами на испарение влаги. В случае охлаждения смеси семян наблюдается большее снижение влажности семян, по сравнению с сушкой однородных по влажности семян – 1,7-2,6% против 1,4-2,3% за аналогичный период. Как и в случае сушки двухкомпонентной смеси семян при квазиизотермических режимах, увеличение влагосъёма, по-видимому, связано с «миграцией» влаги к поверхности семени в процессе контактного тепловлагообмена.

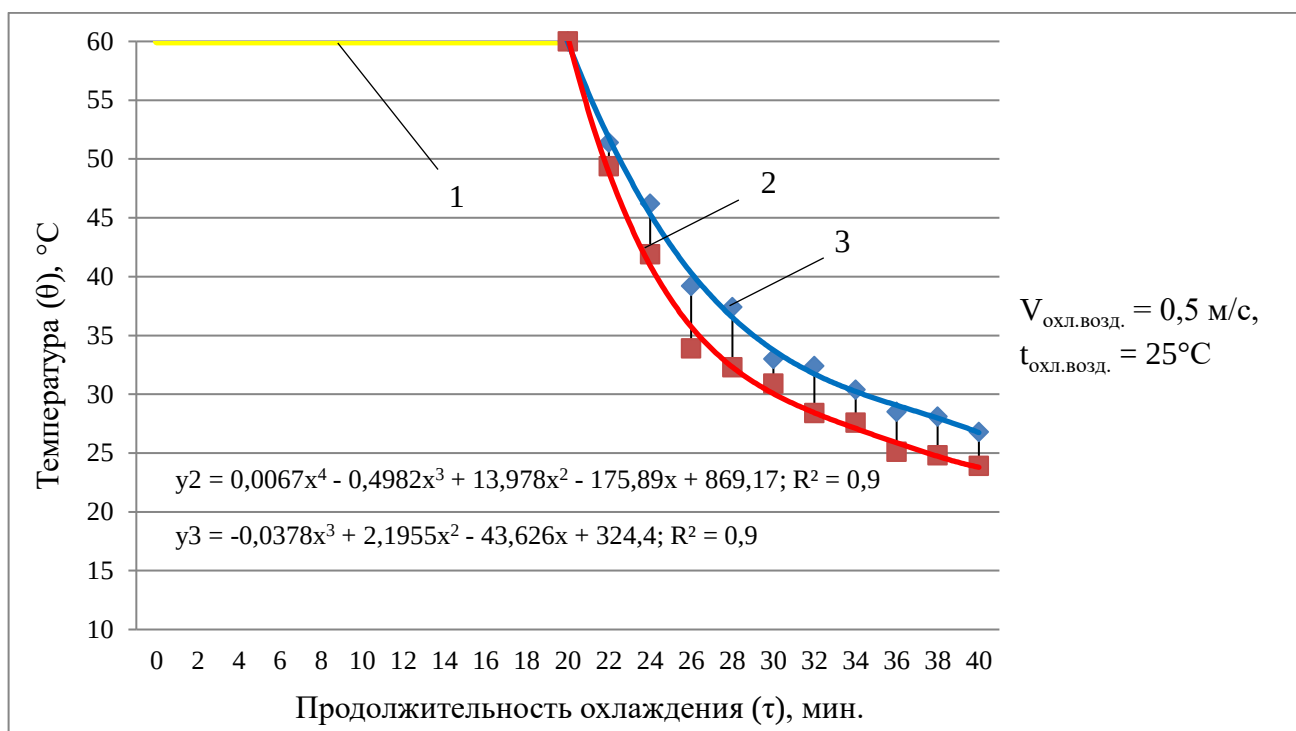


Рисунок 29 – Зависимости температуры смеси семян рапса от начальной влажности смеси семян: 1 – тепловлагообмен; 2 – при начальной влажности смеси семян 14%; 3 – при начальной влажности смеси семян 7%.

Следует также отметить, что разница скоростей охлаждения семенной смеси невелика и наблюдаема только в первый период охлаждения – после 5-6 минут охлаждения скорости процессов выравниваются.

Большее влияние на кинетику охлаждения двухкомпонентной смеси семян оказывает скорость охлаждающего воздуха (рисунки 30, 31). Результаты соответствуют опытам 4.1.1.1 – 4.2.10.3 по моделированию процесса охлаждения, приведенным в приложении Г.

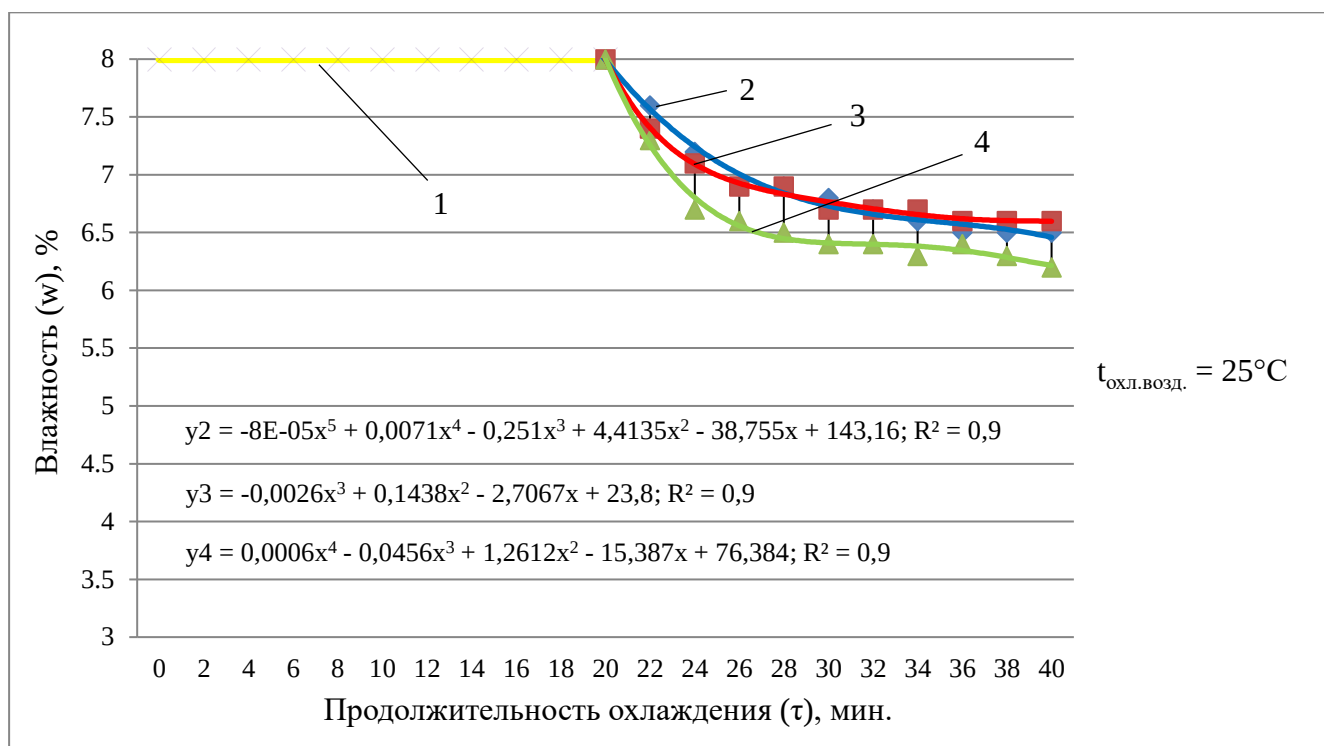


Рисунок 30 – Зависимости влажности смеси семян рапса от скорости охлаждающего воздуха: 1 – тепловлагообмен; 2 – при скорости воздуха 0,2 м/с; 3 – при скорости воздуха 0,4 м/с; 4 – при скорости воздуха 0,6 м/с.

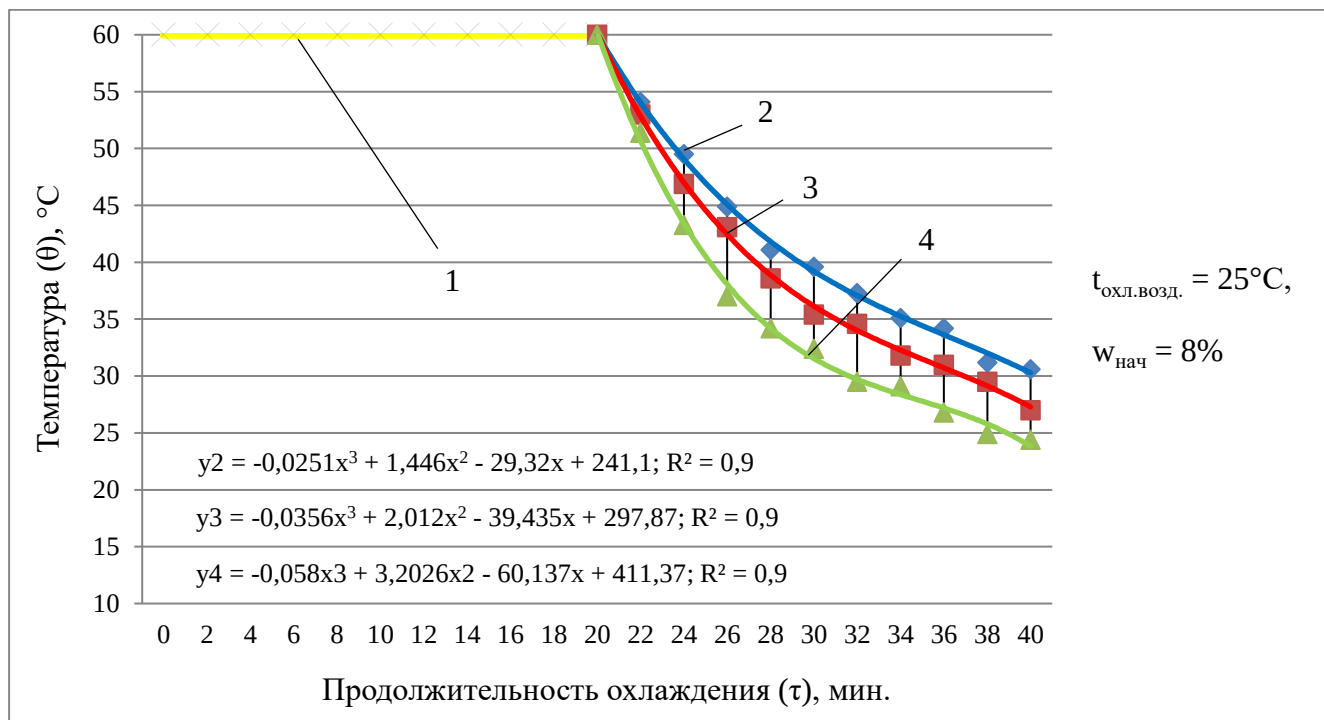


Рисунок 31 – Зависимости температуры смеси семян рапса от скорости охлаждающего воздуха: 1 – тепловлагообмен; 2 – при скорости воздуха 0,2 м/с; 3 – при скорости воздуха 0,4 м/с; 4 – при скорости воздуха 0,6 м/с.

Результаты опытов по охлаждению однородных по влажности семян рапса и двухкомпонентной смеси представлены в таблице 11.

Двухкомпонентная смесь в опытах с влажностью смеси семян равной 8% состояла из семян рапса с начальной влажностью 14% и 7%, смешанных в пропорции 1 к 6 и увлажненных в соответствии с ГОСТ Р 8.581-2001. Двухкомпонентная смесь, влажность которой составляла 14%, состояла из семян рапса с начальной влажностью 28% и 7%, смешанных в пропорции 2 к 1.

Таблица 11 – Результаты опытов по изучению изменения температуры и влажности однородных семян рапса и двухкомпонентной смеси после 20 минутного тепловлагообмена при их продувании атмосферным воздухом

Режимы охлажде- ния	Однородные по влажности семена				Двухкомпонентная смесь			
	Температура, °С		Влажность, %		Температура, °С		Влажность, %	
	нач.	кон.	нач.	кон.	нач.	кон.	нач.	Кон.
$V_{\text{охл.в.}}=0,2$ м/с, $t_{\text{охл.в.}}=25^{\circ}\text{C}$	60	31,5	7	5,7	60	30,6	8	6,5
$V_{\text{охл.в.}}=0,6$ м/с, $t_{\text{охл.в.}}=25^{\circ}\text{C}$	60	25,6	7	5,5	60	24,4	8	6,2
$V_{\text{охл.в.}}=0,5$ м/с, $t_{\text{охл.в.}}=25^{\circ}\text{C}$	60	25,0	14	11,7	60	23,9	14	11,4

По полученным данным можно сделать вывод, что сушка двухкомпонентной смеси семян после предварительного тепловлагообмена способствует более интенсивному снижению температуры и влажности семян. Однородные по влажности семена охлаждались до температуры, превышающей температуру охлаждающего воздуха на 5°С, в течение 16-26 минут, тогда как

двухкомпонентная семенная смесь достигала аналогичной температуры за 10-20 минут. Снижение влажности у двухкомпонентной смеси семян также происходило интенсивнее, в сравнении с однородными семенами – 1,5-2,6% против 1,3-2,3% соответственно.

Таким образом, предварительный тепловлагообмен смеси нагретых семян перед охлаждением способствует повышению эффективности сушки и охлаждения данных семян.

По результатам моделирования процесса охлаждения семян рапса сформулированы следующие обобщающие выводы:

1. Температура семян рапса снижается особенно интенсивно первые 20 минут, затем практически не меняется. Это происходит вследствие большой площади активной поверхности семенной массы рапса. Влажность рапса также активно снижается первые 12-16 минут охлаждения, затем происходит планомерное снижение интенсивности, которое практически полностью затухает через 30 минут охлаждения.

2. В целях повышения эффективности охлаждения семян целесообразно организовать предварительный тепловлагообмен продолжительностью около 20 минут.

3. Снижение влажности семян рапса составляет от 1 до 2,5% и зависит от температуры охлаждающего воздуха, его скорости и начальной влажности семян. При температуре охлаждающего воздуха более 25°C и скорости не менее 0,5 м/с семена в зону охлаждения могут направляться влажностью до 9%.

4. Процессы нагрева и охлаждения семян рапса, испарения влаги из семян происходят быстрее в сравнении с данными процессами, протекающими в зерновой массе злаковых культур [60, 105]. Эти факторы связаны с большей контактной поверхностью семенной массы рапса, а также высокими показателями диффузии влаги и теплопроводности у данной культуры.

2.2.4 Влияние режимов конвективной сушки на качественные характеристики высушиваемых семян рапса при системном взаимодействии сушильного агента и объекта сушки

К качественным показателям семян рапса в первую очередь относится всхожесть, так как снижение данного показателя свидетельствует о действии негативных процессов в белковом и липидном комплексах, сокращении энзимной активности и разрушении витаминов.

Также к качественным показателям относится кислотное число масла, так как оно характеризует жирнокислотный состав липидов семян. Рост кислотного числа масла свидетельствует о разрушении триглицеридов с образованием свободных жирных кислот.

Результаты исследований продемонстрировали, что наибольшее снижение влажности семян рапса за цикл сушки при квазиизотермических режимах наблюдается при температуре агента сушки 120°C и его скорости от 0,4 до 0,6 м/с. Однако сушка семян при данных режимах характеризуется быстрым достижением максимальной температуры их нагрева. Процесс сушки при данных режимах контролировать достаточно сложно, что обуславливает наименьшую сохранность качественных показателей семян.

Результаты опытов по изучению влияния скорости и температуры агента сушки, и температуры нагрева семян на всхожесть семян рапса, представленные в таблице 12, свидетельствуют о том, что максимальное сохранение всхожести рапса достигается при сушке агентом, температура которого не превышает 80°C.

Начальное значение температуры предварительно нагретых семян составило 60°C. Дальнейшее значение температуры семян рапса определяли после их сушки в течение 26 минут.

Несмотря на то, что в работе изучалась кинетика сушки рапса, целевым назначением которого является его промышленная переработка, а именно получение растительного масла и кормовых продуктов (жмых и шрот), всхожесть, как важнейший качественный параметр высушиваемых семян, имеет

существенную роль, прежде всего, как индикатор, характеризующий протекание негативных процессов в системе семян в процессе их сушки.

Таблица 12 – Результаты анализа влияния температуры и скорости агента сушки, а также температуры нагрева семян на всхожесть семян рапса

Скорость сушильного агента, м/с	Температура сушильного агента, °С							
	Начальная (контроль)		80		100		120	
	Темпера- тура передвари- тельно нагретых семян, °С	Всхо- жесть, %	Темпера- тура семян, °С	Всхо- жесть, %	Темпера- тура передвари- тельно нагретых семян, °С	Всхо- жесть, %	Темпера- тура семян, °С	Всхо- жесть, %
Начальная	60	84	-	-	-	-	-	-
0,2	-	-	44	84	51	80	55	80
0,4	-	-	55	81	58	79	60	76
0,6	-	-	59	79	63	71	68	62

По результатам данных, приведенных в таблице 12, можно сделать заключение о том, что на сохранение семенных достоинств семян рапса влияют как температура нагрева семян, так и скорость сушильного агента. Всхожесть семян рапса снижается от 3 до 10% при нагреве семян выше 50°C и от 15 до 27% при нагреве семян выше 60°C (но не более 70°C), что объясняется денатурацией белков зародыша, а также окислительным распадом и связыванием липидов.

Также следует отметить, что данные, приведенные в таблице 12, получены при сушке семян с различной начальной влажностью (от 13 до 25%). Это предопределяет возможность применения данных режимов для сушки семян рапса, как с высокой, так и с низкой начальной влажностью.

В ходе анализа влияния температуры агента сушки на кинетику сушки семян рапса также провели ряд опытов по определению влияния температуры нагрева семян на изменение кислотного числа масла, получаемого из таких семян.

Исследования проводили при скорости сушильного агента 0,4 м/с и начальной влажности семян 13%. Продолжительность нагрева составила 26 минут. Результаты опытов представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты опытов по анализу влияния температуры сушильного агента и температуры нагрева семян на кислотное число липидов

№	Температура агента сушки, °С	Температура нагрева семян, °С	Кислотное число масла, мг КОН/1г на АСВ
1	Контроль	-	2,24
2	80	54,5	2,71
3	100	58	2,80
4	120	60	2,87

Данные, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что с ростом температуры нагрева семян рапса происходит незначительное увеличение кислотного числа – на 6% при повышении температуры нагрева семян на 5°С. Данный эффект обусловлен ферментной активностью липазы, которая способствует гидролизу жиров с образованием свободных жирных кислот (стеариновой, пальмитиновой, линоленовой и т.д.). При этом все полученные показатели соответствуют требованиям ГОСТ 31759-2012 на рапсовое масло.

На основании представленных данных можно сделать вывод о том, что изменение качественных характеристик семян рапса в процессе их системного взаимодействия с агентом сушки зависит от режимов их сушки (температуры нагрева семян, температуры и скорости сушильного агента) – чем они выше, тем более низкими качественными показателями характеризуются высушенные семена.

2.2.5 Математическая модель зависимости температуры и влажности высушиваемых семян рапса от режимов их сушки и охлаждения

По результатам лабораторных исследований установили, что предпочтительными параметрами сушки семян рапса являются: температура сушильного агента 80°С, скорость сушильного агента 0,4-0,6 м/с, максимальная

температура нагрева семян 60°C . При данных параметрах достигается максимальное снижение влажности (до 6,3%) при наименьших качественных потерях (всхожесть, энергия прорастания и кислотное число) высушиваемых семян.

При охлаждении семян целесообразно предусматривать предварительный тепловлагообмен между партиями семян с различной начальной влажностью. Скорость охлаждающего воздуха должна составлять не менее 0,5 м/с, продолжительность охлаждения – не менее 20 минут, так как при данных параметрах обеспечивается охлаждение семян до значений близких к показателям атмосферного воздуха.

При заданных режимах сушки и охлаждения семян, по данному методу можно определить ориентировочные параметры кинетики сушки и охлаждения семян рапса.

В ряде опытов измерение параметров семян осуществляли также и в коробах зерносушилки (приложение Д). Кинетика изменения влажности и температуры семян, в случае рециркуляционной сушки, представлена на рисунке 32.

Сплошными линиями на графике представлено изменение температуры высушиваемых семян, пунктирными – изменение влажности данных семян. Также на графике выделены зоны зерносушилки, в которых протекают исследуемые процессы.

Снижение влажности семян в опытах, результаты которых отражены на рисунке 32, составило около 2%. Данное значение было обеспечено за счёт снижения влажности семян на следующих этапах технологического процесса: в зоне предварительного нагрева - 0,3%, в зоне сушки (охлаждения) семян - 1,7%. Кратность смешения сырых и рециркулирующих семян в данном эксперименте составила 6,8.

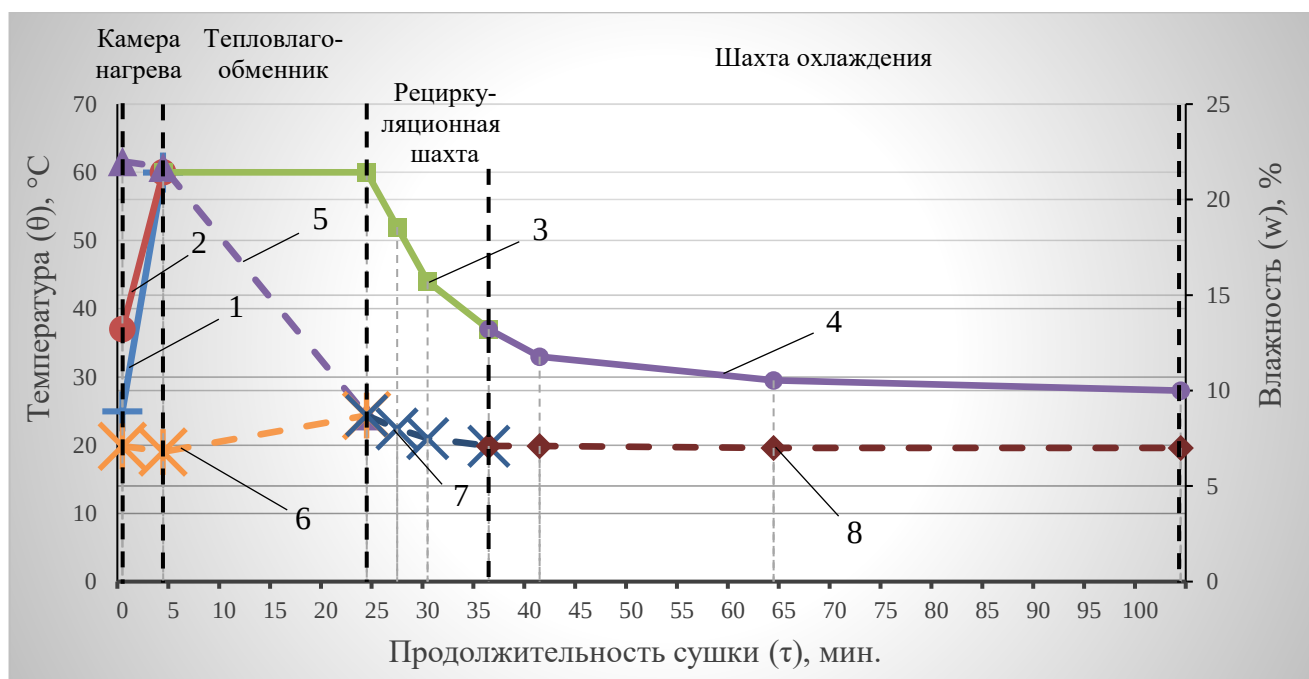


Рисунок 32 – Кинетика изменения температуры и влажности рапса при сушке семян с частичной рециркуляцией: 1 – температура сырых семян, 2 – температура рециркулирующих семян, 3 – температура смеси сырых и рециркулирующих семян, 4 – температура просушенных семян, 5 – влажность сырых семян, 6 – влажность рециркулирующих семян, 7 – влажность смеси сырых и рециркулирующих семян, 8 – влажность просушенных семян.

Кинетика протекания рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах представлена на рисунке 33.

По данным, представленным на рисунке 33, суммарное снижение влажности семян за цикл сушки составило почти 6% и было обеспечено на следующих этапах технологического процесса: в зоне предварительного нагрева семян – около 0,3%, в зоне квазиизотермической сушки – 3,9%, в зоне охлаждения семян – 1,6%. При этом кратность смешения сырых и рециркулирующих семян сократилась до 3. Таким образом, предположение о значительном сокращении кратности смешения за счёт увеличения влагосъёма, достигнутого путём замены части зоны охлаждения зоной сушки при квазиизотермических режимах, полностью подтвердилось. Существенно повысилось снижение влажности семян в зоне сушки при квазиизотермических режимах по сравнению с сушкой при

рециркуляционных режимах, при которых в данной зоне осуществлялось охлаждение семян.

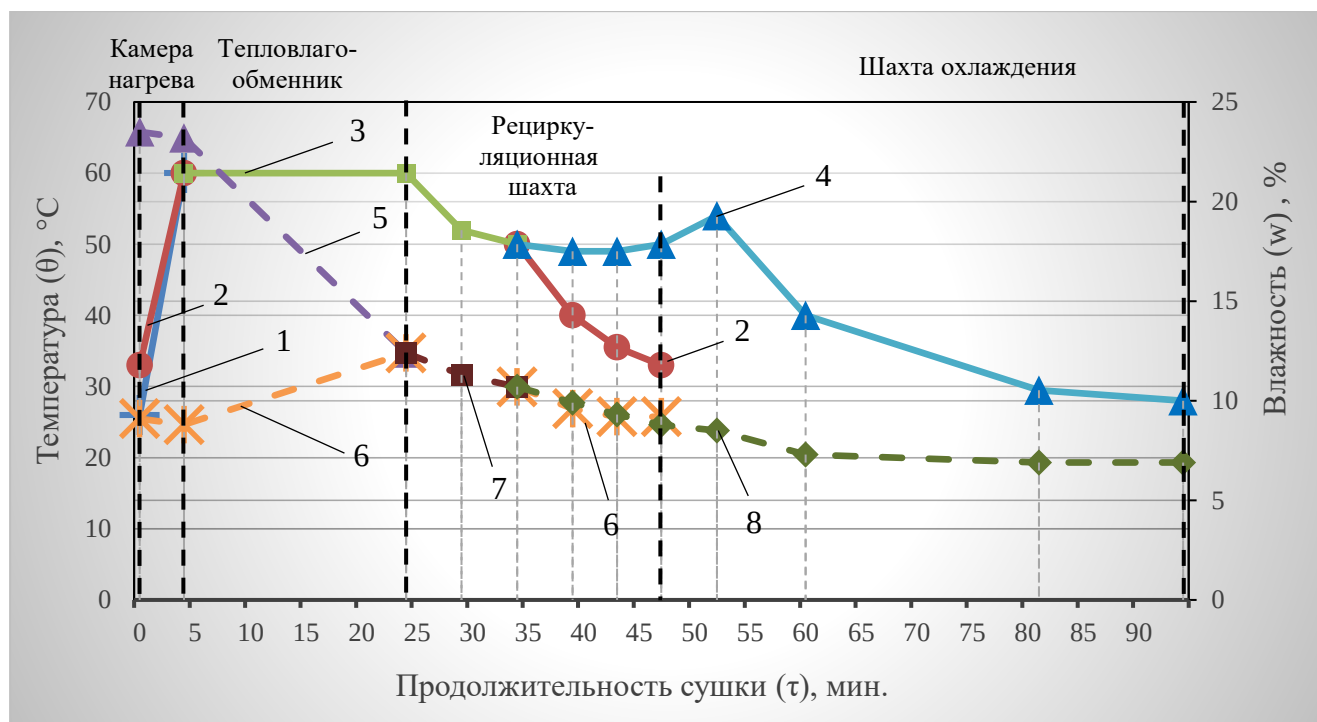


Рисунок 33 – Кинетика изменения температуры и влажности семян рапса в рециркуляционной зерносушилке при квазиизотермических режимах: 1 – температура сырых семян, 2 – температура рециркулирующих семян, 3 – температура смеси сырых и рециркулирующих семян, 4 – температура просушенных семян, 5 – влажность сырых семян, 6 – влажность рециркулирующих семян, 7 – влажность смеси сырых и рециркулирующих семян, 8 – влажность просушенных семян.

Данные по снижению влажности на различных этапах сушки при квазиизотермических режимах показывают, что сушку семян рапса с начальной влажностью до 12,5-13% допустимо осуществлять без рециркуляции.

Представленные графики иллюстрируют процессы сушки семян рапса, происходящие в различных зонах рециркуляционных зерносушилок, работающих по классической схеме и при квазиизотермических режимах. Они позволяют проанализировать и спрогнозировать протекание процессов сушки семян рапса при заданных режимах.

Проведенная математическая обработка экспериментальных результатов позволила выявить зависимости, выраженные уравнениями регрессии на представленных выше графиках (рис. 10-31).

На основании данных уравнений возможно определить функцию y в виде многочлена, коэффициенты которого зависят от режимных параметров процесса:

$$y = a_5(\theta, w, V, T)x^5 + a_4(\theta, w, V, T)x_4 + \dots + a_0(\theta, w, V, T), \quad (20)$$

где:

y – искомое значение по оси ординат, которое в зависимости от исследуемых параметров отражают либо температуру высушиваемых семян ($^{\circ}\text{C}$), либо их влажность (%);

x – продолжительность сушки/ охлаждения, мин.;

θ – температура сушильного агента/ охлаждающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

w – начальная влажность высушиваемых семян, %;

V – скорость сушильного агента/ охлаждающего воздуха, м/с;

T – продолжительность тепловлагообмена, мин.;

a – коэффициент, определяемый в виде полинома второй степени по формуле:

$$a_k(\theta, w, V, T) = b_0 + b_1\theta + b_2w + b_3V + b_4T + b_5\theta^2 + b_6\theta w + b_7\theta V + b_8\theta T + b_9w^2 + b_{10}wV + b_{11}wT + b_{12}V^2 + b_{13}VT + b_{14}T^2, \quad (21)$$

Коэффициенты $b_0, b_1, \dots, b_{14}$ находим по методу наименьших квадратов из системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} b_0 \sum_{i=1}^k 1 + b_1 \sum_{i=1}^k \theta_i + b_2 \sum_{i=1}^k w_i + \dots + b_{14} \sum_{i=1}^k T_i^2 = \sum_{i=1}^k a_k^i \\ b_0 \sum_{i=1}^k \theta_i + b_1 \sum_{i=1}^k \theta_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^k w_i \theta_i + \dots + b_{14} \sum_{i=1}^k T_i^2 \theta_i = \sum_{i=1}^k a_k^i \theta_i \\ \dots \dots \dots \\ b_0 \sum_{i=1}^k T_i^2 + b_1 \sum_{i=1}^k \theta_i T_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^k w_i T_i^2 + \dots + b_{14} \sum_{i=1}^k T_i^4 = \sum_{i=1}^k T_i^2 \end{cases}, \quad (22)$$

где: k – количество полиномиальных уравнений, параметры сушки и охлаждения которых будут использоваться в расчётах.

Количество многочленов в уравнении 20 соответствует их количеству в уравнениях на графиках влияния различных факторов на влажность и температуру семян рапса.

Таким образом, в случае, если нам известны основные параметры процесса сушки при квазиизотермических режимах, такие как температура и скорость сушильного агента, влажность семян и продолжительность тепловлагообмена, мы можем вычислить ориентировочные значения температуры и влажности высушиваемых семян рапса в определённый период их сушки и охлаждения.

2.2.6 Разработка технологии рециркуляционной сушки высоковлажных семян рапса на основе применения квазиизотермических режимов

Предложенная автором технологическая схема производственной установки предназначена для сушки семян рапса с высокой начальной влажностью в период их заготовки на хлебоприёмных предприятиях.

Данная технологическая схема производственной установки отображена на рисунке 34. Она состоит из топки, работающей на газообразном топливе (1), надсушильного бункера (4), камеры предварительного нагрева семян (3), тепловлагообменника (2), рециркуляционной (5) и охлаждающей (6) шахт, отдельно стоящей камеры охлаждения (9), воздушно-ситового сепаратора (7), оперативного бункера (11) и бункера для отходов механической очистки семян (10), порционных весов (8), транспортного (ленточные конвейера и нории) и аспирационного оборудования, а также контрольно-измерительных и регулирующих приборов. Маршрут движения семян на схеме показан сплошной чёрной тонкой линией. Тонкой пунктирной линией отображён маршрут транспортировки отходов механической обработки семян. Сплошной толстой линией изображен маршрут подачи агента сушки, толстыми пунктирными линиями – схема подачи охлаждающего воздуха и аспирационные сети.

Предложенная технологическая схема сушки семян рапса включала в себя следующие операции: семена рапса с накопительной площадки сырого зерна при помощи самотёков подавались на ленточный транспортёр, расположенный в подземной галерее, далее подавались на норию Н1, затем на воздушно-ситовой сепаратор (7), на норию Н2 и в оперативный бункер влажного зерна (11), откуда при помощи перекидного клапана равномерно распределялись по двум самотёкам, подающим семена на рециркуляционные нории Н3 и Н4. Далее

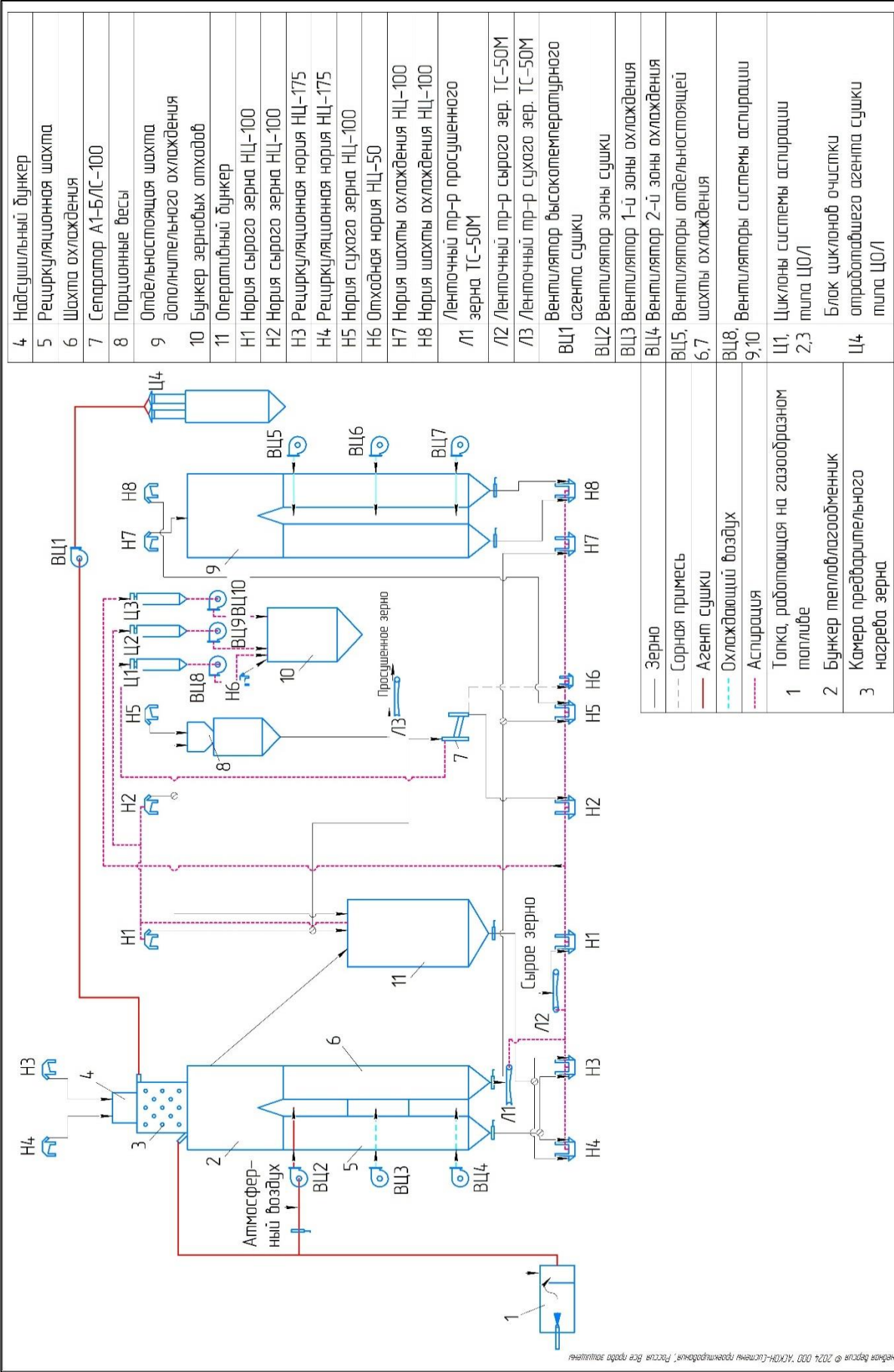


Рисунок 34. Технологическая схема производственной установки, работающей по принципу предварительного нагрева зерна с дополнительной подачей сушильного агента в верхнюю зону напорно-распределительной камеры.

ИДНТ/АС-30 v23 Челябинск Версия © 2024 0000 "АКОН-Системы проектирования", Россия Все права защищены

Не для коммерческого использования

нориями происходил подъём семян и их подача в надсушильный бункер (4). Оттуда семена поступали в камеру предварительного нагрева (3), где осуществлялся их кратковременный нагрев высокотемпературным агентом сушки в состоянии заторможенно-падающего слоя. Затем семена поступали в тепловлагообменник (2), где происходило полное выравнивание температуры и частичное выравнивание влажности между рециркулирующими и свежими (сырыми) семенами. Далее семена распределялись в рециркуляционную (5) и охлаждающую (6) шахты. В верхней зоне шахт протекала сушка семян при квазиизотермических режимах за счёт подачи в напорно-распределительную камеру агента температурой 80°C. Следует отметить, что по классической технологии рециркуляционной сушки процесс сушки в данной зоне обеспечивается за счёт подачи в камеру атмосферного воздуха без его нагрева.

Особенность квазиизотермических режимов, при которых осуществлялась сушка семян рапса в рассматриваемой зоне зерносушилки, состоит в характерном изменении температуры семян в течение процесса. Вначале процесса температура семян снижается, и после определённого времени сушки начинает возрастать, обеспечивая условное равенство температурных значений на начальной и конечной стадиях процесса сушки.

В нижних секциях охлаждающей и рециркуляционной шахт происходило охлаждение семян за счёт их продувания атмосферным воздухом. Рециркулирующие семена рапса при помощи перекидного клапана равномерно распределялось по рециркуляционным нориям Н3 и Н4. На выходе из шахты охлаждения, основываясь на показаниях приборов учёта температуры просушенных семян, осуществлялся выбор маршрута. При соответствии температуры семян допустимым значениям (по ГОСТ 28293-89 не должна быть больше температуры окружающего воздуха более чем на 10°C), семена рапса через весы (8) направлялись в склад на хранение. В случае превышения уровня допустимого значения температуры семян на выходе из охлаждающей шахты, просушенные семена направлялись на норию Н7, осуществляющую подачу просушенных семян в отдельно стоящую дополнительную шахту охлаждения (9),

после чего при помощи норий Н8 и Н9, пройдя через весы (8), семена подавались на ленточный конвейер ЛЗ и направлялись на хранение.

Семена рапса в отдельно стоящую шахту охлаждения могут также подаваться при применении режимов, не предусматривающих охлаждение рециркулирующих семян. В этом случае предусматривается отключение основных вентиляторов зон охлаждения рециркуляционной и охлаждающей шахт ВЦЗ и ВЦ4.

Принципиальное отличие предложенной технологии от общепринятой технологии рециркуляционной сушки при осциллирующих режимах заключается в подаче в верхнюю зону напорно-распределительной камеры теплоносителя, нагретого до температуры ок. 80°C, а не охлаждающего воздуха. В нижние же секции шахт подаётся атмосферный воздух, за счёт чего там происходит охлаждение семян до требуемой температуры.

В качестве сушильного агента используется смесь атмосферного воздуха и топочных газов.

Дополнительная подача агента сушки в верхнюю секцию напорно-распределительной камеры обеспечивается за счет подвода воздуховода к вентилятору 1 ступени. Для регулировки температуры агента сушки в воздуховоде смонтировали шиберную задвижку. С помощью неё осуществляли изменение соотношения количества нагнетаемого сушильного агента и атмосферного воздуха. С целью контроля температуры сушильного агента в воздуховоде установили платинородий-платиновую термопару, подключенную к общей системе автоматизированного контроля режимов сушки.

Отдельно стоящая шахта охлаждения представляет собой две шахты от зерносушильной установки ДСП-32от с напорно-распределительной камерой посередине. Вместо сушильного агента в зоны сушки шахты охлаждения подаётся атмосферный воздух. В остальном же конструкция шахты осталась без изменений.

Как уже было описано в первой главе, в настоящее время осталось довольно мало предприятий, производящих зерносушильную технику, работающую по принципу частичной рециркуляции просушенных семян. В связи с этим

рассмотрели возможность перевода импортных шахтных прямоточных зерносушилок на рециркуляционный режим сушки.

В качестве прототипа выбрали зерносушилку фирмы «Buhler» типа «Eco Dry» с отдельно стоящей шахтой охлаждения «Eco Cool». Схема данной зерносушилки представлена на рисунке 35 [94]. Данная зерносушилка предназначена для сушки семян с повышенной влажностью.

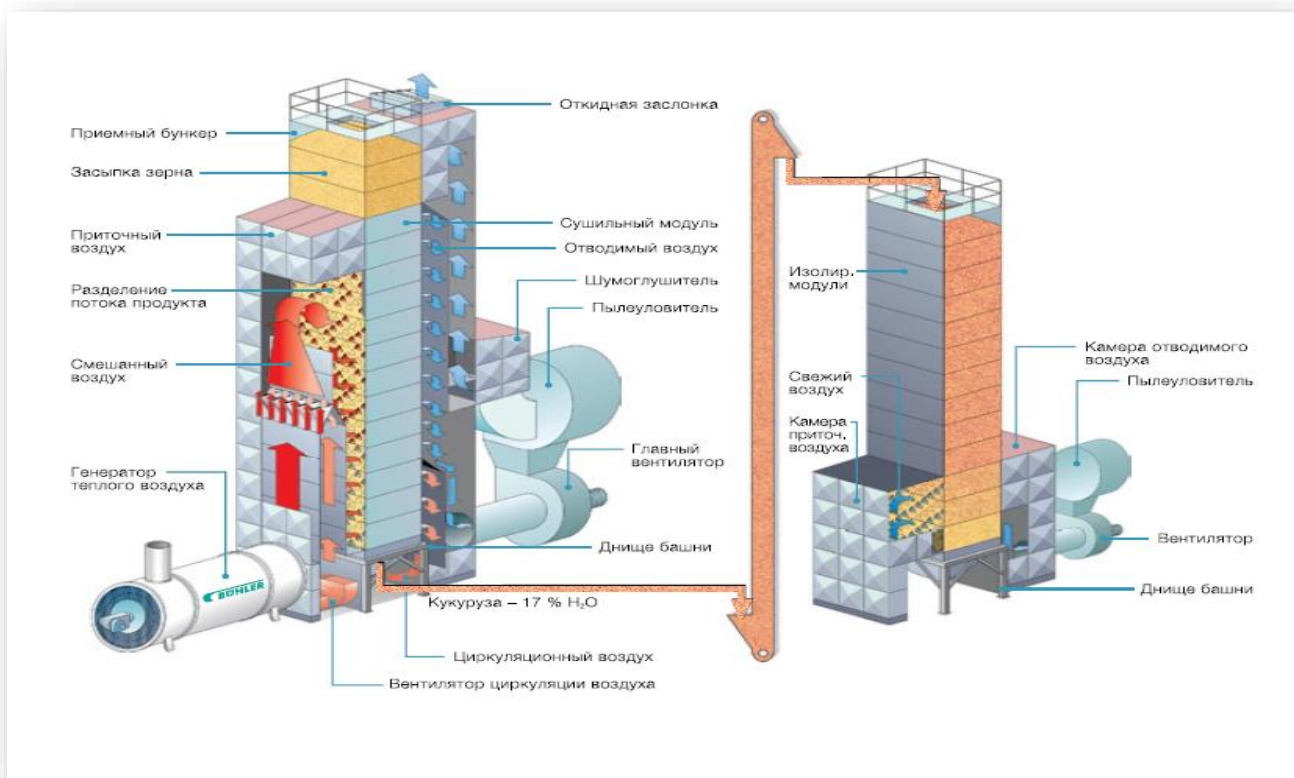


Рисунок 35 - Схема зерносушильной установки фирмы «Buhler» с отдельно стоящей шахтой охлаждения.

В соответствии с данной схемой, семена сначала поступают в зерносушильную установку, где осуществляется их сушка, после чего семена перемещаются во вторую шахту, предназначенную для их охлаждения, верхний бункер которой служит для перераспределения влаги между семенами различной начальной влажности.

На данный момент проведены переговоры с представителями фирмы «Buhler» касательно возможности внесения ряда конструктивных и технологических изменений с целью перевода зерносушилки на

рециркуляционный режим сушки. Изменения заключаются в установке дополнительного бункера, выполняющего роль тепловлагообменника, а также разделении потоков просушенных семян, при котором часть семян возвращалась бы на рециркуляцию, а оставшаяся часть направлялась бы в шахту охлаждения. Схема зерносушильной установки представлена на рисунке 36.

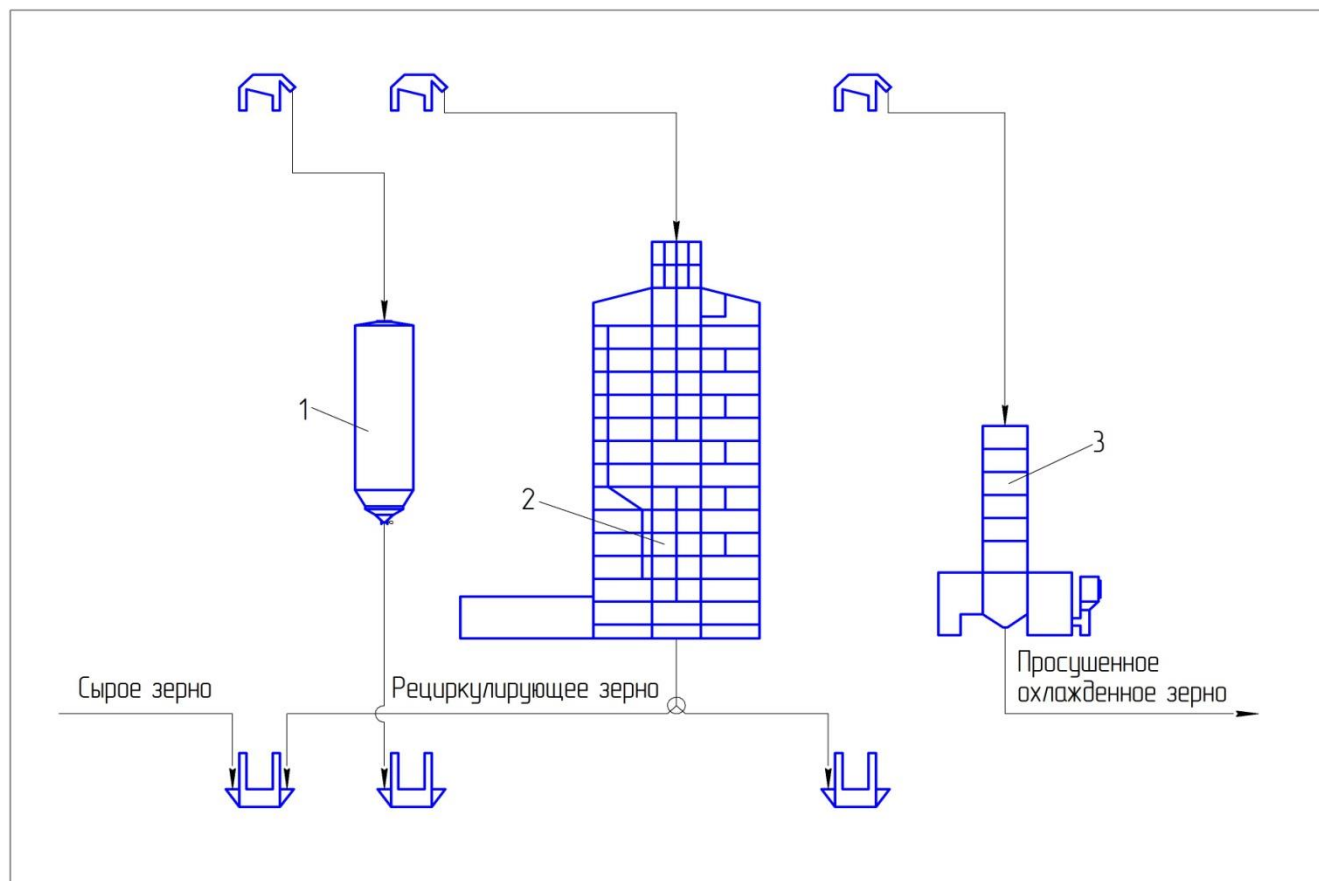


Рисунок 36 - Схема шахтной проточной зерносушильной установки, переведенной на рециркуляционный режим сушки. 1 – бункер-тепловлагообменник, 2 – зерносушилка, 3 – шахта охлаждения.

По представленной схеме свежие семена поступают в норию сырых семян, где смешиваются с рециркулирующими семенами. Затем смесь свежих (сырых) и рециркулирующих семян направляется в оперативный бункер, выполняющий роль тепловлагообменника. Затем происходит сушка семян с повышением их температуры до близкой к предельно допустимой (60°C). После сушки поток семян разделяется на две части, одна из которых поступает обратно в рециркуляционную норию на смешивание с сырыми семенами, оставшаяся часть – в охлаждающую шахту.

Подбор транспортного оборудования необходимо осуществлять на основании расчета производительности зерносушилки по свежим (сырым) и рециркулирующим семенам. Для этого необходимо определить максимальную и минимальную влажность, с которой семена (в нашем случае рапса) поступают на предприятие. Эти показатели необходимы для определения максимальных нагрузок на оборудование, предназначенное для транспортировки просушенных и рециркулирующих семян.

Как показал опыт, перевод шахтных зерносушилок на рециркуляционный режим сушки способствует увеличению производительности на 40-50% [6, 25, 104].

На основании экспериментальных данных установлено, что для эффективного охлаждения семян необходимо обеспечить удельную подачу охлаждающего воздуха в зону охлаждения в объёме 2-5 м³ на кг сухих семян в час, в зависимости от температуры атмосферного воздуха.

3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Разработка нормативно-технической документации и апробация в производственных условиях разработанной технологии рециркуляционной сушки высоковлажных семян рапса

Применение разработанной технологии сушки высоковлажных семян рапса в производственных условиях было выполнено на ОАО «Набережночелнинский элеватор» (в настоящее время АО «Набережночелнинский элеватор»). Испытания проводились на модернизированной зерносушилке непрерывного действия типа «Целинная» на базе ДСП-24 СН с предварительным нагревом семян в заторможенно-падающем слое и устройством, обеспечивающим подачу агента сушки в верхнюю часть напорно-распределительной камеры.

Были разработаны и утверждены технические условия ТУ 9721215-00946257-2016 на рециркуляционную сушку семян рапса при квазиизотермических режимах (приложение Б).

Основным целевым назначением высушиваемых семян рапса являлось применение их в качестве сырья для получения растительного масла и рапсового жмыха с последующим их использованием при производстве полнорационных комбикормов для сельскохозяйственных животных и птицы.

Семена рапса, которые использовались при проведении опытов, поступали с полей Азнакаевского, Сармановского, Заинского и Тукаевского районов Республики Татарстан в период уборки урожая 2013 года. Уборка семян рапса происходила методом прямого комбайнирования, что объясняет повышенную влажность (до 27%) и сорность (до 26%) поступающих на сушку семян рапса.

Результаты производственных испытаний (приведены в таблице 14) показали, что осуществление сушки при квазиизотермических режимах в верхней зоне рециркуляционной и охлаждающей шахт способствует повышению производительности зерносушилki ориентировочно на 25%, в сравнении

Таблица 14 – Результаты производственных испытаний сушки высоковлажных семян рапса

№	Культура	Температура атм. воздуха, °С	Влажность атм. воздуха, %	Влажн-ть семян, %		Температура агента сушки, °С		Температура семян рапса, °С		Кратность смешения сырых и рециркулирующих семян
				Начальн.	Конечн.	На входе в камеру нагрева	На входе в верхнюю зону	Начальная	Конечная	
Сушка с частичной рециркуляцией просушенных семян										
1	Рапс	29	52	15,4	6,8	300	-	30	30	2,9
2	Рапс	26	65	22,0	7	300	-	25	28	6,8
3	Рапс	32	70	27,0	6,8	300	-	28	30	7,3
4	Рапс	24	75	19,6	6,9	300	-	26	26	5,9
5	Рапс	30	68	24,9	7	300	-	28	30	6,7
6	Рапс	27	78	23,4	7,1	300	-	30	28	7,5
сред.	Рапс	28	70	22	6,9	300	-	28	29	6,1
Сушка при квазизотермических режимах										
1	Рапс	29	52	15,1	7,2	260	80	30	30	0,5
2	Рапс	26	65	23,5	6,9	260	80	26	28	3,0
3	Рапс	32	70	25,0	6,8	260	80	29	30	2,8
сред.	Рапс	29	62	21,2	7	260	80	28	29	1,8

с общепринятым способом рециркуляционной сушки. Также более чем в два раза снижается кратность смешения сырых и рециркулирующих семян. Это достигается за счет существенного увеличения объема испаряемой влаги за цикл сушки.

Во всех проведенных экспериментах наблюдалось эффективное охлаждение семян рапса – их температура на выходе из охладительной шахты не превышала температуру окружающего воздуха более чем на 1-2°C. Данных результатов удалось достичь путём увеличения объема охлаждающего воздуха, направляемого в зоны охлаждения, до 3,5 м³/кг х ч.

Результаты исследования влияния режимов сушки семян рапса на их основные качественные характеристики и на характеристики получаемого из них масла приведены в таблице 15 и приложении к акту производственных испытаний (приложение Б). Ввиду того, что процесс сушки семян характеризуется множеством параметров, исследования было целесообразно ограничить анализом воздействия на основные технологические (кислотное и перекисное число) и семенные (всхожесть и энергия прорастания) качественные показатели высушиваемых семян.

На основе проведенных исследований было установлено, что при заданных параметрах, в случае сушки при осциллирующих режимах, семена рапса влажностью от 15 до 27% просушиваются до требуемых значений при смешении сухих и рециркулирующих семян в пропорции (кратности) от 3 до 7,5 к 1. В случае сушки аналогичных по влажности семян при квазиизотермических режимах данная пропорция составила от 0,5 до 3 к 1.

При применении рециркуляционной сушки снижение всхожести и энергии прорастания семян рапса составляет около 30%, снижение кислотного числа масла – около 16%, а увеличение перекисного числа - около 10%. Сушка при квазиизотермических режимах обеспечивает более щадящее воздействие на семена: всхожесть и энергия прорастания снижаются в среднем на 20%, кислотное число масла снижается в среднем на 19%, перекисное число увеличивается на 8%.

Сушка при заданных режимах обеспечивает оптимальные условия протекания процесса, которые снижают негативные гидролитические реакции за

Таблица 15 – Влияние режимов сушки на основные качественные характеристики семян рапса и извлекаемого из них масла

№	Температура агента сушки, °С		Максимальная температура нагрева семян, °С	Кратность смешения сырых и рециркулирующих семян	Кислотное число масла, мг КОН/1г на АСВ		Перекисное число масла, ммоль/кг½О		Всхожесть, %		Энергия прорастания, %	
	На входе в кам. нагрева	На входе в верхнюю зону			До сушки	После сушки	До сушки	После сушки	До сушки	После сушки	До сушки	После сушки
Сушка с частичной рециркуляцией просушенного зерна												
1	300	-	62	2,9	3,76	2,96	5,52	6,55	65	55	57	49
2	300	-	57	6,8	3,31	2,9	6,61	8,02	56	38	44	29
3	300	-	60	7,3	3,5	2,91	7,74	9,18	45	26	41	24
4	300	-	61	5,9	3,42	2,82	6,43	7,68	60	43	54	40
5	300	-	60	6,7	3,67	3,05	6,96	8,34	53	33	49	31
6	300	-	61	7,5	3,41	2,98	6,33	7,82	57	38	48	32
сред.	300	-	60	6,1	3,51	2,94	6,60	7,93	56	39	49	34
Сушка при квазиизотермических режимах												
1	260	80	59	0,5	3,81	2,9	5,21	6,12	63	57	56	51
2	260	80	55	3,0	3,32	2,82	6,53	7,48	53	42	41	31
3	260	80	57	2,8	3,5	2,88	8,84	9,95	46	33	41	29
сред.	260	80	57	1,8	3,54	2,87	6,86	7,85	54	44	46	7

счёт быстрой деактивации липазы, а также предупреждают химическое окисление триглицеридов. Дальнейшее увеличение температуры агента сушки приводит к повышению температуры семян рапса до 70°C и выше. Столь высокие температуры ведут к образованию трещин на оболочке и существенно снижают качественные показатели высушиваемых семян. Снижение температуры нагрева семян до 50°C приводит к активизации гидролитических реакций [43] и, как следствие, увеличению кислотного числа масла на 1-2 мг КОН/1г.

Одним из основных параметров оценки качества семян рапса продовольственного назначения является определение остаточного содержания в них бензапирена, являющегося продуктом сгорания углеводородов и относящегося к веществам 1 (высшего) класса опасности. По результатам проведенных анализов остаточное содержание данного вещества в просушенных семенах, как в случае рециркуляционной сушки при осциллирующих режимах, так и в случае сушки при квазиизотермических режимах не обнаружено.

Также были проведены исследования по определению содержания в масле, получаемом из высушиваемых семян, токсичной эруковой кислоты. По результатам исследований рапсового масла данная кислота в нём не была обнаружена, что подтверждает возможность его безопасного использования в качестве пищевого и кормового продукта.

Выход масла при холодном отжиме семян, сушка которых осуществлялась при квазиизотермических режимах, аналогичен показателям, полученным при отжиме семян, высушенных с частичной рециркуляцией просушенных семян по «классической» технологии рециркуляционной сушки, и составил 34%.

Таким образом сушка семян рапса при квазиизотермических режимах обеспечивает повышенную сохранность основных товарных качеств высушиваемых семян. Это достигается за счёт снижения теплового воздействия на семена вследствие сокращения кратности их рециркуляции.

В данном разделе проанализированы основные качественные характеристики семян рапса, полученные в производственных условиях, при их системном взаимодействии с агентом сушки: всхожесть и энергия прорастания

Таблица 16 – Изменение влажности семян рапса на отдельных этапах процесса сушки

№	Температура атм. воздуха, °С	Влажность атм. воздуха, %	Влажность семян, %				Снижение влажности за 1 цикл, %	Производительность по сырому зерну, т/час
			На входе в сушилку	Теплового- обменник	Рецирку- лирующие	На выходе из сушилки		
Сушка с частичной рециркуляцией просушенных семян								
1	29	52	15,4	8,8	6,9	6,8	8,6	17,85
2	26	65	22,0	8,7	7,1	7	15,0	11,19
3	32	70	27,0	9,1	7	6,8	20,2	8,12
4	24	75	19,6	8,6	7,1	6,9	12,7	11,01
5	30	68	24,9	9,3	7,3	7	17,9	9,57
6	27	78	23,4	8,9	7,3	7,1	16,3	8,56
сред.	28	70	22	8,9	7,1	6,9	15,1	11,05
Сушка при квазизотермических режимах								
1	29	52	15,1	11,7	6,0	7,2	7,9	22,98
2	26	65	23,5	12,4	9,1	6,9	16,6	12,92
3	32	70	25	13,1	9,3	6,8	18,2	11,81
сред.	29	62	21,2	12,4	8,1	7	14,2	15,9

высушиваемых семян, а также кислотное и перекисное числа получаемого из них масла. По результатам проведенного анализа установлено, что сушка при квазиизотермических режимах обеспечивает их более высокую сохранность.

Изменение влажности семян рапса на отдельных этапах процесса рециркуляционной сушки представлено в таблице 16.

Исследования показали также, что при проведении производственных экспериментов при рассматриваемых режимах сушки, как и в случае лабораторных исследований, температура нагрева семян рапса остаётся в пределах допустимых значений.

В ходе производственной апробации установили, что температура семян рапса в процессе сушки при квазиизотермических режимах меняется в диапазоне 10°C, не достигая первоначальных значений температуры предварительно нагретых семян. Причем интересен тот факт, что в лабораторных исследованиях снижение температуры семян при сушке двухкомпонентной смеси достигало 15-20°C. Судя по всему температура семян не снижается до значений, полученных в лабораторных условиях, за счет дополнительного подвода тепла к семенам от нагретых элементов зерносушильной шахты.

Результаты опытов в производственных условиях подтверждают данные, полученные в ходе лабораторных исследований процессов рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах и охлаждения семян.

Таким образом результаты лабораторных исследований и производственных испытаний разработанной технологии рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах продемонстрировали, что предложенный способ сушки семян способствует существенному повышению интенсивности сушки и обеспечивает более высокое сохранение качественных показателей высушиваемых семян.

Анализ данных по итогам проведенных опытов демонстрирует, что во всех опытах на начальных этапах сушки отмечается снижение температуры семян, вызванное интенсивным испарением влаги за счёт тепла, аккумулированного ими в процессе их предварительного нагрева. В тот момент, когда затраты тепла на

испарение влаги из семян становятся меньше теплоты, получаемой семенами от агента сушки, начинается повышение температуры семян.

В связи с этим понятие «квазиизотермического цикла» основывается на равенстве температур семян в начале и в конце цикла и, следовательно, за продолжительность цикла необходимо принять отрезок времени, в течение которого температура высушиваемых семян достигает значений близких к первоначальному.

Таблица 17 – Сравнительный анализ удельных расходов тепла на сушку семян рапса

Способ сушки	Удельный расход тепла, кДж/кг исп. влаги
Прямоточный	5 024
Рециркуляционный с предварительным нагревом семян (осциллирующие режимы)	3 950
Рециркуляционный при квазиизотермических режимах	3 911

Применение технологии рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах обеспечивает более эффективное использование теплоэнергии в процессе сушки в сравнении с иными распространёнными способами сушки. В таблице 17 представлены итоговые данные, полученные по результатам расчётов удельных расходов тепла на 1 кг испаренной влаги. Исходные данные для расчёта получены на основании опытных данных, полученных в ходе производственных испытаний, в сравнении с другими общепринятыми технологиями сушки семян рапса в России [84].

Результаты проведенных исследований доказали, что сушка семян рапса при квазиизотермических режимах характеризуется наибольшей интенсивностью процессов испарения влаги, что в свою очередь обеспечивает существенное сокращение циклов рециркуляции семян. Данная особенность способствует сокращению затрат на электроэнергию, расходуемую на дополнительную

транспортировку семян, обеспечивает сокращение их повреждения в ходе дополнительных перемещений и способствует сохранению более высоких качественных показателей вследствие сокращения количества циклов нагрева. Подтверждением представленных зависимостей являются результаты производственных испытаний, отражённые в таблицах 14 и 15: в случае сушки семян рапса по «классической» рециркуляционной схеме с предварительным нагревом семя рапса влажностью 22% высушивались до влажности 7% при кратности смешения сырых и рециркулирующих семян 6,1 к 1; в случае рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах в сопоставимых условиях кратность рециркуляции снижалась до 1,7.

В ходе проведения испытаний было просушено более 300 тонн рапса. Руководством ОАО «Набережночелнинский элеватор» была подтверждена эффективность применения рассматриваемой технологии сушки – был подписан акт внедрения (приложение В).

Также осуществили производственную апробацию проведенных ранее опытов по оценке влияния предварительного тепловлагообмена нагретых семян на эффективность их последующего охлаждения.

Необходимость производственной проверки была обусловлена тем, что при проведении лабораторных исследований процесса охлаждения двухкомпонентной смеси семян в плотном слое установили, что предварительный тепловлагообмен смеси нагретых семян повышает эффективность последующего охлаждения семян.

Продолжительность контактного тепловлагообмена между сырыми и рециркулирующими семенами изменяли в интервале от 10 до 30 минут. Изменение продолжительности тепловлагообмена осуществляли при помощи регулировки уровня семян в бункере тепловлагообменнике.

Охлаждающий воздух подавался при помощи трёх вентиляторов Ц4-70, ВРС-8 и ВРС-10. Общая подача охлаждающего воздуха в охладительную шахту составляла около 40 000 м³/ч (удельная подача составила 3,6 м³/кг×ч). Вместимость бункера над охладителем позволила производить тепловлагообмен в

течение 20-30 минут при непрерывной работе сушилки и охладителя. Результаты проверки приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты испытаний влияния продолжительности тепловлагообмена на процессы охлаждения семян рапса

№ п/ п	Продолжи- тельность тепловлаго- обмена, мин.	До охлаждения		После охлаждения		Охлаждающий воздух	
		Влажность, %	Темпера- тура, °С	Влажность , %	Темпера- тура, °С	Темпера- тура, °С	Отн. влажность , %
1	Без тепловлагообмена	8,5	60	7,0	32,3	24	75
2	10	8,4	60	7,0	29,9	24	75
3	20	8,6	60	7,2	27,5	24	75
4	30	8,5	60	6,9	25,4	24	75

Как видно из таблицы 18, в опыте без тепловлагообмена разница температур семян и атмосферного воздуха составляет более 8°С. С увеличением продолжительности контактного тепловлагообмена разница сокращалась, достигая 1,4°С при наиболее длительном периоде.

Повышение эффективности охлаждения семян в результате предварительного тепловлагообмена нагретых семян происходит, по-видимому, в результате перераспределения влаги в каждом отдельном семени, происходящего при отлёжке и появлении свободной влаги на поверхности семян. Визуально, при проведении опытной проверки, после отлёжки нагретых семян наблюдали увлажнение поверхности семян. В процессе последующего нагрева испарение такой влаги приводит к дополнительному снижению температуры семян. Однако, разница в снижении влажности, которая подтверждала бы соответствующее предположение, не проявилась. Снижение влажности семян в процессе охлаждения во всех опытах было примерно одинаковым и составило 1,4-1,6%. Судя по всему, это произошло из-за неравномерной влажности сырых семян, поступающих на сушку.

Проведенные исследования и расчёты свидетельствуют о целесообразности использования способа рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах, так как данному способу, наряду с известными достоинствами рециркуляционных зерносушилок, присущи особенности, которых не удаётся достичь при общепринятых способах сушки в шахтных прямоточных зерносушилках и рециркуляционных зерносушилках с сушкой при осциллирующих режимах, а именно – способность обеспечить снижение практически любой влажности семян рапса до заданных параметров за один пропуск через зерносушильную установку при рациональных технико-экономических параметрах.

3.2 Анализ технико-экономической эффективности применения разработанной технологии рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах

Расчет и обоснование предпочтительных технико-экономических параметров сушки семян рапса целесообразнее всего проводить на зерносушилках различного принципа работы. С этой целью при расчете экономической эффективности осуществляли сравнение основных показателей работы зерносушилок, работающих по принципам шахтной прямоточной, «классической» рециркуляционной сушки с предварительным нагревом семян и последующим охлаждением атмосферным воздухом и рециркуляционной сушки семян рапса при квазиизотермических режимах.

Для объективного определения преимуществ того или иного способа сушки сравнение основных технико-экономических характеристик осуществляли на примере зерносушилки ДСП-24 СН различной конструкции: шахтная прямоточная, рециркуляционная (Целинная-36 на базе ДСП-24 СН) и рециркуляционная модернизированная, с возможностью дополнительной подачи теплоносителя в верхнюю зону сушки.

Таблица 19 – Результаты расчета технико-экономической эффективности рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Зерносушилки		
			ДСП -24 СН (шахтная прямоточная)	Целинная-36 на базе ДСП-24 СН (рециркуляцион- ная)	Рециркуляционная с дополнительной подачей тепла в верхнюю зону сушки
1	2	3	4	5	6
1	Производительность	пл. т/ч	20	36	47
2	Количество раб. часов в сезон	ч	1 830	1 830	1 830
3	Количество просушенных семян за сезон	пл. т	30 500	54 900	71 675
Расходы по заработной плате					
4	Количество обслуживающего персонала	чел.	6	6	6
5	Сменность	смен	3	3	3
6	Специальность	-	сушильщик	сушильщик	сушильщик
		-	помощник сушильщика	помощник сушильщика	помощник сушильщика
7	Часовая тарифная ставка (сушильщик)	руб./ч	226,10	226,10	226,10
8	Часовая тарифная ставка (помощник сушильщика)	руб./ч	189,99	189,99	189,99
9	Пенсионные и социальные отчисления (сушильщик) за период работы в сезон	руб.	124 129	124 129,04	124 129,04
10	Пенсионные и социальные отчисления	руб.	104 306	104 306,38	104 306,38

	(помощник сушильщика) за период работы в сезон				
11	Всего заработная плата с начислениями (всех работников) за период работы в сезон	руб.	989 887	989 887	989 887
12	Расход по заработной плате	руб./пл. т	32,46	18,03	13,81
Амортизационные отчисления					
13	Стоимость сушки	тыс. рублей	12 500,00	16 059,82	16 059,82
14	Стоимость реконструкции	тыс. рублей	-	-	653,03
15	Общая стоимость	тыс. рублей	12 500,00	16 059,82	16 712,84
16	Амортизационные отчисления	тыс. рублей	1 250,00	1 605,98	1 671,28
17	Удельная величина амортизационных отчислений	руб./ пл. т	40,98	29,25	23,32
Затраты на текущий ремонт					
18	Расходы по текущему ремонту	руб./пл. т	10,25	7,31	5,83
Затраты на топливо					
19	Удельный расход условного топлива	кг/пл. т	11,95	9,40	9,30
20	Удельный расход природного газа	кг/пл. т	7,71	6,07	6,00
21	Затраты на топливо	руб./пл. т	64,26	50,54	50,03
Прочие расходы					
22	Прочие расходы	руб./пл. т	7,03	7,03	7,03
Итого затрат		руб./пл. т	154,97	112,16	100,01

Расчет технико-экономической эффективности производили в соответствии с общепринятой методикой оценки инвестиционных проектов [18], а также на основании общей справочной информации по зерносушильной технике [38]. Результаты расчета приведены в таблице 19.

Производительность зерносушилки ДСП-24 СН приняли на основании данных справочных материалов. Производительность промышленной рециркуляционной зерносушилки Целинная-36 при классическом режиме работы, а также при подаче тепла в верхнюю зону сушки определили на основании показаний бункерных весов при проведении производственных испытаний.

По опыту эксплуатации зерносушилок, среднюю продолжительность рабочего периода (сезона) приняли равной двум с половиной месяцам. При расчете затрат по заработной плате приняли, что каждую сушилку обслуживают два человека – сушильщик и помощник сушильщика (аппаратчики 6 и 5 разрядов соответственно). Зарботную плату приняли на основе данных ОАО «Набережночелнинский элеватор», включающую в себя оклад, премию и налоговые отчисления.

Стоимость шахтной прямоточной зерносушилки ДСП -24 СН определили на основе данных коммерческого предложения компании ООО «Воронежсельмаш» на поставку и монтаж зерносушилки ДСП-20. Стоимость рециркуляционной зерносушилки Целинная-36 определили на основе стоимости зерносушилки аналогичной мощности компании KMZ Industries. Стоимость работ по реконструкции определили исходя из фактически затраченных средств на основании справки о стоимости выполненных работ и затрат (форма КС-3), связанных с реконструкцией зерносушилки на Набережночелнинском элеваторе (приложение Е). Стоимость работ актуализировали по состоянию на 2024 год путём применения индексов пересчёта цен 2013 года (период выполнения данных работ) в базовые цены 2001 года и далее в цены и 2024 года [68, 70].

Амортизационные отчисления рассчитаны на 10 лет и приняты равными 10% от стоимости зерносушилок.

Расходы на текущий ремонт приняли из расчета 25% от суммы амортизационных отчислений.

Величину прочих расходов определили на основании фактических данных АО «Набережночелнинский элеватор» за 2024 год.

Удельный расход топлива в шахтной прямоточной зерносушилке приняли согласно норм для шахтных зерносушилок [38]. Удельный расход топлива для рециркуляционных зерносушилок определили опытно-расчётным путем. Стоимость природного газа приняли равной 6 374,16 руб. без НДС/1000 м³ (стоимость природного газа для ОАО «Набережночелнинский элеватор в 2024 году). Плотность природного газа приняли равной 0,765 кг/м³ (газ Саратовского месторождения) [67].

Годовая экономия от перевода рециркуляционной зерносушилки на сушку при квазиизотермических режимах составила [18]:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = ((C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)) \times B = & \left(\left(112,16 + 0,093 \times \frac{16\,059\,820}{54\,900} \right) - \right. \\ & \left. \left(100,01 + 0,093 \frac{16\,712\,840}{71\,675} \right) \right) \times 71\,675 = 1\,266\,497,25 \text{ руб., где:} \end{aligned} \quad (23)$$

C_1 и C_2 – себестоимость сушки плановой тонны семян на зерносушилке «Целинная-36» и модернизированной рециркуляционной зерносушилке соответственно, руб./пл.т;

K_1 и K_2 – удельные капиталовложения на тонну производительности до и после модернизации, руб./пл.т;

E_n – рентабельность хлебоприёмной деятельности (по данным Ассоциации крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных кооперативов России), %;

B – объем просушенных семян после перевода зерносушилки на рециркуляционный способ сушки при квазиизотермических режимах, пл.т.

Срок окупаемости составил соответственно:

$$653\,030 / 1\,266\,497,25 = 0,5 \text{ года.}$$

Из расчета видно, что срок окупаемости инвестиций составляет менее 1 сезона, что несомненно свидетельствует об экономической целесообразности

применения рассматриваемого способа сушки. С учетом явного сокращения качественных потерь семян рапса, обусловленных снижением кратности рециркуляции, можно с уверенностью сказать, что данный способ сушки семян является весьма перспективным для развития зерносушильной техники, предназначенной для сушки семян масличных культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследовано влияние режимов конвективной сушки семян рапса на кинетику процесса сушки однородных по влажности семян. Установлено, что при сушке однородных по влажности семян рапса, с ростом температуры сушильного агента с 80°C до 120°C продолжительность сушки сокращается в среднем в 2 раза; с ростом скорости сушильного агента с 0,2 м/с до 0,6 м/с – в среднем в 3 раза. При повышении начальной влажности нагретых семян выше 20% общее снижение влажности высушиваемых семян возрастает в среднем с 6% до 9%.

2. Доказано, что сушка смеси семян рапса с различной начальной влажностью протекает более интенсивно в сравнении с процессом сушки однородных по влажности семян. Установлено, что при повышении температуры сушильного агента с 80°C до 120°C продолжительность сушки сокращается на 65%, при увеличении скорости сушильного агента с 0,2 м/с до 0,6 м/с – на 70%. Увеличение продолжительности контактного тепловлагообмена между семенами с различной начальной влажностью с 10 до 30 минут приводит к увеличению продолжительности сушки на 23%.

3. Установлено, что охлаждение семян рапса после их сушки происходит быстрее у семян с более высокой влажностью; с увеличением скорости охлаждающего воздуха с 0,2 м/с до 0,6 м/с скорость охлаждения семян также возрастает в среднем на 10-20%, в зависимости от начальной влажности семян, а длительность охлаждения снижается в 2-3 раза; при охлаждении семян воздухом температурой 20°C общая продолжительность охлаждения семян до значений близких к температуре охлаждающего воздуха повышается в среднем на 10 минут, что составляет 25% от общей длительности процесса, в сравнении с воздухом температурой 30°C.

4. Установлено, что при системном взаимодействии сушильного агента и объекта сушки, режимы сушки оказывают непосредственное влияние на качественные характеристики последнего: с повышением температуры нагрева

семян и возрастанием интенсивности их сушки, качественные технологические и семенные показатели семян рапса снижаются. Всхожесть семян рапса снижается от 3 до 10% при нагреве семян выше 50°C и от 15 до 27% при нагреве семян до температур в интервале от 60 до 70°C, что объясняется денатурацией белков зародыша. С ростом температуры нагрева семян рапса происходит увеличение кислотного числа – на 6% при повышении температуры нагрева семян на 5°C. Данный эффект обусловлен термическим распадом триглицеридов с образованием низкомолекулярных кислот.

Выявлено, что приемлемая сохранность качественных показателей высушиваемых семян рапса достигается при сушке агентом температурой не более 80°C, скоростью не более 0,4 м/с и при температуре нагрева высушиваемых семян не более 60°C.

5. Впервые разработана математическая модель зависимости характеристик высушиваемых семян рапса от режимов их сушки и охлаждения, позволяющая определить значения температуры и влажности семян в определённый период их сушки и охлаждения.

6. Разработана технология рециркуляционной сушки высоковлажных семян рапса при квазиизотермических режимах, обеспечивающая повышенное сохранение показателей качества высушиваемых семян. Установлено, что количество циклов рециркуляции сокращается при данном способе сушки от 2 до 5 раз, по сравнению с рециркуляционными зерносушилками, работающими по принципу сушки предварительно нагретых семян атмосферным воздухом. Это обеспечивает сокращение термического воздействия на высушиваемые семена, а также способствует более рациональному расходованию теплоносителя.

7. Впервые разработаны технические условия на рециркуляционную сушку семян рапса при квазиизотермических режимах.

Установлено, что при использовании разработанной технологии в производственных условиях её применение увеличивает производительность зерносушилki ориентировочно на 25% и обеспечивает более высокую (в среднем на 15%) сохранность качественных показателей.

8. Установлено, что годовая экономия от перевода рециркуляционной зерносушилки на сушку семян рапса при квазиизотермических режимах составляет 1 266 тыс. рублей. Срок окупаемости составляет менее одного года.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность д.т.н. профессору В.А. Резчикову, д.т.н. профессору Г.Г. Дубцову и д.т.н. профессору С.В. Савченко за оказанную помощь при выполнении диссертационной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов, И. Б. Формирование специализированных зон производства маслосемян в Российской Федерации: дис. канд. экон. наук: 08.00.05; защищена 14.10.2014 / Абакумов Игорь Борисович. – М., 2014 – 194 с.
2. Авдеев, А. В. Методика расчета аэродинамической системы и параметров зерносушилок / А. В. Авдеев, М. А. Жуков, А. А. Авдеева // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №11. – С. 11.
3. Андрианов, Н. М. Как улучшить сушку зерна / Н. М. Андрианов, А. Жеребцов // Сельский механизатор. – 2008. – №9. – С. 7.
4. Атаназевич, В. И. Сушка зерна / В. И. Атаназевич. – М.: Лабиринт, 2007. – 480 с.
5. Атаназевич, В. И. Сушка пищевых продуктов / В. И. Атаназевич. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 296 с.
6. Баум, А. Е. Сушка зерна / А. Е. Баум, В. А. Резчиков – М.: изд. Колос, 1983. – 223 с.
7. Белая, А. Рациональное зерно. Почему стоит вкладываться в хранение и подработку / А. Белая – Агроинвестор. – 2020. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/33814-ratsionalnoe-zerno-pochemu-stoit-vkladyvatsya-v-khranenie-i-podrabotku/>.
8. Богомолов, А. В. Исследование влияния режимов сушки на фракции зерна./ А. В. Богомолов, А. А. Черняев – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 263 с.
9. Бомко, А. С. Решение системы уравнений тепло- и массопереноса методом прямых / А. С. Бомко, В. М. Жидко // Инженерно-физический журнал. – 1966. – Т. 11. – № 3. – С. 362–366.
10. Бондаренко, А. Что надо учитывать при сушке зерна / А. Бондаренко // Комбикорма. – 2003. – №2. – С. 26–28.
11. Боронцов, А. А. Технология и технические средства для обработки зерна в вихревом потоке: Монография / А. А. Боронцов. – Улан-Уде: Изд-во ВСГТУ, 2007. – 191 с.

12. Бунин, Е. С. Разработка и научное обеспечение способа сушки семян рапса в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.18.12) / Бунин Евгений Сергеевич; ГОУВПО ВПО «ВГТА». – Воронеж, 2010. – 20 с.

13. Бурашников, Ю. М. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда на предприятиях пищевых производств: Учебник / Ю. М. Бурашников, А. С. Максимов. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 416 с.

14. Буряков, Ю. П. Производство, хранение и переработка рапса за рубежом и в СССР / Ю. П. Буряков // Экспресс-информ ЦНИИТЭИ. – 1983. – №6. – С. 43.

15. Бутковский, В. А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства/ В. А. Бутковский, Е. М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 464 с.

16. Василенко, Е. И. Отчёт кубанского филиала ВНИИЗ по теме «Разработка технологии послеуборочной обработки семян рапса семенного и промышленного назначения» / Василенко Е. И. – Кубань, 1982. – С. 2–5.

17. Веселов, С. А. Вентиляционные и аспирационные установки предприятий хлебопродуктов / С. А. Веселов, В. Ф. Веденёв. – М.: Колос, 2004. – 240 с.

18. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М.: Дело, 2002. – 888 с.

19. Воловик, В. Т. Рапс – ценнейшая кормовая культура / В. Т. Воловик // Ваш сельский консультант. – 2006. – №3. – С. 23–28.

20. Волхонов, М. С. Обоснование и совершенствование процессов и аэрожелобных устройств для послеуборочной обработки зерна: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. (05.20.01) / Михаил Станиславович Волхонов; ФГОУ ВПО «КГСХА». – Чебоксары, 2008. – 38 с.

21. Ганеев, И. Р. Повышение эффективности сушки семян рапса с применением электромагнитного излучения: автореф. дис. на соиск. учен. степ.

канд. техн. наук (05.20.03) / Ильдар Рафаилович Ганеев; ФГОУ ВПО «Башкирский ГАУ». – Уфа, 2011. – 18 с.

22. Ганенко, И. Растениеводы неплохо заработали и планируют новые инвестиции в развитие / Ганенко И. – Агроинвестор. – 2013. – №1. – Режим доступа: <http://www.ikar.ru/m/press/1562/>.

23. Гельперин, Н. И. Основы техники псевдоожижения / Н. И. Гельперин, В. Г. Айнштейн, В. Б. Кваша. – М.: Издательство «Химия», 1967. – 664 с.

24. Гинзбург, А. С. Влага в зерне / А. С. Гинзбург, В. П. Дубровский, Е. Д. Казаков и др. – М.: Колос, 1969. – 224 с.

25. Гинзбург, А. С. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое / А. С. Гинзбург, В. А. Резчиков. – М.: Пищевая промышленность, 1996. – 196 с.

26. Глебов, Л. А. Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия): учебник / Л. А. Глебов, А. Б. Демский, В. Ф. Веденьев и др.; I и III части под ред. Л. А. Глебова, II часть под ред. А. Б. Демского. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 816 с.

27. Голубкович, А. В. Сушка высоковлажных семян и зерна / А. В. Голубкович, А. Г. Чижиков. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 174 с.

28. Голубкович, А. В. Сушка семян рапса и трав в сушилке псевдоожиженного слоя / А. В. Голубкович // Научно-технический бюллетень ВИМ – 1992 – С. 28–31.

29. Гольцов, А. А. Рапс, сурепица / А. А. Гольцов, А. М. Ковальчук, В. Ф. Абрамов. – М.: Колос, 1983. – 124 с.

30. ГОСТ 31759-2012. Масло рапсовое. Технические условия – Введ. 2013–07–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

31. ГОСТ Р 10583-76. Рапс для промышленной переработки. Технические условия. – Взамен ГОСТ 10583-63; введ. 1976-04-19. – М: ВНИИС, 1976. – 9 с.

32. ГОСТ Р 11048-95. Жмых рапсовый. Технические условия. - Взамен ГОСТ 11048-64, кроме разд. 1 а; введ. 1995-04-26. – М: Госстандарт России, 1995. – 13 с.

33. Двуреченский, В. И. Рекомендации по возделыванию ярового рапса в Костанайской области/ В. И. Двуреченский, А. Б. Нугманов, И. В. Сидорок и др. – Астана: Заречное, 2011. – 41 с.
34. Егоров, Г. А. Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна / Г.А. Егоров. – М: Колос, 1973. – 264 с.
35. Жидко, В. И. Зерносушение и зерносушилки / В. И. Жидко, В. А. Резчиков, В. С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
36. Загоровская, В. Сохранить зерно. Элеваторные мощности на службе у аграриев / В. Загоровская. – Агроинвестор. – 2019. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/31397-sokhranit-zerno/>.
37. Измайлов, А. Ю. Перспективы применения биодизельного топлива из рапса / А. Ю. Измайлов, Г.С. Савельев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2008. – №3 (4). – С. 11–15.
38. Инструкция по сушке зерна, семян масличных культур и эксплуатации зерносушилок. – М: ВНИИЗ, 2001. – 93 с.
39. Итоговый доклад о результатах деятельности Минсельхоза России за 2018 год / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – официальный интернет-портал. – Москва: МСХ РФ, 2019. – режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/10c/10c6695082afd0ac0ea4b6e41fa3f6d9.pdf>.
40. Казаков, Е. Д. Зерноведение с основами растениеводства / Е. Д. Казаков. – М.: Колос, 1973. – 288 с.
41. Карпачев, В. В. Научное обеспечение производства рапса в России / В. В. Карпачев // Земледелие. – 2009. – №2. – С. 17–19.
42. Карпачев, В. В. Перспективы производства и использования рапса на фуражные цели / В. В. Карпачев // Научное обеспечение производства продовольственного зерна, зернофуража, крупяных и кормового белка. – Ростов-на-Дону, 2004. – С. 166–176.
43. Комышник, Л. Д. Сушка и хранение семян подсолнечника / Л. Д. Комышник, А. П. Журавлёв, Ф. М. Хасанова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 95 с.

44. Котова, Д. Л. Термический анализ ионообменных материалов / Д. Л. Котова, В. Ф. Селеменев. – М.: Наука, 2002. – 200 с.
45. Крылов, А. И. Вибрационные сушилки с инфракрасными излучателями / А. И. Крылов, Н. В. Елькин // Химическая промышленность. – 2005. – № 9. – С. 41–45.
46. Кулистикова, Т. Росстат уточнил данные по урожаю в 2022 году – Агроинвестор. – 2023. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/39916-rosstat-utochnil-dannye-po-urozhayu-v-2022-godu/>.
47. Лисицын, А. Н. Биологические особенности сортов рапса и физиологические ценности жмыхов и шротов / А. Н. Лисицын, С. Ф. Быкова, Е. К. Давиденко, Н. М. Минасян // Масложировая промышленность. – 2007. – №6. – С. 18–20.
48. Лисицын, А. Н. Расширение переработки семян крестоцветных культур и льна для северных регионов России / А. Н. Лисицын, В. Н. Григорьева // Масложировая промышленность. – 2000. – №4. – С. 8–10.
49. Лобанов, В. И. Совершенствование конструкций бункеров активного вентилирования / В. И. Лобанов // Вестник алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – №1 (21) . – С. 37–40.
50. Малин, Н. И. Энергосберегающая сушка зерна / Н. И. Малин. – М.: Колос, 2004. – 240 с.
51. Маклаков, А. И. Самодиффузия в растворах и расплавах полимеров / А. И. Маклаков, В. Д. Скрида, Н. Ф. Ваткуллин. – Казань: Издательство Казанского университета, 1987. – 224 с.
52. Максимов, Н. М. Повышение эффективности сушки семян рапса путём совершенствования конструкции и технологических параметров бункера активного вентилирования: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.20.01) / Николай Михайлович Максимов; ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА». – СПб, 2011. – 20 с.

53. Максимова, Е. Производство основных масличных обновит рекорд / Е. Максимова. – Агроинвестор. – 2019. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/32416-proizvodstvo-osnovnykh-maslichnykh-obnovit-rekord/>.
54. Миллионы тонн рапса / Агроинвестор. – 2008. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/10744-milliony-tonn-rapsa/>.
55. Морозов, В. В. Зерноочистительно-сушильные комплексы и поточные линии / В. В. Морозов, Н. Я. Щепилов. – Великие Луки: РИО ВГСХА, 2002. – 366 с.
56. Мустафаев, С. К. Влияние СВЧ-нагрева свежееубранных семян подсолнечника перед их конвективной сушкой на выход и качество масла / С. К. Мустафаев, Е. О. Смычагин // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №97(03). – С. 3–6.
57. Мхитарьянц, Л. А. Влияние режимов сушки семян рапса на качество полученных масел / Л. А. Мхитарьянц, В. Е. Тарасов, Е. Н. Цыгип, В. И. Нешта // Тезисы докладов научно-технической конференции «Пищевая промышленность России на пороге XXI века». - Москва, 1996. – Часть 1. – С. 56.
58. Надыка, В. Д. Теоретические аспекты и практические рекомендации по хранению семян рапса / В. Д. Надыка. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1988. – 36 с.
59. Нарижный, И. Ф. Рапс: опыт, резервы, проблемы / И. Ф. Нарижный // Масличные культуры. – 1987. – №2. – С. 2–3.
60. Никулин, Е. И. Исследование процесса и обоснование режимов рециркуляционно изотермической сушки зерна: Дис. канд. техн. наук. – М., 1972. – 209 с. - В надзаг.: ВНИИ зерна и продуктов его переработки.
61. Новосёлов, Ю. К. Стратегия совершенствования сырьевой базы для производства растительного масла и высокобелковых кормов / Ю. К. Новосёлов, В. Т. Воловик, В. В. Рудоман // Кромопроизводство. — 2008. – №11. – С. 12–14.
62. Общие сведения о рапсе / Масла и жиры – специализированный ежемесячный журнал. – Режим доступа: <http://www.oilbranch.com/publ/view/225.html>.

63. Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе. Часть II. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. – 176 с.

64. Пат. 2494141 Российская Федерация, МПК C11 B1/100 Технологическая линия безотходной переработки семян рапса / Антипов С. Т., Журавлёв А. В., Бунин Е. С., Казарцев Д. А., Юрова И. С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский государственный университет инженерных технологий - № 2012118161/13; заявл. 03.05.12; опубл. 27.09.2013. – 4 с.

65. Пилипюк, В. Л. Технология хранения зерна и семян: учебное пособие / В. Л. Пилипюк. – М: Вузовский учебник, 2011. – 456 с.

66. Пилявская, Л. С. Некоторые свойства семян рапса как объекта сушки / Л. С. Пилявская, Н. Я. Попов, М. И. Черников // ВНИИЗ. – 1984. – №105. - С. 46–51.

67. Пилявский, Л. Из опыта сушки масличных культур. Рапс. / Л. Пилявский, М. Черников, Б. Гринберг // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1986. – №4. – С. 24–25.

68. Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: офиц. текст. – М.: 2013. - №9912-СД/10. – 25 с.

69. Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: офиц. текст. – М.: 2019. - №12661-ДВ/09. – 17 с.

70. Поморцева, Т. И. Изучение режимов и способов хранения семян ярового рапса: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с/х наук (06.01.09) / Поморцева Таисия Ивановна; МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва, 1995. – 17 с.

71. Пономаренко, Ю. Питательность, качество и безопасность рапса / Ю. Пономаренко // АгроРынок. – 2012. - №12. – С. 44–45.

72. Попов, В. М. Поиск рационального энергосберегающего способа сушки рапсового семени / В. М. Попов, В. А. Афонькина, Е. И. Шукшина, Ш. А. Хатмуллин – электронный архив научных публикаций. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/1_NIO_2014/Agricole/4_151599.doc.htm.

73. Посевные площади, валовые сборы и урожайность рапса в России. Итоги 2018 года / АгроВестник – специализированный интернет-портал. – Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/posevnye-ploshchadi-valovye-sbory-i-urozhajnost-rapsa-v-rossii-itogi-2018-goda.html/>.

74. Прогноз структуры посевных площадей / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации – официальный интернет-портал. – Москва: МСХ РФ, 2014. – режим доступа: http://www.mcx.ru/documents/document/v7_show_print/26465..htm/.

75. Производство масличных в РФ обновит рекорды / Grainboard.ru – 2019. – Режим доступа: <https://grainboard.ru/news/proizvodstvo-maslichnih-v-rf-obnovlyayet-rekordi-403749/>.

76. Пугачев, П. Анализируя итоги уборки рапса // Комбикорма. – 2014. – №2. – С. 5–7.

77. Пунков, С. П. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение / С. П. Пунков, А. И. Стародубцева. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1990. – 367 с.

78. Романенко, Г. А. Рапс – важнейший резерв увеличения производства растительного масла / Г. А. Романенко // Масличные культуры. – 1987. – №4. – С. 2–5.

79. Рапс озимый и яровой: Практическое руководство по освоению интенсивной технологии возделывания / Госагропром СССР. – М.: Агропромиздат, 1988. – 46 с.

80. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды / П. А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 384 с.

81. Резчиков, В. А. Расчёт зерносушильных установок: Учебное пособие. Часть 1. Расчёт прямоточных зерносушилок / В. А. Резчиков. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2004. – 68 с.

82. Резчиков, В. А. Расчёт зерносушильных установок: Учебное пособие. Часть 2. Расчёт рециркуляционных зерносушилок / В. А. Резчиков – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2005. – 44 с.
83. Резчиков, В. А. Технология зерносушения / В. А. Резчиков, О. Н. Налеев, С. В. Савченко. – Алматы: Изд. Алматинского технологического университета, 2000. – 400 с.
84. Рекомендации по возделыванию ярового рапса на семена и варианты использования рапсового масла в качестве компонента дизельного топлива. – Уфа: БСНИИХ, 2010. – 67 с.
85. Рудаков, О. Б. Жиры. Химический состав и экспертиза качества / О. Б. Рудаков, А. Н. Пономарев, К. К. Полянский, А. В. Любарь. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 312 с.
86. Рудаков, О. Б. Рапсовое масло – состав, свойства и применение / О.Б. Рудаков // Специализированный информационный бюллетень «Масла и Жиры» / Воронежская государственная технологическая академия. – Воронеж, 2004. – №2(36) – С. 1–2.
87. Савенко, В. Г. Рапс, проблемы производства и пути их решения / В. Г. Савенко. – электронный журнал. – М.: ФГУ "Российский Центр Сельскохозяйственного Консультирования", 2009. – Режим доступа: <http://mcx-consult.ru/>.
88. Сергеева, А. Г. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / А. Г. Сергеева. – Ленинград, ВНИИЖ, 1975. – 725 с.
89. Серебряный, М. И. Тракторные дизели работают на растительном топливе / Серебряный М.И. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1992. – №3. – С. 42–44.
90. Скакун, А. С. Рапс – культура масличная / А. С. Скакун, И. В. Бурда, Д. Бауэр. – Мн.: Ураджай, 1994. – 96 с.
91. Слукин, А. С. Особенности возделывания ярового рапса на кормовые цели в ЦЧР / А. С. Слукин, Т. Г. Белоножкина // Кормопроизводство. – 2007. – №12. – С. 28–29.

92. Соколов, Б. К. Масло нашего здоровья / Б. К. Соколов, Е. В. Гончаренко, В. Е. Лисняк // Масложировая промышленность. – 2003. – №3. – С. 56–59.
93. Сорочинский, В. Ф. Снижение расхода топлива в прямоточных зерносушилках / В. Ф. Сорочинский // Комбикорма. – 2011. – №7. – С. 51–52.
94. Сушильные установки для зерна и масличных культур: информационный буклет / Бюлер АГ. – М.: 2012. – 20 с.
95. Сушка свежесобраных семян рапса и сурепицы: Рекомендации. – М.: Гос. агропром. ком. СССР, 1987. – 15 с.
96. Технология хранения зерна: учебник для ВУЗов / ред. Е. М. Вобликова. – СПб.: Лань, 2003. – 448 с.
97. Трисвятский, Л. А. Хранение зерна / Л. А. Трисвятский – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 351 с.
98. Урманов, А. И. Применение масла из семян рапса конвективной сушки при фритюрной обработке продуктов // А. И. Урманов, Г. Г. Дубцов, И. У Кусова, Т. Р. Любецкая // Хлебопродукты. – 2020. – №12. – С. 44–46.
99. Учебно-методический комплекс дисциплины «Зерносушение». Учебно-методические материалы. – Семей: Государственный университет имени Шакарима города Семей, 2014. – 156 с.
100. У рапса большие перспективы // Земледелие. – 2009. – №2. – С. 3–5.
101. Цирулев, А. П. Рекомендации по повышению эффективности производства масличного рапса в Самарской области / А. П. Цирулев, С. И. Виноградов, М. Р. Иксанов. – Самара: 2009. – 49 с.
102. Цуглёнок, Н. В. Бункерные установки для сушки и активного вентилирования зерна: монография / Н. В. Цуглёнок, С. К. Манасян. Красноярск: Красноярская книга, 2009. – 100 с.
103. Чекановский, А. А. Тепломассообмен при сушке зерна в псевдоожиге / А. А. Чекановский, В. А. Евсюков // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2005. – №49(72). – С. 212–214.

104. Чижигов, А. Г. Как эффективно использовать оборудование для сушки зерна / А. Г. Чижигов // Сельский механизатор. – 2006. – №3. – С. 10–11.
105. Чурусов, К. А. Технологические исследования рециркуляционной сушки риса-зерна при различных режимах: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.18.03) / Константин Александрович Чурусов; МТИПП. – Москва, 1979. – 26 с.
106. Шпаков, А. С. Использование рапса в кормлении сельскохозяйственных животных. «В помощь консультанту» / А. С. Шпаков, А. И. Фицев, А. П. Гаганов и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 40 с.
107. Штейнберг, Т. Влияние сушки на фотометрические характеристики зерна, показатели качества муки и хлеба / Хлебопродукты – специализированный ежемесячный журнал. – Режим доступа: <https://khlebprod.ru/old/text.php?text=2716&heads=2>
108. Armitage, D. Drying and storing rapeseed successfully / D. Armitage. – London, winter 2005/06. – [2] p. – (Topic Sheet /No. 89).
109. Bosshart, H. Die Schweiz im Jahr 1860: Das ideale Umfeld für Pioniere / H. Bosshart // Diagramm 155. – 2010. – №155. – P. 9–11.
110. Brlek Savic, T. Effect of Storage Temperature on Rapeseed Quality / T. Brlek Savic, T. Kricka, N. Voca and other // Agriculture Conspectus Scientificus. – 2009. – №3. – P. 143–147.
111. Bruce, D. M. An in-line moisture sensor for grain dryer contrl / D.M. Bruce, J. B. McFarlantan // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1993. – №3. – P. 211–224.
112. Caddick, L. Store canola cool and dry to enhance oil quality / L. Caddick // Farming Ahead. – 2002. – №132. – P. 19–21.
113. Chen, X. B. Effects of Processing Methods and Variety of Rapeseed Meal on Ruminant and Post Ruminant Amino Acids Digestibility / X.B. Chen, S. Qin // Asian-Aust. J. Anim. – 2005. – №6. – P. 802–806.
114. DiMattia, D. G. Fluidized Bed Drying of Large Particles / D. G. DiMattia, P. R. Amyotte, F. Hambullahpur // Transactions ASAE. – 1996. – № 39. – P. 1745–1750.

115. Dougan, R. D. Feasibility of in — progress drying guidelines for wheat ventilated with near-ambient air / R. D. Dougan, W. E. Muir, D. S. Iayas // *Can.Agric.Eng.* – 1995. - V.37,3. – P. 183–187.

116. Elsgaard, L. Greenhouse gas emissions from cultivation of winter wheat and winter rapeseed for biofuels and from production of biogas from manure // L. Elsgaard, J. E. Olesen, J. E. Hermansen. – Aarhus: Aarhus University, 2010. – 30 p.

117. Fleischer, G. NMR-investigation of restricted self-diffusion of oil in rape seeds / G. Fleischer, V. D. Skirda, A. Werner // Springer-Verlag: *European Biophysics Journal.* – 1990. – №19. – P. 25–30.

118. Fujii, A. K. Prediction of Canola Seed Longevity in the Drying Process / A. K. Fujii, J. T. Jorge, J. A. Fracarolli // *Journal of Agricultural Science and Technology.* – 2017. – №17. – P. 326–331.

119. Gazor, H. R. Modelling the Drying Kinetics of Canola in Fluidised Bed Dryer / H. R. Gazor, A. Mohsenimanesh // *Czech Journal Of Food Sciences Impact Factor.* – 2010. - №6. – P. 531–537.

120. Hellevang, K. Canola Drying and Storage Management. Canola Production Field Guide / K. Hellevang // NDSU Extension Service. – 2011. – P. 91–100.

121. Kachel-Jakubowska, M. Influence of acid number and peroxide number content on the quality of rape seeds for consumption and biofuel industry / M. Kachel-Jakubowska // *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.* – OL PAN. – 2009. – №9. – P. 114–120.

122. Kachel-Jakubowska, M. Influence on drying condition on quality properties of rapeseed / M. Kachel-Jakubowska, M. Szpryngiel // *Int. Agrophysics.* – 2008. – №22. – P. 327–331.

123. Kanai, G. Drying condition and qualities of rapeseed and sunflower / G. Kanai, H. Kato, N. Umeda, K. Okada, M. Matsuzaki // *Japan Agricultural Research Quarterly.* – 2010. – № 44(2). – P. 173–178.

124. Karger, J. Principles and application of self-diffusion measurements by nuclear magnetic resonance / J. Karger, H. Pfeifer, W. Heink // *AdvMagn Res.* – 1988. - №12. – P. 1–30.

125. Klein-Hessling, H. Value canola meal before using it / H. Klein-Hessling // *World Poultry*. – 2007. – № 10. – P. 24–28.
126. Kocabıyık, H. Kolzanın Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi / H. Kocabıyık, D. Tezer // *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. – 2007. – №4 (1). – P. 65–70.
127. Laoretani, D. Effect of Drying Operating Conditions on Canola Oil Tocopherol Content / D. Laoretani, M. Fernandez, G. Crapiste, S. Nolasco // *Antioxidants*. – 2014. – №3. – P. 191–197.
128. Ling, Y. Status and development trend of rapeseed drying for seeding purposes / Y. Ling, Y. Mingjin, C. Jian and other // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2012. – №2. – P. 309–315.
129. Malgorzata, N. K. Changes of phenolic content in rapeseed during preliminary drying // N. K. Malgorzata, A. Siger // *Journal of Oilseed Brassica*. – 2010. – №1. – P. 33–38.
130. McCaffery D. Canola best practice management guide for south-eastern Australia / D. McCaffery, T. Potter, S. Marcroft, F. Pritchard. – Canberra: Grains Research and Development Corporation, 2009. – 91 p.
131. Nogala, K. M. Changes of phenolic content in rapeseed during preliminary drying / K.M. Nogala, A. Siger // *Journal of Oilseed Brassica*. – 2010. – №1. – P. 33–38.
132. Pathak, P. K. Effect of Elevated Drying Temperature on Rapeseed Oil Quality / P.K. Pathak, Y.C. Agrawal, B.P.N. Singh // *Journal of America Oil Chemists' Society*. – 1991. – №8. – P. 580–582.
133. Qingxi, L. Effect of microwave drying on rapeseed's dehydrating characteristics and quality properties / L. Qingxi, S. Caixia, T. Boping // *QUALITY, NUTRITION AND PROCESSING: Processing Technology* / Huazhong Agricultural University. – Wuhan, 1994. – P. 189–191.
134. Von Meerwall, E. D. Interpreting pulsed-gradient spin-echo diffusion experiments with permeable membranes / E. D. von Meerwall, R. D. Ferguson // *Journal of Chemical Physics*. – 1981. – №74. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1063/1.441059>.

135. Von Meerwall, E. D. Self-diffusion in polymer systems, measured with field gradient spin echo NMR methods /E. D. von Meerwall // *Advances in Polymer Science*. – 1984. – №54. – P. 1–29.

136. Winks, R. G. Ambient-air drying of Macadamia nuts and cooling of canola using a new aeration fan controller / R. G. Winks // *Proceedings of the 7 th International Working Conference on Stored-product Protection*. – Chengdu, China, 1999. – P. 1181–1189.

137. Zare, D. Thin Layer Drying and Equilibrium Moisture Content Equations for Canola / D. Zare, M. Ranjbaran, M. Niakousari, M. Javidi // *Iran Agricultural Research*. – 2012. – №1. – P. 11–20.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2812479

Способ сушки семян рапса при квазинизотермических режимах

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)" (RU)*

Авторы: *Урманов Артур Ильдарович (RU), Щетинин Михаил Павлович (RU), Щетинина Елена Михайловна (RU)*

Заявка № 2022127541

Приоритет изобретения **24 октября 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **30 января 2024 г.**Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **24 октября 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164baf96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

Приложение Б. Технические условия

ТАТАРСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
«ЯР ЧАЛЛЫ ЭЛЕВАТОРЫ»
 АЧЫК АКЦИОНЕРЛЫК ЖЭМГЯТЕ



РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН
 ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ЭЛЕВАТОР»

Юридический адрес: 423887, Рф, РТ, Тукаевский район, д. Малая Шильна, ул. Элеваторская, 18
 Почтовый адрес: 423801, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, а/я 26
 ИНН 1639004674, КПП 163901001, БИК 049240803
 р/с 40702810900000002059 в ОАО "АКИБАНК", к/с 30101810100000000803 в Комсомольском РКЦ г.Наб.Челны
 тел. (8552) 71-74-38, 71-73-05 факс 71-73-87, e-mail: elevator@yandex.ru

№ _____

от " 2 " марта 2016 г.

ПРОТОКОЛ РАССМОТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СУШКИ СЕМЯН РАПСА С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАЗИИЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Присутствовали:

1. Исполнительный директор ООО «Челны-Бройлер» по вопросам деятельности ОАО «Набережночелнинский элеватор» - И.И. Шайхутдинов;
2. Заместитель директора по техническим вопросам – Р.С. Сахбиев;
3. Заместитель директора по производству – В.Х. Сафин;
4. Заместитель директора по качеству – начальник ПТЛ – Л.А. Ярушева;
5. Начальник технологического цеха – Р.Г. Файзрахманов;
6. Начальник отдела управления проектами ООО «Челны-Бройлер» - А.И. Урманов.

Повестка: рассмотрение технических условий рециркуляционной сушки семян рапса с применением квазиизотермических режимов ТУ 9721215-00946257-2016.

Слушали:

Урманова А.И. – о преимуществах сушки семян рапса при режимах, описанных в рассматриваемых технических условиях.

Постановили: утвердить технические условия рециркуляционной сушки семян рапса с применением квазиизотермических режимов ТУ 9721215-00946257-2016 в представленной редакции.

Исполнительный директор
 ООО «Челны-Бройлер»
 по вопросам деятельности
 ОАО «Набережночелнинский элеватор»

Начальник отдела управления проектами
 ООО «Челны-Бройлер»



И.И. Шайхутдинов

А.И. Урманов

ТАТАРСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ «ЭР ЧАЛЛЫ ЭЛЕВАТОРЫ» АЧЫК АКЦИОНЕРЛЫК ЖЭМЪЯТТЕ Юридический адрес: 423857, Р.б., РТ, Туквусовский район, д. Малая Шильна, ул. Элеваторная, 18 Почтовый адрес: 423801, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, в/я 26 ИНН 1639004874, КПП 163901001, БИК 045240803 р/с: 4070281090000000020209 в ОАО «АКИБАНК», к/с 301018101000000000803 в Комсомольском РКЦ г.Наб.Челны тел. (8552) 71-74-38, 71-73-05 факс 71-73-87, e-mail: elevator@yandex.ru	 ЗАО «АГРОСТИМА ГРУПП»	РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ЭЛЕВАТОР»	
Исполнительный директор ООО «Челны-Бройлер» по вопросам деятельности ОАО «Набережночелнинский элеватор» И.И. Шайхутдинов			
			
РЕЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СУШКА СЕМЯН РАПСА С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАЗИИЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ Технические условия ТУ 9721215-00946257-2016 (Вводятся впервые)			
Дата введения: <u>02.03.2016</u>			
Без ограничения срока действия			
Учтённый экземпляр		☒	
Неучтённый экземпляр		☐	
Экземпляр № <u>01</u>			
Набережные Челны 2016			
Издание:	1	Дата:	№ в Реестре документов:

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»

Изд. 1

1. Содержание

1. Содержание.....	2
2. Область применения.....	3
3. Нормативные ссылки.....	3
4. Технические требования.....	4
4.1. Общие требования.....	4
4.2. Способ рециркуляционной сушки с применением квазиизотермических режимов.....	5
4.3. Квазиизотермические режимы сушки семян рапса.....	7
5. Методы контроля.....	7
6. Требования безопасности и охраны окружающей среды.....	9

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»
Изд. 1

2. Область применения

Настоящие технические условия (ТУ) распространяются на процесс сушки семян рапса, предназначенных для последующего отжима растительного масла.

При выборе режимов сушки семян рапса на рециркуляционных зерносушилках с предварительным нагревом зерна и дополнительным подводом тепла в верхнюю часть напорно-распределительной камеры необходимо руководствоваться настоящими техническими условиями.

3. Нормативные ссылки

В настоящих технических условиях использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.114-95 ЕСКД. Технические условия.

ТР ТС 015/2011 Технический регламент Таможенного союза о безопасности зерна.

ГОСТ 10583-76 Рапс для промышленной переработки. Технические условия.

ГОСТ 10852-86 Отбор проб.

ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности.

ГОСТ 31759-2012 Масло рапсовое. Технические условия.

ГОСТ 10858-77 Семена масличных культур. Промышленное сырьё. Методы определения кислотного числа масла.

ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

ГОСТ 51487-99 Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа.

ГОСТ 11048-95 Жмых рапсовый. Технические условия.

ГОСТ 30257-95 Шрот рапсовый тостированный. Технические условия.

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»

Изд. 1

Инструкция по сушке зерна, семян масличных культур и эксплуатации зерносушилок. – Москва: ВНИИЗ, 2001. – 83 с.

4. Технические требования

4.1. Общие требования

4.1.1. Режимы сушки семян рапса на рециркуляционных зерносушилках с применением предварительного нагрева и последующей сушкой нагретым воздухом должны соответствовать требованиям настоящих технических условий, стандартам и нормативным документам, действующим на территории Российской Федерации.

4.1.2. Содержание токсичных элементов, микотоксинов и пестицидов в семенах рапса не должно превышать допустимые уровни, установленные медико-биологическими требованиями, санитарными нормами, техническим регламентом Таможенного союза о безопасности зерна и иными нормативными документами, действующими на территории Российской Федерации.

4.1.3. Качество высушиваемого зерна должно соответствовать требованиям ТР ТС 015/2011 и ГОСТ 10583-76, предъявляемым для рапса предназначенного для пищевых целей.

4.1.4. Масло, получаемое из семян рапса, должно соответствовать требованиям ГОСТ 31759-2012.

4.1.5. Жмых или шрот, получаемые при отжиге масла, должны соответствовать требованиям ГОСТ 11048-95 и ГОСТ 30257-95 соответственно.

4.1.6. Влажность высушенных семян рапса не должна превышать 7%.

4.1.7. Температура высушенных семян рапса не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 10°C.

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»

Изд.1

4.1.8. Необходимо не допускать пересушивания зерна ниже заданной влажности, так как это приводит к снижению производительности сушилки, перерасходу топлива и электроэнергии, снижению технологических достоинств высушиваемого зерна.

4.2. Способ рециркуляционной сушки с применением квазиизотермических режимов – один из способов рециркуляционной сушки, при котором в верхнюю зону рециркуляционной и охлаждающей шахт вместо охлаждающего воздуха подаётся сушильный агент.

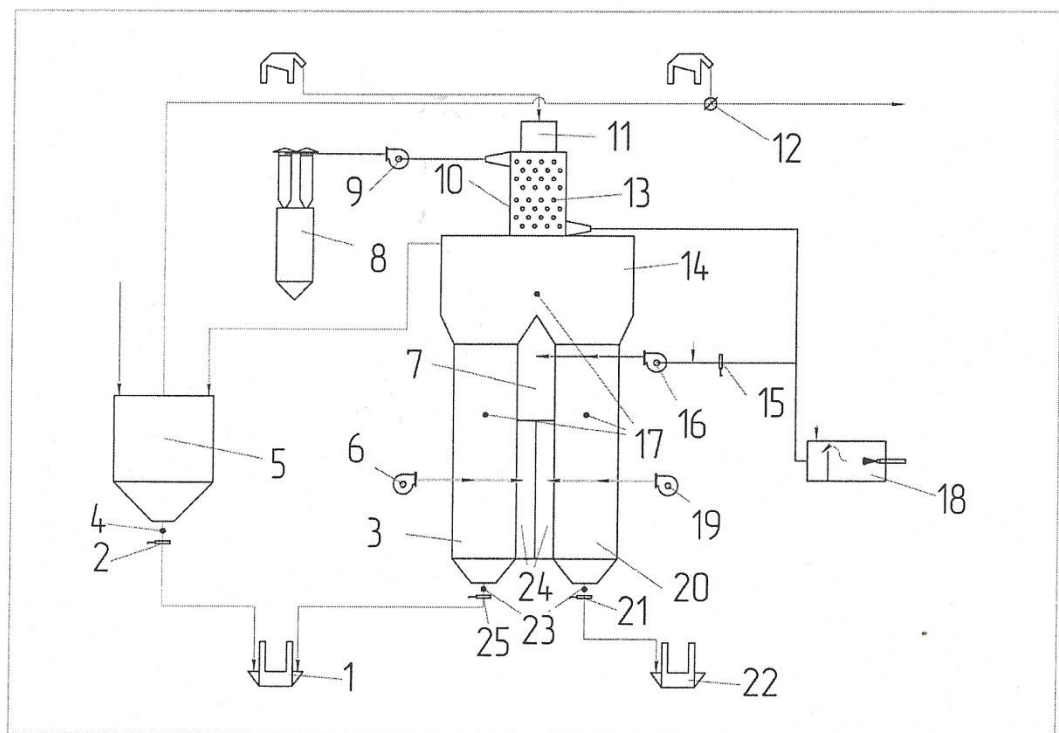


Рис.1. Технологическая схема рециркуляционной квазиизотермической сушки с предварительным нагревом зерна: 1 – рециркуляционная нория; 2, 15, 21, 25 – шиберные задвижки с электроприводом; 3 – рециркуляционная шахта; 4, 17, 23 – датчики температуры зерна; 5 – оперативный бункер; 6, 9, 16, 19 – вентиляторы; 7 – напорно-распределительная камера (зона сушки зерна); 8 – циклоны для

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»

Изд.1

очистки отработавшего сушильного агента; 10 – камера предварительного нагрева зерна; 11 – бункер над камерой нагрева; 12 – перекидной клапан; 13 – тормозящие элементы камеры нагрева; 14 – бункер-тепловлагообменник; 18 – топка; 20 – охладительная шахта; 22 – нория просушенного зерна; 24 – напорно-распределительная камера (зоны охлаждения зерна).

Специфика сушки с применением квазиизотермических режимов заключается в том, что на начальных этапах сушки температура предварительно нагретого зерна снижается, затем вновь возрастает. Происходит это вследствие интенсивного испарения влаги из зерна за счет расходования внутренней энергии, аккумулированной зерном в процессе нагрева и характеризуется равенством температур в начале и конце процесса сушки.

В нижние зоны рециркуляционной и охладительной шахт подаётся атмосферный воздух, за счёт чего происходит охлаждение зерна до требуемой температуры.

Пуск зерносушилки осуществляется путем заполнения сушильных шахт зерносушилки сырым зерном и сушкой до заданной влажности просушенных семян рапса не более 7% и рециркулирующих семян не более 9% за счет перевода зерносушилки на замкнутый цикл рециркуляции путем изменения положения перекидного клапана 12.

В соответствии с приведенной схемой сырые семена рапса поступают в оперативный бункер 5, откуда осуществляется его подача в рециркуляционную норию 1, где оно смешивается с рециркулирующим зерном. После чего смесь сырого и рециркулирующего зерна подаётся в бункер над камерой нагрева 11 и далее – в камеру предварительного нагрева зерна 10, оборудованную тормозящими элементами 13, где в течение нескольких секунд нагревается противопотоком сушильного агента, подаваемого по воздуховоду из топки 18, до заданной температуры. Отработавший сушильный агент отводится при помощи вентилятора 9 в циклоны 8, где происходит его очистка от легкой фракции.

ТУ 9721215-00946257-2016

Стр.6 из 10

Изм.

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»

Изд.1

Смесь нагретого зерна поступает в бункер-тепловлагообменник 14, где происходит выравнивание температуры и частичный влагообмен между сырым и рециркулирующим зерном. Затем зерно распределяется по двум шахтам: рециркуляционной 3 и охладительной 20, в верхних зонах которых протекают процессы сушки при квазиизотермических режимах, осуществляемой за счет продувания зернового слоя сушильный агентом, подаваемым в верхнюю зону напорно-распределительной камеры 7, по воздуховоду из топки 18 при помощи вентилятора 16.

Регулировку температуры сушильного агента, поступающего в зону сушки рециркуляционной и охладительной шахт, осуществляют путём регулировки шиберной задвижки 15.

Напорно-распределительная камера разделена на три зоны 7, 24 при помощи горизонтальной и вертикальной металлических перегородок, зафиксированных на стенах напорно-распределительной камеры.

В нижние зоны напорно-распределительной камеры 24 подаётся атмосферный воздух, при помощи вентиляторов 6 и 19 за счет чего осуществляется охлаждение зерна.

Корректировка режимов охлаждения осуществляется за счет изменения режимов работы вентиляторов зон охлаждения 6, 19.

Зерно из рециркуляционной шахты подается в рециркуляционную норию 1 где смешивается с сырым зерном и вновь направляется на сушку. Зерно из охладительной шахты направляется в норию просушенного зерна 22 и далее – на хранение, либо на повторную сушку (путём изменения положения перекидного клапана 12).

Контроль основных параметров процесса сушки осуществляется при помощи автоматизированной системы управления.

Контроль температуры зерна осуществляется при помощи датчиков температуры 4,17,23.

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»
Изд. 1

4.3. Квазиизотермические режимы сушки семян рапса

Таблица 1

Культура	Начальная влажность семян, %	Пределная температура, °С		
		Нагрева семян	агента сушки	
			на входе в камеру нагрева зерна	на входе в верхнюю зону напорно-распределительной камеры
Рапс	Не имеет значения	60	260	80

5. Методы контроля

5.1. Лаборатория предприятия должна осуществлять контроль за соблюдением температурных режимов сушки и качеством высушиваемого зерна.

5.2. Методы определения качества высушиваемого зерна.

5.2.1. Отбор проб – по ГОСТ 10852-86.

5.2.2. Определение влажности семян – ГОСТ 13586.5-93

5.2.3. Определение кислотного числа – ГОСТ 10858-77.

5.2.4. Определение всхожести и энергии прорастания – ГОСТ 12038-84.

5.3. До выхода зерносушилки на установленный режим работы следует отбирать контрольные пробы зерна на анализы до и после сушки зерна через каждый час, после выхода зерносушилки на установившийся режим работы – через каждые 2 часа. По этим пробам следует определять температуру и влажность зерна, его запах, цвет, состояние оболочек. В посушенном зерне не должно быть поджаренных зерен, с лопнувшими или вздутыми оболочками, запахом дыма, жидкого топлива, с налётом копоти, запаренных (с сырой оболочкой).

5.4. Если в процессе сушки лаборатория обнаружит ухудшение качества высушиваемых семян или несоответствие качественных показателей

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»

Изд. 1

требованиям нормативных документов, приведенных в п. 2. и 4.2. настоящих технических условий, она должна немедленно поставить в известность оператора зерносушильной установки и начальника лаборатории.

5.5. Оператор зерносушильной установки контролирует температуру агента сушки и атмосферного воздуха, температуру нагрева и охлаждения зерна, влажность зерна до и после сушки, уровень зерна в бункере над камерой нагрева зерна, тепловлагообменнике, оперативном бункере, опираясь на показатели приборов учета.

5.6. Оператор зерносушильной установки обязан постоянно наблюдать за температурой агента сушки, не допуская её отклонения более чем на 10°C.

5.7. Максимальную температуру нагрева семян следует регулировать изменением температуры агента сушки.

5.8. При отклонении влажности семян после сушки от заданной следует изменить продолжительность его пребывания в зерносушилке.

5.9. Контролируемые величины температуры агента сушки, атмосферного воздуха, максимальную температуру нагрева зерна, влажность зерна до и после сушки оператор зерносушильной установки заносит в журнал учета работы сушилki за смену.

6. Требования безопасности и охраны окружающей среды

6.1. Персонал рециркуляционной сушилki должен знать и выполнять действующие правила и инструкции по охране труда и пожарной безопасности.

6.2. Административно-технический персонал предприятия должен контролировать выполнение правил техники безопасности, разъяснять необходимость строгого соблюдения этих правил всеми работниками, обслуживающими зерносушилki.

6.3. Пуск обслуживания двигателей, транспортных механизмов, зерноочистительных машин, вентиляторов и другого оборудования должны

ТУ 9721215-00946257-2016 «Рециркуляционная сушка семян рапса с применением квазиизотермических режимов»
Изд. 1

осуществлять только лица, обученные безопасным приемам труда на этом оборудовании.

6.4. Обслуживать сушилку разрешается только в комбинезоне и головном уборе. Обшлага рукавов и брюк комбинезона должны быть застегнуты, волосы убраны под головной убор.

6.5. Мастер зерносушильной установки и инженер по охране труда предприятия обязаны перед пуском сушилки после длительного перерыва лично проверить состояние оборудования, ограждений, решеток, предохранительных приспособлений и индивидуальных средств защиты.

6.6. Во время работы зерносушилки следует постоянно следить за исправным состоянием выпускных механизмов и не допускать их засорения.

6.7. Во избежание выброса в атмосферу взвешенных частиц в количестве, превышающим предельно-допустимую концентрацию, необходимо обеспечить исправную работу аспирационных установок: не допускать переполнения отходных бункеров, проверять целостность корпусов воздуховодов, вентиляторов и циклонов.

Приложение В. Акт о внедрении результатов диссертационной работы

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполнительный директор

ООО «Челны-Бройлер»

по вопросам деятельности

ОАО «Набережночелнинский элеватор»



И.И. Шайхутдинов

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы

Урманова Артура Ильдаровича на тему

«Повышение эффективности сушки высоковлажных семян рапса»

Настоящим актом комиссия ОАО «Набережночелнинский элеватор» в составе исполнительного директора ООО «Челны-Бройлер» по вопросам деятельности ОАО «Набережночелнинский элеватор» Шайхутдинова И.И., заместителя директора по производству Сафина В.Х., заместителя директора по качеству Ярушевой Л.А., начальника отдела управления проектами ООО «Челны-Бройлер» Урманова А.И. подтверждает, что способ сушки, описанный в диссертации Урманова Артура Ильдаровича, используется на ОАО «Набережночелнинский элеватор». Применение усовершенствованной технологии рециркуляционной сушки при квазиизотермических режимах позволило повысить производительность зерносушильной установки СОБ-1 на 11 плановых тонн в час и повысить сохранность качественных показателей высушиваемых семян рапса (всхожесть и энергия прорастания), а также получаемого из него масла (кислотное число и перекисное число). В 2016 году по технологии сушки с применением квазиизотермических режимов было просушено 4 200 тонн семян рапса.

Заместитель директора по производству

В.Х. Сафин

Заместитель директора по качеству

Л.А. Ярушева

Начальник отдела управления проектами
ООО «Челны-Бройлер»

А.И. Урманов

Приложение Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

ТАТАРСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
«ЯР ЧАЛЛЫ ЭЛЕВАТОРЫ»
АЧЫК АКЦИОНЕРЛЫК ЖЭМГЯТЕ



РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАБЕРЕЖНОЧЕЛИНСКИЙ ЭЛЕВАТОР»

Юридический адрес: 423887, РФ, РТ, Тукаевский район, д. Малая Шильна, ул. Элеваторская, 18
Почтовый адрес: 423801, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, а/я 26
ИНН 1639004674, КПП 163901001, БИК 049240803
р/с 40702810900000002059 в ОАО "АКИБАНК", к/с 30101810100000000803 в Комсомольском РКЦ г.Наб.Челны
тел. (8552) 71-74-38, 71-73-05 факс 71-73-87, e-mail: elevatore@yandex.ru

№ 31

от "4" октября 2013 г.

**АКТ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ СУШКИ СЕМЯН РАПСА ПРИ
КВАЗИИЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ И ОХЛАЖДЕНИЯ СЕМЯН РАПСА**

Наименование образца: Семена рапса сорта «Ратник».

Цель проведения испытаний: Изучение и обоснование квазиизотермических режимов сушки и режимов охлаждения зерна рапса, при которых обеспечивалось бы наибольшее снижение влажности высушиваемого зерна при максимальном сохранении качественных показателей.

Даты проведения испытаний: 01.05.2013-30.09.2013

Установка проведения испытаний: Экспериментальная установка, физически моделирующая отдельные этапы процесса сушки зерна.

Количество зерна, просушенного в ходе проведения испытаний: 450 килограмм.

НД на продукцию:

1. ТР ТС 015/2011 Технический регламент Таможенного союза о безопасности зерна;
2. ГОСТ 10583-76 Рапс для промышленной переработки. Технические условия;
3. ГОСТ 10852-86 Отбор проб;
4. ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности;
5. ГОСТ 10858-77 Семена масличных культур. Промышленное сырьё. Методы определения кислотного числа масла;
6. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести;

7. ГОСТ 51487-99 Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа.

Результаты испытаний приведены в приложениях №1 и №2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: моделирование процессов сушки семян рапса при квазиизотермических режимах и охлаждения семян рапса проведены успешно, результаты испытаний соответствуют требованиям нормативных документов, действующих на территории Российской Федерации.

Исполнительный директор
ЗАО «АГРОСИЛА ГРУПП»
по вопросам деятельности
ОАО «Набережночелнинский элеватор»



И.И. Шайхутдинов

Специалист по развитию

А.И. Урманов

Заместитель директора по качеству

Л.А. Ярушева

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

Приложение №1 к акту лабораторных испытаний от "04" сентября 2013 г.

Результаты моделирования процесса сушки семян рапса при квазиизотермических режимах

№ опыта	Продолжительность сушки, мин.	Масса, г		Температура, °С		Скорость сушильного агента, м/с	Температура сушильного агента, °С
		Начальная	Конечная	Начальная	Конечная		
1.1.1	2	360	-	59,1	52,1	0,5	100
1.1.2	4	360	-	60,3	47,8	0,5	100
1.1.3	6	360	-	62,2	48,4	0,5	100
1.1.4	8	360	-	60,5	50,6	0,5	100
1.1.5	10	360	-	59,4	54,6	0,5	100
1.1.6	12	360	-	61,3	57,5	0,5	100
1.1.7	14	360	-	60,8	59,5	0,5	100
1.2.1	2	360	-	58,5	53,9	0,5	100
1.2.2	4	360	-	59,1	48,2	0,5	100
1.2.3	6	360	-	57,9	50,9	0,5	100
1.2.4	8	360	-	60,1	52,6	0,5	100
1.2.5	10	360	-	62,2	55,8	0,5	100
1.2.6	12	360	-	59,6	58,4	0,5	100
1.2.7	14	360	-	60,4	60,3	0,5	100
1.3.1	2	360	-	60,6	54,1	0,5	100
1.3.2	4	360	-	61,2	48,5	0,5	100
1.3.3	6	360	-	63,2	51,5	0,5	100
1.3.4	8	360	-	61,7	53,3	0,5	100
1.3.5	10	360	-	62,5	55,5	0,5	100
1.3.6	12	360	-	58,4	57,9	0,5	100
1.3.7	14	360	-	59,6	60,1	0,5	100
2.1.1.1	2	360	353,7	58,8	50,5	0,5	120
2.1.1.2	2	360	354,5	59,5	52,3	0,5	120
2.1.1.3	2	360	355,9	60,4	51,0	0,5	120
Сред.	2	360	354,7	59,6	51,3	0,5	120
2.1.2.1	4	360	353,9	58,9	46,3	0,5	120
2.1.2.2	4	360	351,7	59,2	44,4	0,5	120
2.1.2.3	4	360	351,4	60,1	44,7	0,5	120
Сред.	4	360	352,3	59,4	45,1	0,5	120
2.1.3.1	6	360	347,5	61,3	48,7	0,5	120
2.1.3.2	6	360	348,7	60,4	49,2	0,5	120
2.1.3.3	6	360	349,3	60,6	50,9	0,5	120
Сред.	6	360	348,5	60,8	49,6	0,5	120
2.1.4.1	8	360	347,8	59,4	52,4	0,5	120
2.1.4.2	8	360	346,8	60,6	54,2	0,5	120
2.1.4.3	8	360	346,2	59,7	51,9	0,5	120
Сред.	8	360	346,9	59,9	52,8	0,5	120
2.1.5.1	10	360	344,4	58,9	59,1	0,5	120
2.1.5.2	10	360	342,3	60,4	59,7	0,5	120
2.1.5.3	10	360	344,0	60,5	56,8	0,5	120

Сред.	10	360	343,6	59,9	58,5	0,5	120
2.2.1.1	2	360	355,6	60,3	51,4	0,5	80
2.2.1.2	2	360	354,9	61,0	54,7	0,5	80
2.2.1.3	2	360	355,4	62,1	56,2	0,5	80
Сред.	2	360	355,3	61,1	54,1	0,5	80
2.2.2.1	4	360	354,2	61,5	50,5	0,5	80
2.2.2.2	4	360	353,8	58,9	50,4	0,5	80
2.2.2.3	4	360	353,6	58,5	50,1	0,5	80
Сред.	4	360	353,9	59,6	50,3	0,5	80
2.2.3.1	6	360	350,4	60,3	47,8	0,5	80
2.2.3.2	6	360	353,0	61,4	49,4	0,5	80
2.2.3.3	6	360	352,9	60,2	49,5	0,5	80
Сред.	6	360	352,1	60,6	48,9	0,5	80
2.2.4.1	8	360	350,3	59,5	47,1	0,5	80
2.2.4.2	8	360	351,2	59,9	48,5	0,5	80
2.2.4.3	8	360	351,7	60,1	48,1	0,5	80
Сред.	8	360	351,1	59,8	47,9	0,5	80
2.2.5.1	10	360	351,0	60,5	48,8	0,5	80
2.2.5.2	10	360	349,5	60,4	47,9	0,5	80
2.2.5.3	10	360	350,7	60,9	48,3	0,5	80
Сред.	10	360	350,4	60,6	48,3	0,5	80
2.2.6.1	12	360	347,8	59,4	48,6	0,5	80
2.2.6.2	12	360	347,6	58,5	49,3	0,5	80
2.2.6.3	12	360	348,3	60,3	47,9	0,5	80
Сред.	12	360	347,9	59,4	48,6	0,5	80
2.2.7.1	14	360	347,8	60,2	51,0	0,5	80
2.2.7.2	14	360	347,7	60,4	49,7	0,5	80
2.2.7.3	14	360	347,0	59,7	48,6	0,5	80
Сред.	14	360	347,5	60,1	49,8	0,5	80
2.2.8.1	16	360	345,7	61,1	52,6	0,5	80
2.2.8.2	16	360	346,5	60,7	51,8	0,5	80
2.2.8.3	16	360	345,7	59,5	51,6	0,5	80
Сред.	16	360	346,0	60,4	52,0	0,5	80
2.2.9.1	18	360	345,4	59,4	52,2	0,5	80
2.2.9.2	18	360	345,6	60,3	52,7	0,5	80
2.2.9.3	18	360	345,5	60,3	51,9	0,5	80
Сред.	18	360	345,5	60,0	52,3	0,5	80
2.2.10.1	20	360	344,6	60,4	54,4	0,5	80
2.2.10.2	20	360	343,7	59,5	54,9	0,5	80
2.2.10.3	20	360	344,7	59,7	52,1	0,5	80
Сред.	20	360	344,3	59,9	53,8	0,5	80
2.2.11.1	22	360	344,0	59,1	55,9	0,5	80
2.2.11.2	22	360	342,9	59,6	55,1	0,5	80
2.2.11.3	22	360	343,3	58,5	56,2	0,5	80
Сред.	22	360	343,4	59,1	55,7	0,5	80
2.2.12.1	24	360	343,5	59,8	58,8	0,5	80
2.2.12.2	24	360	343,0	60,4	57,7	0,5	80
2.2.12.3	24	360	342,7	60,6	57,7	0,5	80
Сред.	24	360	343,1	60,3	58,1	0,5	80

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

3.1.1.1.1	2	360	354,5	60,5	49,1	0,4	120
3.1.1.1.2	2	360	355,9	61,4	52,6	0,4	120
3.1.1.1.3	2	360	356,2	59,8	52,5	0,4	120
Сред.	2	360	355,5	60,6	51,4	0,4	120
3.1.2.1	4	360	351,5	60,3	47,3	0,4	120
3.1.2.2	4	360	350,2	60,4	46,5	0,4	120
3.1.2.3	4	360	351,7	61,0	47,8	0,4	120
Сред.	4	360	351,1	60,6	47,2	0,4	120
3.1.3.1	6	360	349,2	59,8	46,0	0,4	120
3.1.3.2	6	360	350,2	58,7	46,9	0,4	120
3.1.3.3	6	360	350,0	58,6	46,6	0,4	120
Сред.	6	360	349,8	59,0	46,5	0,4	120
3.1.4.1	8	360	347,3	59,6	47,0	0,4	120
3.1.4.2	8	360	348,2	59,4	47,2	0,4	120
3.1.4.3	8	360	347,9	60,7	47,2	0,4	120
Сред.	8	360	347,8	59,9	47,1	0,4	120
3.1.5.1	10	360	344,1	59,4	48,0	0,4	120
3.1.5.2	10	360	345,7	59,7	48,6	0,4	120
3.1.5.3	10	360	345,3	60,0	47,5	0,4	120
Сред.	10	360	345,0	59,7	48,0	0,4	120
3.1.6.1	12	360	343,7	59,4	49,4	0,4	120
3.1.6.2	12	360	344,3	59,6	49,5	0,4	120
3.1.6.3	12	360	344,5	60,3	50,2	0,4	120
Сред.	12	360	344,2	59,8	49,7	0,4	120
3.1.7.1	14	360	340,1	60,5	50,6	0,4	120
3.1.7.2	14	360	340,9	60,1	50,9	0,4	120
3.1.7.3	14	360	341,8	59,4	51,2	0,4	120
Сред.	14	360	340,9	60,0	50,9	0,4	120
3.1.8.1	16	360	340,9	59,4	53,8	0,4	120
3.1.8.2	16	360	338,8	58,4	50,5	0,4	120
3.1.8.3	16	360	339,4	62,1	52,6	0,4	120
Сред.	16	360	339,7	60,0	52,3	0,4	120
3.1.9.1	18	360	339,2	61,1	54,8	0,4	120
3.1.9.2	18	360	338,1	60,2	54,1	0,4	120
3.1.9.3	18	360	338,4	60,3	53,2	0,4	120
Сред.	18	360	338,5	60,5	54,0	0,4	120
3.1.10.1	20	360	338,1	60,2	55,9	0,4	120
3.1.10.2	20	360	339,3	60,4	56,7	0,4	120
3.1.10.3	20	360	337,9	60,4	55,2	0,4	120
Сред.	20	360	338,4	60,3	55,9	0,4	120
3.1.11.1	22	360	335,4	59,7	55,1	0,4	120
3.1.11.2	22	360	337,5	59,4	56,9	0,4	120
3.1.11.3	22	360	338,2	60,8	58,8	0,4	120
Сред.	22	360	337,0	60,0	56,9	0,4	120
3.1.12.1	24	360	336,3	61,1	58,1	0,4	120
3.1.12.2	24	360	335,7	59,2	57,6	0,4	120
3.1.12.3	24	360	336,9	60,4	59,2	0,4	120
Сред.	24	360	336,3	60,2	58,3	0,4	120
3.1.13.1	26	360	335,2	61,3	61,8	0,4	120
3.1.13.2	26	360	337,1	60,0	59,3	0,4	120

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

3.1.13.3	26	360	336,5	60,5	59,2	0,4	120
Сред.	26	360	336,3	60,6	60,1	0,4	120
3.2.1.1	2	360	356,7	59,8	54,4	0,4	100
3.2.1.2	2	360	355,0	60,3	53,9	0,4	100
3.2.1.3	2	360	355,1	59,5	53,2	0,4	100
Сред.	2	360	355,6	59,9	53,8	0,4	100
3.2.2.1	4	360	352,6	58,8	48,6	0,4	100
3.2.2.2	4	360	353,5	60,3	49,9	0,4	100
3.2.2.3	4	360	354,4	60,2	51,4	0,4	100
Сред.	4	360	353,5	59,8	50,0	0,4	100
3.2.3.1	6	360	362,0	60,1	48,9	0,4	100
3.2.3.2	6	360	363,2	60,9	49,1	0,4	100
3.2.3.3	6	360	362,2	60,6	48,1	0,4	100
Сред.	6	360	350,4	60,5	48,7	0,4	100
3.2.4.1	8	360	351,7	60,1	48,3	0,4	100
3.2.4.2	8	360	349,7	59,1	46,4	0,4	100
3.2.4.3	8	360	349,5	59,4	46,2	0,4	100
Сред.	8	360	350,3	59,5	47,0	0,4	100
3.2.5.1	10	360	347,5	59,6	47,5	0,4	100
3.2.5.2	10	360	347,2	59,6	49,1	0,4	100
3.2.5.3	10	360	346,7	59,8	46,7	0,4	100
Сред.	10	360	347,1	59,7	47,8	0,4	100
3.2.6.1	12	360	344,6	60,3	48,0	0,4	100
3.2.6.2	12	360	345,6	61,5	48,6	0,4	100
3.2.6.3	12	360	346,2	60,2	49,0	0,4	100
Сред.	12	360	345,5	60,7	48,5	0,4	100
3.2.7.1	14	360	344,8	60,5	49,2	0,4	100
3.2.7.2	14	360	344,8	61,1	49,4	0,4	100
3.2.7.3	14	360	343,6	60,4	48,3	0,4	100
Сред.	14	360	344,4	60,7	49,0	0,4	100
3.2.8.1	16	360	341,5	59,4	50,7	0,4	100
3.2.8.2	16	360	342,1	60,1	51,4	0,4	100
3.2.8.3	16	360	341,1	60,2	50,1	0,4	100
Сред.	16	360	341,6	59,9	50,7	0,4	100
3.2.9.1	18	360	341,6	58,5	52,6	0,4	100
3.2.9.2	18	360	340,5	61,1	51,2	0,4	100
3.2.9.3	18	360	340,2	59,4	51,4	0,4	100
Сред.	18	360	340,8	59,7	51,7	0,4	100
3.2.10.1	20	360	350,9	59,4	53,0	0,4	100
3.2.10.2	20	360	351,9	60,3	53,8	0,4	100
3.2.10.3	20	360	353,0	61,4	53,9	0,4	100
Сред.	20	360	340,2	60,4	53,6	0,4	100
3.2.11.1	22	360	338,8	60,6	53,7	0,4	100
3.2.11.2	22	360	340,7	59,5	56,6	0,4	100
3.2.11.3	22	360	340,1	60,1	55,2	0,4	100
Сред.	22	360	339,9	60,1	55,2	0,4	100
3.2.12.1	24	360	337,8	60,2	54,9	0,4	100
3.2.12.2	24	360	339,6	60,6	57,1	0,4	100
3.2.12.3	24	360	339,0	59,5	56,7	0,4	100
Сред.	24	360	338,6	60,1	56,2	0,4	100

3.2.13.1	26	360	338,3	59,4	58,5	0,4	100
3.2.13.2	26	360	338,7	59,7	58,3	0,4	100
3.2.13.3	26	360	337,8	61,2	57,2	0,4	100
Сред.	26	360	338,3	60,1	58,0	0,4	100
3.3.1.1	2	360	357,4	60,7	57,0	0,4	80
3.3.1.2	2	360	357,5	60,1	56,4	0,4	80
3.3.1.3	2	360	356,6	60,9	54,9	0,4	80
Сред.	2	360	357,2	60,6	56,1	0,4	80
3.3.2.1	4	360	355,4	60,5	51,4	0,4	80
3.3.2.2	4	360	355,5	59,4	51,1	0,4	80
3.3.2.3	4	360	354,8	58,9	51,8	0,4	80
Сред.	4	360	355,2	59,6	51,5	0,4	80
3.3.3.1	6	360	352,9	59,9	49,6	0,4	80
3.3.3.2	6	360	354,0	58,7	50,0	0,4	80
3.3.3.3	6	360	354,8	62,1	51,0	0,4	80
Сред.	6	360	353,9	60,2	50,2	0,4	80
3.3.4.1	8	360	353,7	60,4	49,1	0,4	80
3.3.4.2	8	360	353,9	61,1	49,2	0,4	80
3.3.4.3	8	360	353,8	60,4	49,8	0,4	80
Сред.	8	360	353,8	60,6	49,4	0,4	80
3.3.5.1	10	360	350,7	59,3	48,4	0,4	80
3.3.5.2	10	360	351,4	59,8	49,5	0,4	80
3.3.5.3	10	360	351,2	60,7	49,8	0,4	80
Сред.	10	360	351,1	59,9	49,2	0,4	80
3.3.6.1	12	360	350,2	59,5	50,1	0,4	80
3.3.6.2	12	360	350,1	59,8	48,7	0,4	80
3.3.6.3	12	360	351,8	60,3	50,6	0,4	80
Сред.	12	360	350,7	59,9	49,8	0,4	80
3.3.7.1	14	360	348,1	59,8	49,9	0,4	80
3.3.7.2	14	360	349,2	60,1	50,3	0,4	80
3.3.7.3	14	360	348,6	60,6	49,4	0,4	80
Сред.	14	360	348,6	60,2	49,9	0,4	80
3.3.8.1	16	360	346,7	58,4	52,0	0,4	80
3.3.8.2	16	360	347,3	58,6	51,2	0,4	80
3.3.8.3	16	360	347,9	59,7	50,2	0,4	80
Сред.	16	360	347,3	58,9	51,1	0,4	80
3.3.9.1	18	360	348,0	59,8	52,3	0,4	80
3.3.9.2	18	360	346,1	60,7	50,8	0,4	80
3.3.9.3	18	360	346,2	60,6	51,4	0,4	80
Сред.	18	360	346,8	60,4	51,5	0,4	80
3.3.10.1	20	360	344,4	61,5	50,7	0,4	80
3.3.10.2	20	360	347,2	59,4	52,3	0,4	80
3.3.10.3	20	360	346,5	59,3	52,9	0,4	80
Сред.	20	360	346,0	60,1	52,0	0,4	80
3.3.11.1	22	360	345,9	58,8	53,7	0,4	80
3.3.11.2	22	360	346,3	60,9	53,6	0,4	80
3.3.11.3	22	360	345,1	59,4	51,5	0,4	80
Сред.	22	360	345,8	59,7	52,9	0,4	80
3.3.12.1	24	360	343,6	59,5	53,1	0,4	80

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

3.3.12.2	24	360	344,7	61,0	54,8	0,4	80
3.3.12.3	24	360	344,3	60,3	54,2	0,4	80
Сред.	24	360	344,2	60,3	54,0	0,4	80
3.3.13.1	26	360	345,6	59,7	55,7	0,4	80
3.3.13.2	26	360	342,0	58,6	53,8	0,4	80
3.3.13.3	26	360	343,6	60,8	54,2	0,4	80
Сред.	26	360	343,7	59,7	54,6	0,4	80
4.1.1.1	2	360	350,4	60,4	51,5	0,5	100
4.1.1.2	2	360	354,3	61,0	50,2	0,5	100
4.1.1.3	2	360	353,0	59,5	50,1	0,5	100
Сред.	2	360	352,6	60,3	50,6	0,5	100
4.1.2.1	4	360	348,0	58,9	46,7	0,5	100
4.1.2.2	4	360	346,5	60,1	48,1	0,5	100
4.1.2.3	4	360	348,6	60,7	46,8	0,5	100
Сред.	4	360	347,7	59,9	47,2	0,5	100
4.1.3.1	6	360	340,8	60,8	44,3	0,5	100
4.1.3.2	6	360	343,6	59,4	45,0	0,5	100
4.1.3.3	6	360	342,3	61,2	43,5	0,5	100
Сред.	6	360	342,2	60,5	44,3	0,5	100
4.1.4.1	8	360	337,0	58,7	41,9	0,5	100
4.1.4.2	8	360	339,4	59,6	42,8	0,5	100
4.1.4.3	8	360	337,2	60,3	41,7	0,5	100
Сред.	8	360	337,9	59,5	42,1	0,5	100
4.1.5.1	10	360	339,1	60,0	40,5	0,5	100
4.1.5.2	10	360	335,6	59,4	39,7	0,5	100
4.1.5.3	10	360	336,8	59,3	41,2	0,5	100
Сред.	10	360	337,2	59,6	40,5	0,5	100
4.1.6.1	12	360	333,7	58,8	39,4	0,5	100
4.1.6.2	12	360	337,2	60,6	40,0	0,5	100
4.1.6.3	12	360	335,5	58,5	40,4	0,5	100
Сред.	12	360	335,5	59,3	39,9	0,5	100
4.1.7.1	14	360	331,1	60,4	39,5	0,5	100
4.1.7.2	14	360	332,0	59,1	39,9	0,5	100
4.1.7.3	14	360	333,8	59,0	41,1	0,5	100
Сред.	14	360	332,3	59,5	40,2	0,5	100
4.1.8.1	16	360	331,4	61,6	41,1	0,5	100
4.1.8.2	16	360	333,8	60,7	40,1	0,5	100
4.1.8.3	16	360	331,1	60,7	40,8	0,5	100
Сред.	16	360	332,1	61,0	40,7	0,5	100
4.1.9.1	18	360	326,7	60,9	42,2	0,5	100
4.1.9.2	18	360	327,4	59,6	41,3	0,5	100
4.1.9.3	18	360	327,9	60,3	41,6	0,5	100
Сред.	18	360	327,3	60,3	41,7	0,5	100
4.1.10.1	20	360	328,3	59,7	41,4	0,5	100
4.1.10.2	20	360	326,0	58,9	42,4	0,5	100
4.1.10.3	20	360	325,6	60,4	43,1	0,5	100
Сред.	20	360	326,6	59,7	42,3	0,5	100
4.1.11.1	22	360	324,7	60,7	43,1	0,5	100
4.1.11.2	22	360	322,6	59,8	44,3	0,5	100

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

4.1.11.3	22	360	322,9	58,9	44,7	0,5	100
Сред.	22	360	323,4	59,8	44,0	0,5	100
4.1.12.1	24	360	321,0	60,3	46,6	0,5	100
4.1.12.2	24	360	323,6	60,8	45,3	0,5	100
4.1.12.3	24	360	324,5	59,5	43,2	0,5	100
Сред.	24	360	323,0	60,2	45,0	0,5	100
4.1.13.1	26	360	321,1	59,0	45,6	0,5	100
4.1.13.2	26	360	322,0	60,3	46,2	0,5	100
4.1.13.3	26	360	320,4	60,7	46,2	0,5	100
Сред.	26	360	321,2	60,0	46,0	0,5	100
4.2.1.1	2	360	354,6	60,1	51,2	0,5	100
4.2.1.2	2	360	355,8	59,5	51,8	0,5	100
4.2.1.3	2	360	349,3	59,6	52,6	0,5	100
Сред.	2	360	353,2	59,7	51,9	0,5	100
4.2.2.1	4	360	351,2	59,5	47,8	0,5	100
4.2.2.2	4	360	353,0	59,9	47,9	0,5	100
4.2.2.3	4	360	354,4	60,7	48,8	0,5	100
Сред.	4	360	352,9	60,0	48,2	0,5	100
4.2.3.1	6	360	348,2	60,2	45,1	0,5	100
4.2.3.2	6	360	347,2	61,3	44,0	0,5	100
4.2.3.3	6	360	349,6	61,1	45,2	0,5	100
Сред.	6	360	348,3	60,9	44,8	0,5	100
4.2.4.1	8	360	347,9	59,8	44,6	0,5	100
4.2.4.2	8	360	345,8	61,7	43,2	0,5	100
4.2.4.3	8	360	346,8	60,5	42,5	0,5	100
Сред.	8	360	346,8	60,7	43,4	0,5	100
4.2.5.1	10	360	346,4	60,6	43,4	0,5	100
4.2.5.2	10	360	345,8	59,8	42,5	0,5	100
4.2.5.3	10	360	347,1	60,9	44,3	0,5	100
Сред.	10	360	346,4	60,4	43,4	0,5	100
4.2.6.1	12	360	348,0	61,2	44,3	0,5	100
4.2.6.2	12	360	345,9	59,4	43,5	0,5	100
4.2.6.3	12	360	345,3	58,9	44,6	0,5	100
Сред.	12	360	346,4	59,8	44,1	0,5	100
4.2.7.1	14	360	341,5	59,9	44,8	0,5	100
4.2.7.2	14	360	338,4	60,6	45,0	0,5	100
4.2.7.3	14	360	342,0	60,1	44,2	0,5	100
Сред.	14	360	340,6	60,2	44,7	0,5	100
4.2.8.1	16	360	340,2	60,3	45,8	0,5	100
4.2.8.2	16	360	339,0	61,5	45,9	0,5	100
4.2.8.3	16	360	342,4	60,7	46,0	0,5	100
Сред.	16	360	340,5	60,8	45,9	0,5	100
4.2.9.1	18	360	338,6	60,8	46,8	0,5	100
4.2.9.2	18	360	339,8	59,4	46,4	0,5	100
4.2.9.3	18	360	340,9	61,3	45,7	0,5	100
Сред.	18	360	339,8	60,5	46,3	0,5	100
4.2.10.1	20	360	338,4	61,1	49,4	0,5	100
4.2.10.2	20	360	336,7	59,6	45,2	0,5	100
4.2.10.3	20	360	332,5	60,4	47,4	0,5	100

Сред.	20	360	335,9	60,4	47,3	0,5	100
4.2.11.1	22	360	335,1	60,8	49,1	0,5	100
4.2.11.2	22	360	334,3	61,0	50,3	0,5	100
4.2.11.3	22	360	336,4	59,4	46,7	0,5	100
Сред.	22	360	335,3	60,4	48,7	0,5	100
4.2.12.1	24	360	333,9	59,9	50,2	0,5	100
4.2.12.2	24	360	334,7	58,8	49,3	0,5	100
4.2.12.3	24	360	336,8	60,3	48,2	0,5	100
Сред.	24	360	335,1	59,7	49,2	0,5	100
4.2.13.1	26	360	334,6	59,8	50,8	0,5	100
4.2.13.2	26	360	333,3	59,1	51,3	0,5	100
4.2.13.3	26	360	333,2	60,7	50,5	0,5	100
Сред.	26	360	333,8	59,9	50,9	0,5	100
4.3.1.1	2	360	354,3	60,3	50,4	0,5	100
4.3.1.2	2	360	357,8	59,2	56,3	0,5	100
4.3.1.3	2	360	355,6	60,6	54,7	0,5	100
Сред.	2	360	355,9	60,0	53,8	0,5	100
4.3.2.1	4	360	353,7	60,7	51,0	0,5	100
4.3.2.2	4	360	355,7	59,8	52,2	0,5	100
4.3.2.3	4	360	351,9	59,2	50,2	0,5	100
Сред.	4	360	353,8	59,9	51,1	0,5	100
4.3.3.1	6	360	353,3	59,7	49,1	0,5	100
4.3.3.2	6	360	353,3	58,9	49,9	0,5	100
4.3.3.3	6	360	354,8	61,2	51,0	0,5	100
Сред.	6	360	353,8	59,9	50,0	0,5	100
4.3.4.1	8	360	356,1	60,3	52,0	0,5	100
4.3.4.2	8	360	352,2	60,7	49,6	0,5	100
4.3.4.3	8	360	351,8	60,6	49,8	0,5	100
Сред.	8	360	353,4	60,5	50,5	0,5	100
4.3.5.1	10	360	346,2	59,5	50,5	0,5	100
4.3.5.2	10	360	345,6	60,5	50,0	0,5	100
4.3.5.3	10	360	348,3	59,7	51,9	0,5	100
Сред.	10	360	346,7	59,9	50,8	0,5	100
4.3.6.1	12	360	347,7	58,4	53,5	0,5	100
4.3.6.2	12	360	346,8	59,3	52,4	0,5	100
4.3.6.3	12	360	345,0	60,5	50,1	0,5	100
Сред.	12	360	346,5	59,4	52,0	0,5	100
4.3.7.1	14	360	345,7	61,2	55,2	0,5	100
4.3.7.2	14	360	343,8	59,8	53,8	0,5	100
4.3.7.3	14	360	342,5	60,3	51,4	0,5	100
Сред.	14	360	344,0	60,4	53,5	0,5	100
4.3.8.1	16	360	344,8	59,7	54,8	0,5	100
4.3.8.2	16	360	343,2	60,8	53,6	0,5	100
4.3.8.3	16	360	343,1	60,7	53,9	0,5	100
Сред.	16	360	343,7	60,4	54,1	0,5	100
4.3.9.1	18	360	342,0	61,1	54,1	0,5	100
4.3.9.2	18	360	343,9	60,8	55,7	0,5	100
4.3.9.3	18	360	344,2	60,5	56,8	0,5	100
Сред.	18	360	343,4	60,8	55,5	0,5	100

4.3.10.1	20	360	342,8	59,6	58,6	0,5	100
4.3.10.2	20	360	343,2	61,4	58,1	0,5	100
4.3.10.3	20	360	340,7	60,3	55,1	0,5	100
Сред.	20	360	342,2	60,4	57,3	0,5	100
4.3.11.1	22	360	339,6	59,4	58,0	0,5	100
4.3.11.2	22	360	338,3	59,8	57,5	0,5	100
4.3.11.3	22	360	340,6	60,7	59,2	0,5	100
Сред.	22	360	339,5	60,0	58,0	0,5	100
4.3.12.1	24	360	339,3	59,5	58,8	0,5	100
4.3.12.2	24	360	340,6	59,3	60,0	0,5	100
4.3.12.3	24	360	338,5	60,6	57,9	0,5	100
Сред.	24	360	339,5	59,8	58,9	0,5	100
4.3.13.1	26	360	335,3	59,7	60,2	0,5	100
4.3.13.2	26	360	335,0	60,4	60,0	0,5	100
4.3.13.3	26	360	333,9	60,8	59,5	0,5	100
Сред.	26	360	334,7	60,3	59,9	0,5	100
5.1.1.1	2	360	357,0	61,2	55,9	0,2	80
5.1.1.2	2	360	357,1	60,8	55,7	0,2	80
5.1.1.3	2	360	359,2	59,6	57,1	0,2	80
Сред.	2	360	357,6	60,5	56,2	0,2	80
5.1.2.1	4	360	356,2	59,6	54,2	0,2	80
5.1.2.2	4	360	355,0	58,9	52,8	0,2	80
5.1.2.3	4	360	356,6	59,8	52,3	0,2	80
Сред.	4	360	355,9	59,4	53,1	0,2	80
5.1.3.1	6	360	355,7	60,3	51,2	0,2	80
5.1.3.2	6	360	354,7	60,0	52,3	0,2	80
5.1.3.3	6	360	354,2	59,9	50,9	0,2	80
Сред.	6	360	354,9	60,1	51,5	0,2	80
5.1.4.1	8	360	353,2	58,9	49,7	0,2	80
5.1.4.2	8	360	354,4	59,3	49,4	0,2	80
5.1.4.3	8	360	355,8	60,2	48,5	0,2	80
Сред.	8	360	354,5	59,5	49,2	0,2	80
5.1.5.1	10	360	353,1	61,0	49,2	0,2	80
5.1.5.2	10	360	352,3	60,9	47,3	0,2	80
5.1.5.3	10	360	350,4	59,4	47,4	0,2	80
Сред.	10	360	351,9	60,4	48,0	0,2	80
5.1.6.1	12	360	352,5	60,4	45,2	0,2	80
5.1.6.2	12	360	350,7	59,7	45,3	0,2	80
5.1.6.3	12	360	350,3	59,6	47,0	0,2	80
Сред.	12	360	351,2	59,9	45,8	0,2	80
5.1.7.1	14	360	350,7	61,3	46,1	0,2	80
5.1.7.2	14	360	350,8	61,0	45,7	0,2	80
5.1.7.3	14	360	349,3	59,5	44,2	0,2	80
Сред.	14	360	350,3	60,6	45,3	0,2	80
5.1.8.1	16	360	351,1	60,8	44,1	0,2	80
5.1.8.2	16	360	349,6	59,7	44,4	0,2	80
5.1.8.3	16	360	349,8	59,2	45,0	0,2	80
Сред.	16	360	350,2	59,9	44,5	0,2	80
5.1.9.1	18	360	349,5	60,4	42,9	0,2	80
5.1.9.2	18	360	349,3	60,7	44,6	0,2	80

5.1.9.3	18	360	350,5	60,4	44,8	0,2	80
Сред.	18	360	349,8	60,5	44,1	0,2	80
5.1.10.1	20	360	347,2	59,5	43,7	0,2	80
5.1.10.2	20	360	349,5	61,3	43,9	0,2	80
5.1.10.3	20	360	349,7	61,2	42,8	0,2	80
Сред.	20	360	348,8	60,7	43,5	0,2	80
5.1.11.1	22	360	348,6	59,8	43,1	0,2	80
5.1.11.2	22	360	348,8	59,3	42,5	0,2	80
5.1.11.3	22	360	348,9	59,6	44,8	0,2	80
Сред.	22	360	348,8	59,6	43,5	0,2	80
5.1.12.1	24	360	348,3	60,6	43,8	0,2	80
5.1.12.2	24	360	347,4	59,5	44,7	0,2	80
5.1.12.3	24	360	349,5	60,4	43,3	0,2	80
Сред.	24	360	348,4	60,2	43,9	0,2	80
5.1.13.1	26	360	346,7	59,2	45,1	0,2	80
5.1.13.2	26	360	349,9	62,0	44,0	0,2	80
5.1.13.3	26	360	348,5	60,5	43,3	0,2	80
Сред.	26	360	348,4	60,6	44,1	0,2	80
5.2.1.1	2	360	356,4	58,5	55,9	0,4	80
5.2.1.2	2	360	357,2	59,1	56,2	0,4	80
5.2.1.3	2	360	358,0	60,7	54,8	0,4	80
Сред.	2	360	357,2	59,4	55,6	0,4	80
5.2.2.1	4	360	354,1	59,7	51,4	0,4	80
5.2.2.2	4	360	354,0	59,0	51,7	0,4	80
5.2.2.3	4	360	355,1	60,8	52,6	0,4	80
Сред.	4	360	354,4	59,8	51,9	0,4	80
5.2.3.1	6	360	356,0	60,3	50,4	0,4	80
5.2.3.2	6	360	353,1	59,7	51,0	0,4	80
5.2.3.3	6	360	352,7	59,4	49,3	0,4	80
Сред.	6	360	353,9	59,8	50,2	0,4	80
5.2.4.1	8	360	351,7	60,0	49,9	0,4	80
5.2.4.2	8	360	350,4	59,5	49,5	0,4	80
5.2.4.3	8	360	353,6	61,3	48,9	0,4	80
Сред.	8	360	351,9	60,3	49,4	0,4	80
5.2.5.1	10	360	350,5	60,7	49,7	0,4	80
5.2.5.2	10	360	350,3	60,3	49,5	0,4	80
5.2.5.3	10	360	352,9	61,2	48,5	0,4	80
Сред.	10	360	351,1	60,7	49,2	0,4	80
5.2.6.1	12	360	349,0	59,8	49,7	0,4	80
5.2.6.2	12	360	350,8	60,4	50,0	0,4	80
5.2.6.3	12	360	348,8	59,1	48,8	0,4	80
Сред.	12	360	349,5	59,8	49,5	0,4	80
5.2.7.1	14	360	348,6	59,9	49,8	0,4	80
5.2.7.2	14	360	349,1	60,5	49,6	0,4	80
5.2.7.3	14	360	348,0	59,2	50,4	0,4	80
Сред.	14	360	348,6	59,9	49,9	0,4	80
5.2.8.1	16	360	348,2	61,3	51,2	0,4	80
5.2.8.2	16	360	345,4	59,5	49,0	0,4	80
5.2.8.3	16	360	345,9	60,4	50,5	0,4	80

Сред.	16	360	346,5	60,4	50,2	0,4	80
5.2.9.1	18	360	344,8	59,6	51,9	0,4	80
5.2.9.2	18	360	347,2	60,8	52,1	0,4	80
5.2.9.3	18	360	347,6	61,1	50,6	0,4	80
Сред.	18	360	346,5	60,5	51,5	0,4	80
5.2.10.1	20	360	346,6	59,1	53,3	0,4	80
5.2.10.2	20	360	345,6	58,5	52,2	0,4	80
5.2.10.3	20	360	347,0	61,0	51,6	0,4	80
Сред.	20	360	346,4	59,5	52,4	0,4	80
5.2.11.1	22	360	344,2	59,6	51,7	0,4	80
5.2.11.2	22	360	345,4	60,3	52,6	0,4	80
5.2.11.3	22	360	345,5	60,9	53,7	0,4	80
Сред.	22	360	345,0	60,3	52,7	0,4	80
5.2.12.1	24	360	343,6	59,4	53,1	0,4	80
5.2.12.2	24	360	343,8	59,8	54,0	0,4	80
5.2.12.3	24	360	345,3	60,3	54,3	0,4	80
Сред.	24	360	344,2	59,8	53,8	0,4	80
5.2.13.1	26	360	343,3	60,8	55,4	0,4	80
5.2.13.2	26	360	344,0	60,1	55,5	0,4	80
5.2.13.3	26	360	344,5	60,3	53,9	0,4	80
Сред.	26	360	343,9	60,4	54,9	0,4	80
5.3.1.1	2	360	353,7	59,6	54,1	0,6	80
5.3.1.2	2	360	353,9	59,8	53,2	0,6	80
5.3.1.3	2	360	354,6	60,3	52,7	0,6	80
Сред.	2	360	354,1	59,9	53,3	0,6	80
5.3.2.1	4	360	350,3	59,5	52,5	0,6	80
5.3.2.2	4	360	352,9	61,2	49,7	0,6	80
5.3.2.3	4	360	351,8	60,7	51,4	0,6	80
Сред.	4	360	351,7	60,5	51,2	0,6	80
5.3.3.1	6	360	349,7	59,4	50,5	0,6	80
5.3.3.2	6	360	350,0	60,3	51,0	0,6	80
5.3.3.3	6	360	351,9	60,9	50,3	0,6	80
Сред.	6	360	350,5	60,2	50,6	0,6	80
5.3.4.1	8	360	349,1	60,5	50,6	0,6	80
5.3.4.2	8	360	347,5	59,7	50,1	0,6	80
5.3.4.3	8	360	348,0	58,6	50,5	0,6	80
Сред.	8	360	348,2	59,6	50,2	0,6	80
5.3.5.1	10	360	347,2	60,7	49,9	0,6	80
5.3.5.2	10	360	344,9	59,8	50,8	0,6	80
5.3.5.3	10	360	344,1	59,1	49,8	0,6	80
Сред.	10	360	345,4	59,9	50,2	0,6	80
5.3.6.1	12	360	341,9	59,0	52,0	0,6	80
5.3.6.2	12	360	344,3	60,5	51,4	0,6	80
5.3.6.3	12	360	343,8	60,3	50,6	0,6	80
Сред.	12	360	343,3	59,9	51,3	0,6	80
5.3.7.1	14	360	342,6	59,6	52,0	0,6	80
5.3.7.2	14	360	342,3	59,8	51,3	0,6	80
5.3.7.3	14	360	343,4	59,4	52,7	0,6	80
Сред.	14	360	342,8	59,6	52,0	0,6	80

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

5.3.8.1	16	360	339,9	59,7	52,4	0,6	80
5.3.8.2	16	360	341,5	60,5	54,1	0,6	80
5.3.8.3	16	360	341,0	60,5	53,1	0,6	80
Сред.	16	360	340,8	60,2	53,2	0,6	80
5.3.9.1	18	360	340,5	61,1	54,8	0,6	80
5.3.9.2	18	360	339,4	60,3	55,4	0,6	80
5.3.9.3	18	360	338,2	59,8	54,5	0,6	80
Сред.	18	360	339,4	60,4	54,9	0,6	80
5.3.10.1	20	360	338,4	59,2	55,9	0,6	80
5.3.10.2	20	360	339,6	60,4	55,8	0,6	80
5.3.10.3	20	360	339,6	60,2	55,0	0,6	80
Сред.	20	360	339,2	59,9	55,6	0,6	80
5.3.11.1	22	360	336,8	58,8	56,1	0,6	80
5.3.11.2	22	360	339,2	60,3	56,3	0,6	80
5.3.11.3	22	360	338,8	59,5	57,0	0,6	80
Сред.	22	360	338,3	59,5	56,5	0,6	80
5.3.12.1	24	360	337,8	60,2	58,0	0,6	80
5.3.12.2	24	360	338,3	60,4	57,8	0,6	80
5.3.12.3	24	360	338,5	60,9	59,3	0,6	80
Сред.	24	360	338,2	60,5	58,4	0,6	80
5.3.13.1	26	360	335,5	59,4	59,2	0,6	80
5.3.13.2	26	360	336,7	60,7	59,9	0,6	80
5.3.13.3	26	360	337,3	60,2	59,8	0,6	80
Сред.	26	360	336,5	60,1	59,6	0,6	80
6.1.1.1	2	360	350,7	59,7	53,5	0,4	120
6.1.1.2	2	360	348,5	58,6	52,9	0,4	120
6.1.1.3	2	360	346,3	60,5	51,4	0,4	120
Сред.	2	360	348,5	59,6	52,6	0,4	120
6.1.2.1	4	360	345,0	61,2	48,2	0,4	120
6.1.2.2	4	360	343,1	59,0	47,5	0,4	120
6.1.2.3	4	360	343,2	59,4	45,5	0,4	120
Сред.	4	360	343,8	59,9	47,1	0,4	120
6.1.3.1	6	360	340,2	60,3	46,4	0,4	120
6.1.3.2	6	360	341,1	61,2	47,5	0,4	120
6.1.3.3	6	360	341,6	61,0	48,5	0,4	120
Сред.	6	360	341,0	60,8	47,5	0,4	120
6.1.4.1	8	360	333,9	59,8	47,8	0,4	120
6.1.4.2	8	360	333,8	59,3	48,1	0,4	120
6.1.4.3	8	360	336,0	60,2	46,0	0,4	120
Сред.	8	360	334,6	59,8	47,3	0,4	120
6.1.5.1	10	360	330,1	60,7	47,6	0,4	120
6.1.5.2	10	360	328,3	59,4	49,2	0,4	120
6.1.5.3	10	360	330,2	60,7	50,3	0,4	120
Сред.	10	360	329,5	60,3	49,0	0,4	120
6.1.6.1	12	360	326,7	59,1	51,9	0,4	120
6.1.6.2	12	360	329,3	61,2	50,7	0,4	120
6.1.6.3	12	360	327,7	59,5	49,8	0,4	120
Сред.	12	360	327,9	59,9	50,8	0,4	120
6.1.7.1	14	360	326,3	60,7	51,2	0,4	120

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

6.1.7.2	14	360	325,1	59,9	51,9	0,4	120
6.1.7.3	14	360	326,6	60,0	51,4	0,4	120
Сред.	14	360	326,0	60,2	51,5	0,4	120
6.1.8.1	16	360	324,4	61,2	54,6	0,4	120
6.1.8.2	16	360	323,5	59,3	51,7	0,4	120
6.1.8.3	16	360	322,2	58,7	52,8	0,4	120
Сред.	16	360	323,4	59,7	53,0	0,4	120
6.1.9.1	18	360	320,4	60,0	52,7	0,4	120
6.1.9.2	18	360	320,0	60,6	55,6	0,4	120
6.1.9.3	18	360	318,8	59,5	56,3	0,4	120
Сред.	18	360	319,7	60,0	54,9	0,4	120
6.1.10.1	20	360	320,4	61,0	56,0	0,4	120
6.1.10.2	20	360	317,3	59,3	56,3	0,4	120
6.1.10.3	20	360	318,7	60,2	54,2	0,4	120
Сред.	20	360	318,8	60,2	55,5	0,4	120
6.1.11.1	22	360	315,3	59,4	58,7	0,4	120
6.1.11.2	22	360	315,0	59,6	57,0	0,4	120
6.1.11.3	22	360	317,2	60,1	56,3	0,4	120
Сред.	22	360	315,8	59,7	57,3	0,4	120
6.1.12.1	24	360	314,0	59,9	57,4	0,4	120
6.1.12.2	24	360	316,7	61,2	57,9	0,4	120
6.1.12.3	24	360	314,8	60,6	58,8	0,4	120
Сред.	24	360	315,2	60,6	58,0	0,4	120
6.1.13.1	26	360	314,2	59,8	59,6	0,4	120
6.1.13.2	26	360	312,9	59,1	60,9	0,4	120
6.1.13.3	26	360	314,5	60,0	59,3	0,4	120
Сред.	26	360	313,7	59,6	59,9	0,4	120
6.2.1.1	2	360	353,5	61,4	51,8	0,4	100
6.2.1.2	2	360	352,7	60,3	50,5	0,4	100
6.2.1.3	2	360	355,2	59,5	53,0	0,4	100
Сред.	2	360	353,8	60,4	51,8	0,4	100
6.2.2.1	4	360	349,6	60,7	47,9	0,4	100
6.2.2.2	4	360	348,1	60,1	45,1	0,4	100
6.2.2.3	4	360	347,8	59,8	45,0	0,4	100
Сред.	4	360	348,5	60,2	46,0	0,4	100
6.2.3.1	6	360	342,9	60,3	43,1	0,4	100
6.2.3.2	6	360	344,7	60,8	44,4	0,4	100
6.2.3.3	6	360	346,5	60,4	46,3	0,4	100
Сред.	6	360	344,7	60,5	44,6	0,4	100
6.2.4.1	8	360	338,0	59,7	42,3	0,4	100
6.2.4.2	8	360	339,8	60,7	43,2	0,4	100
6.2.4.3	8	360	341,2	59,4	45,8	0,4	100
Сред.	8	360	339,7	59,9	43,8	0,4	100
6.2.5.1	10	360	339,6	58,3	46,0	0,4	100
6.2.5.2	10	360	338,3	60,7	44,8	0,4	100
6.2.5.3	10	360	337,1	60,2	44,2	0,4	100
Сред.	10	360	338,3	59,7	45,0	0,4	100
6.2.6.1	12	360	334,6	60,4	46,3	0,4	100
6.2.6.2	12	360	335,0	60,8	46,2	0,4	100

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

Сред.	10	360	344,8	59,9	41,0	0,4	80
6.3.6.1	12	360	343,5	59,8	40,1	0,4	80
6.3.6.2	12	360	343,6	60,4	39,0	0,4	80
6.3.6.3	12	360	345,8	61,2	41,2	0,4	80
Сред.	12	360	344,3	60,5	40,1	0,4	80
6.3.7.1	14	360	341,5	60,7	40,7	0,4	80
6.3.7.2	14	360	342,5	59,6	41,0	0,4	80
6.3.7.3	14	360	339,8	59,9	38,5	0,4	80
Сред.	14	360	341,3	60,1	40,1	0,4	80
6.3.8.1	16	360	341,2	59,1	40,4	0,4	80
6.3.8.2	16	360	341,6	60,7	41,8	0,4	80
6.3.8.3	16	360	339,4	59,4	39,6	0,4	80
Сред.	16	360	340,7	59,7	40,6	0,4	80
6.3.9.1	18	360	339,6	60,3	42,5	0,4	80
6.3.9.2	18	360	337,5	59,4	41,7	0,4	80
6.3.9.3	18	360	335,4	60,8	39,4	0,4	80
Сред.	18	360	337,5	60,2	41,2	0,4	80
6.3.10.1	20	360	333,3	60,7	40,3	0,4	80
6.3.10.2	20	360	335,5	60,4	41,8	0,4	80
6.3.10.3	20	360	337,9	59,8	43,6	0,4	80
Сред.	20	360	335,6	60,3	41,9	0,4	80
6.3.11.1	22	360	335,4	59,6	42,2	0,4	80
6.3.11.2	22	360	336,5	61,2	43,1	0,4	80
6.3.11.3	22	360	334,3	60,4	41,8	0,4	80
Сред.	22	360	335,4	60,4	42,4	0,4	80
6.3.12.1	24	360	335,7	60,9	43,6	0,4	80
6.3.12.2	24	360	336,1	59,9	44,0	0,4	80
6.3.12.3	24	360	332,3	59,1	41,4	0,4	80
Сред.	24	360	334,7	60,0	43,0	0,4	80
6.3.13.1	26	360	330,6	61,4	43,0	0,4	80
6.3.13.2	26	360	331,9	60,3	44,0	0,4	80
6.3.13.3	26	360	333,3	59,2	47,8	0,4	80
Сред.	26	360	331,9	60,3	44,9	0,4	80
7.1.1.1	2	360	354,8	59,6	51,7	0,2	100
7.1.1.2	2	360	355,0	60,3	52,4	0,2	100
7.1.1.3	2	360	356,7	61,2	53,5	0,2	100
Сред.	2	360	355,5	60,4	52,5	0,2	100
7.1.2.1	4	360	354,9	60,3	46,9	0,2	100
7.1.2.2	4	360	353,1	61,4	45,8	0,2	100
7.1.2.3	4	360	356,1	59,8	47,9	0,2	100
Сред.	4	360	354,7	60,5	46,9	0,2	100
7.1.3.1	6	360	350,0	58,4	45,1	0,2	100
7.1.3.2	6	360	349,9	59,6	45,2	0,2	100
7.1.3.3	6	360	351,8	58,9	46,2	0,2	100
Сред.	6	360	350,6	59,0	45,5	0,2	100
7.1.4.1	8	360	348,8	60,3	42,0	0,2	100
7.1.4.2	8	360	348,9	61,4	42,9	0,2	100
7.1.4.3	8	360	351,1	59,8	44,1	0,2	100
Сред.	8	360	349,6	60,5	43,0	0,2	100

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

7.1.5.1	10	360	349,0	60,2	41,6	0,2	100
7.1.5.2	10	360	346,2	61,2	40,9	0,2	100
7.1.5.3	10	360	346,4	60,8	40,5	0,2	100
Сред.	10	360	347,2	60,7	41,0	0,2	100
7.1.6.1	12	360	347,1	59,8	40,5	0,2	100
7.1.6.2	12	360	345,4	58,9	39,4	0,2	100
7.1.6.3	12	360	348,7	60,4	41,7	0,2	100
Сред.	12	360	347,1	59,7	40,5	0,2	100
7.1.7.1	14	360	344,3	61,3	39,1	0,2	100
7.1.7.2	14	360	346,5	60,1	40,0	0,2	100
7.1.7.3	14	360	346,6	60,7	40,8	0,2	100
Сред.	14	360	345,8	60,7	40,0	0,2	100
7.1.8.1	16	360	344,2	61,1	41,0	0,2	100
7.1.8.2	16	360	343,0	60,0	39,9	0,2	100
7.1.8.3	16	360	341,8	59,0	38,9	0,2	100
Сред.	16	360	343,0	60,0	39,9	0,2	100
7.1.9.1	18	360	342,9	59,2	40,0	0,2	100
7.1.9.2	18	360	342,6	59,8	39,1	0,2	100
7.1.9.3	18	360	342,3	60,4	37,8	0,2	100
Сред.	18	360	342,6	59,8	39,0	0,2	100
7.1.10.1	20	360	342,1	59,4	37,6	0,2	100
7.1.10.2	20	360	340,8	58,9	38,9	0,2	100
7.1.10.3	20	360	340,0	61,3	39,0	0,2	100
Сред.	20	360	341,0	59,9	38,5	0,2	100
7.1.11.1	22	360	338,5	61,2	39,5	0,2	100
7.1.11.2	22	360	338,7	60,3	40,1	0,2	100
7.1.11.3	22	360	339,4	59,5	37,7	0,2	100
Сред.	22	360	338,9	60,3	39,1	0,2	100
7.1.12.1	24	360	337,1	61,0	40,2	0,2	100
7.1.12.2	24	360	338,4	59,6	39,7	0,2	100
7.1.12.3	24	360	340,2	59,8	38,0	0,2	100
Сред.	24	360	338,6	60,1	39,3	0,2	100
7.1.13.1	26	360	338,9	58,9	39,5	0,2	100
7.1.13.2	26	360	338,8	59,6	39,1	0,2	100
7.1.13.3	26	360	337,5	60,3	40,2	0,2	100
Сред.	26	360	338,4	59,6	39,6	0,2	100
7.2.1.1	2	360	352,8	60,4	49,8	0,4	100
7.2.1.2	2	360	355,5	60,8	51,1	0,4	100
7.2.1.3	2	360	353,0	59,8	49,9	0,4	100
Сред.	2	360	353,8	60,3	50,3	0,4	100
7.2.2.1	4	360	351,6	58,9	45,8	0,4	100
7.2.2.2	4	360	353,9	59,6	46,6	0,4	100
7.2.2.3	4	360	350,8	59,1	44,8	0,4	100
Сред.	4	360	352,1	59,2	45,7	0,4	100
7.2.3.1	6	360	342,3	60,2	42,8	0,4	100
7.2.3.2	6	360	345,8	59,7	44,0	0,4	100
7.2.3.3	6	360	346,1	60,4	44,7	0,4	100
Сред.	6	360	344,7	60,1	43,8	0,4	100
7.2.4.1	8	360	339,2	60,7	43,5	0,4	100

7.2.4.2	8	360	339,9	60,0	43,9	0,4	100
7.2.4.3	8	360	340,0	59,7	43,1	0,4	100
Сред.	8	360	339,7	60,1	43,5	0,4	100
7.2.5.1	10	360	339,2	58,8	45,8	0,4	100
7.2.5.2	10	360	337,7	60,3	44,0	0,4	100
7.2.5.3	10	360	336,7	59,5	43,8	0,4	100
Сред.	10	360	337,9	59,5	44,5	0,4	100
7.2.6.1	12	360	336,5	60,6	46,0	0,4	100
7.2.6.2	12	360	332,5	59,6	44,1	0,4	100
7.2.6.3	12	360	334,2	60,1	44,4	0,4	100
Сред.	12	360	334,4	60,1	44,8	0,4	100
7.2.7.1	14	360	333,3	61,1	45,9	0,4	100
7.2.7.2	14	360	333,0	62,3	45,0	0,4	100
7.2.7.3	14	360	336,7	60,3	46,7	0,4	100
Сред.	14	360	334,3	61,2	45,9	0,4	100
7.2.8.1	16	360	332,5	61,1	46,3	0,4	100
7.2.8.2	16	360	332,1	59,5	46,6	0,4	100
7.2.8.3	16	360	331,1	58,9	45,5	0,4	100
Сред.	16	360	331,9	59,8	46,1	0,4	100
7.2.9.1	18	360	328,9	58,8	50,2	0,4	100
7.2.9.2	18	360	328,6	59,4	50,2	0,4	100
7.2.9.3	18	360	327,3	60,3	49,3	0,4	100
Сред.	18	360	328,3	59,5	46,9	0,4	100
7.2.10.1	20	360	328,6	60,3	48,6	0,4	100
7.2.10.2	20	360	326,7	61,0	46,4	0,4	100
7.2.10.3	20	360	329,0	59,7	48,8	0,4	100
Сред.	20	360	328,1	60,3	47,9	0,4	100
7.2.11.1	22	360	325,8	59,4	48,4	0,4	100
7.2.11.2	22	360	325,8	59,9	48,7	0,4	100
7.2.11.3	22	360	324,2	60,5	46,9	0,4	100
Сред.	22	360	325,3	59,9	48,0	0,4	100
7.2.12.1	24	360	323,7	61,1	47,6	0,4	100
7.2.12.2	24	360	325,8	58,7	48,5	0,4	100
7.2.12.3	24	360	325,5	60,5	48,1	0,4	100
Сред.	24	360	325,0	60,1	48,1	0,4	100
7.2.13.1	26	360	323,6	59,6	49,8	0,4	100
7.2.13.2	26	360	322,5	60,0	49,9	0,4	100
7.2.13.3	26	360	323,6	60,4	48,2	0,4	100
Сред.	26	360	323,2	60,0	49,1	0,4	100
7.3.1.1	2	360	351,2	61,2	50,1	0,6	100
7.3.1.2	2	360	352,7	60,8	52,6	0,6	100
7.3.1.3	2	360	348,6	59,0	48,8	0,6	100
Сред.	2	360	350,8	60,3	50,5	0,6	100
7.3.2.1	4	360	345,6	60,4	43,1	0,6	100
7.3.2.2	4	360	345,8	60,3	43,7	0,6	100
7.3.2.3	4	360	348,2	59,8	46,6	0,6	100
Сред.	4	360	346,5	60,2	44,5	0,6	100
7.3.3.1	6	360	344,3	61,4	48,7	0,6	100
7.3.3.2	6	360	341,1	59,6	44,8	0,6	100

7.3.3.3	6	360	340,7	58,7	44,9	0,6	100
Сред.	6	360	342,0	59,9	46,1	0,6	100
7.3.4.1	8	360	339,5	59,6	47,0	0,6	100
7.3.4.2	8	360	338,1	58,8	46,9	0,6	100
7.3.4.3	8	360	341,3	59,4	49,5	0,6	100
Сред.	8	360	339,6	59,3	47,8	0,6	100
7.3.5.1	10	360	334,5	60,7	48,8	0,6	100
7.3.5.2	10	360	337,4	59,8	50,2	0,6	100
7.3.5.3	10	360	335,1	60,2	48,0	0,6	100
Сред.	10	360	335,7	60,2	49,0	0,6	100
7.3.6.1	12	360	333,4	59,1	49,9	0,6	100
7.3.6.2	12	360	330,5	60,7	52,1	0,6	100
7.3.6.3	12	360	336,7	60,4	47,1	0,6	100
Сред.	12	360	333,5	60,1	49,7	0,6	100
7.3.7.1	14	360	328,1	61,1	51,9	0,6	100
7.3.7.2	14	360	329,4	59,5	50,7	0,6	100
7.3.7.3	14	360	330,5	60,4	49,7	0,6	100
Сред.	14	360	329,3	60,3	50,8	0,6	100
7.3.8.1	16	360	326,5	60,8	54,4	0,6	100
7.3.8.2	16	360	327,9	59,7	53,1	0,6	100
7.3.8.3	16	360	330,1	62,0	50,0	0,6	100
Сред.	16	360	328,2	60,8	52,5	0,6	100
7.3.9.1	18	360	324,8	60,7	53,5	0,6	100
7.3.9.2	18	360	322,6	61,2	55,8	0,6	100
7.3.9.3	18	360	323,7	59,8	54,3	0,6	100
Сред.	18	360	323,7	60,6	54,5	0,6	100
7.3.10.1	20	360	323,3	59,4	56,2	0,6	100
7.3.10.2	20	360	323,5	60,3	56,3	0,6	100
7.3.10.3	20	360	321,9	59,5	54,1	0,6	100
Сред.	20	360	322,9	59,7	55,5	0,6	100
7.3.11.1	22	360	321,8	60,9	57,3	0,6	100
7.3.11.2	22	360	320,0	59,8	56,5	0,6	100
7.3.11.3	22	360	321,9	59,1	57,4	0,6	100
Сред.	22	360	321,2	59,9	57,1	0,6	100
7.3.12.1	24	360	319,2	60,1	58,1	0,6	100
7.3.12.2	24	360	317,2	59,3	58,3	0,6	100
7.3.12.3	24	360	318,7	60,4	57,2	0,6	100
Сред.	24	360	318,4	59,9	57,9	0,6	100
7.3.13.1	26	360	317,0	60,5	61,3	0,6	100
7.3.13.2	26	360	318,3	59,6	58,1	0,6	100
7.3.13.3	26	360	319,7	60,7	59,5	0,6	100
Сред.	26	360	318,3	60,3	59,6	0,6	100
8.1.1.1	2	360	349,4	60,2	49,5	0,4	100
8.1.1.2	2	360	349,7	59,4	49,2	0,4	100
8.1.1.3	2	360	346,0	60,7	47,1	0,4	100
Сред.	2	360	348,4	60,1	48,6	0,4	100
8.1.2.1	4	360	346,0	61,1	44,3	0,4	100
8.1.2.2	4	360	344,7	59,8	43,6	0,4	100
8.1.2.3	4	360	343,4	58,4	41,8	0,4	100

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

Сред.	4	360	344,7	59,8	43,2	0,4	100
8.1.3.1	6	360	344,8	59,9	43,3	0,4	100
8.1.3.2	6	360	342,3	61,1	44,4	0,4	100
8.1.3.3	6	360	342,6	60,7	42,1	0,4	100
Сред.	6	360	343,2	60,6	43,3	0,4	100
8.1.4.1	8	360	339,1	59,1	43,1	0,4	100
8.1.4.2	8	360	337,9	60,5	43,7	0,4	100
8.1.4.3	8	360	336,3	59,5	45,2	0,4	100
Сред.	8	360	337,8	59,7	44,0	0,4	100
8.1.5.1	10	360	335,7	60,3	45,7	0,4	100
8.1.5.2	10	360	337,1	59,0	44,6	0,4	100
8.1.5.3	10	360	335,5	61,7	45,8	0,4	100
Сред.	10	360	336,1	60,3	45,4	0,4	100
8.1.6.1	12	360	333,5	60,3	45,0	0,4	100
8.1.6.2	12	360	333,3	60,8	45,6	0,4	100
8.1.6.3	12	360	331,6	59,6	46,6	0,4	100
Сред.	12	360	332,8	60,2	45,7	0,4	100
8.1.7.1	14	360	330,3	60,4	48,3	0,4	100
8.1.7.2	14	360	332,5	59,5	46,2	0,4	100
8.1.7.3	14	360	332,8	60,9	46,5	0,4	100
Сред.	14	360	331,9	60,3	47,0	0,4	100
8.1.8.1	16	360	332,9	58,8	47,1	0,4	100
8.1.8.2	16	360	331,8	61,0	46,8	0,4	100
8.1.8.3	16	360	330,4	60,2	48,2	0,4	100
Сред.	16	360	331,7	60,0	47,4	0,4	100
8.1.9.1	18	360	328,1	60,2	47,8	0,4	100
8.1.9.2	18	360	328,4	60,0	47,7	0,4	100
8.1.9.3	18	360	329,5	59,4	49,3	0,4	100
Сред.	18	360	328,7	59,9	48,4	0,4	100
8.1.10.1	20	360	327,2	58,9	49,1	0,4	100
8.1.10.2	20	360	326,5	60,1	48,7	0,4	100
8.1.10.3	20	360	329,3	59,2	50,6	0,4	100
Сред.	20	360	327,7	59,4	49,5	0,4	100
8.1.11.1	22	360	328,3	60,8	52,0	0,4	100
8.1.11.2	22	360	325,5	59,7	48,8	0,4	100
8.1.11.3	22	360	327,0	60,8	49,5	0,4	100
Сред.	22	360	326,9	60,4	50,1	0,4	100
8.1.12.1	24	360	325,2	59,6	52,7	0,4	100
8.1.12.2	24	360	325,3	58,8	52,5	0,4	100
8.1.12.3	24	360	323,9	61,1	51,4	0,4	100
Сред.	24	360	324,8	59,8	52,2	0,4	100
8.1.13.1	26	360	324,8	60,8	55,6	0,4	100
8.1.13.2	26	360	322,6	59,6	53,7	0,4	100
8.1.13.3	26	360	325,1	59,3	55,8	0,4	100
Сред.	26	360	324,2	59,9	55,0	0,4	100
8.2.1.1	2	360	356,4	59,8	51,6	0,4	100
8.2.1.2	2	360	355,4	60,9	51,0	0,4	100
8.2.1.3	2	360	352,3	59,9	49,4	0,4	100
Сред.	2	360	354,7	60,2	50,7	0,4	100

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

8.2.2.1	4	360	351,9	59,5	47,0	0,4	100
8.2.2.2	4	360	349,5	60,3	45,2	0,4	100
8.2.2.3	4	360	349,6	60,2	44,4	0,4	100
Сред.	4	360	350,3	60,0	45,5	0,4	100
8.2.3.1	6	360	345,4	59,0	43,4	0,4	100
8.2.3.2	6	360	343,0	60,4	42,7	0,4	100
8.2.3.3	6	360	345,8	60,6	44,8	0,4	100
Сред.	6	360	344,7	60,0	43,6	0,4	100
8.2.4.1	8	360	342,5	61,2	44,2	0,4	100
8.2.4.2	8	360	342,7	60,0	44,6	0,4	100
8.2.4.3	8	360	341,8	59,5	43,1	0,4	100
Сред.	8	360	342,3	60,2	44,0	0,4	100
8.2.5.1	10	360	336,6	59,4	46,0	0,4	100
8.2.5.2	10	360	338,0	59,3	44,6	0,4	100
8.2.5.3	10	360	339,2	60,7	42,9	0,4	100
Сред.	10	360	337,9	59,8	44,5	0,4	100
8.2.6.1	12	360	337,9	60,7	43,9	0,4	100
8.2.6.2	12	360	336,4	59,8	45,2	0,4	100
8.2.6.3	12	360	336,7	60,3	45,3	0,4	100
Сред.	12	360	337,0	60,3	44,8	0,4	100
8.2.7.1	14	360	334,1	60,8	46,7	0,4	100
8.2.7.2	14	360	334,3	59,1	46,1	0,4	100
8.2.7.3	14	360	336,4	60,3	45,2	0,4	100
Сред.	14	360	334,9	60,1	46,0	0,4	100
8.2.8.1	16	360	331,6	60,1	46,0	0,4	100
8.2.8.2	16	360	332,2	60,6	46,8	0,4	100
8.2.8.3	16	360	332,0	59,7	46,9	0,4	100
Сред.	16	360	331,9	60,1	46,6	0,4	100
8.2.9.1	18	360	330,3	58,9	47,2	0,4	100
8.2.9.2	18	360	330,8	59,0	47,5	0,4	100
8.2.9.3	18	360	332,3	60,9	45,4	0,4	100
Сред.	18	360	331,1	59,6	46,7	0,4	100
8.2.10.1	20	360	326,6	58,9	46,5	0,4	100
8.2.10.2	20	360	328,6	60,4	48,0	0,4	100
8.2.10.3	20	360	329,1	60,3	48,1	0,4	100
Сред.	20	360	328,1	59,9	47,5	0,4	100
8.2.11.1	22	360	327,9	60,8	48,8	0,4	100
8.2.11.2	22	360	326,5	59,7	45,6	0,4	100
8.2.11.3	22	360	328,7	60,9	48,3	0,4	100
Сред.	22	360	327,7	60,5	47,6	0,4	100
8.2.12.1	24	360	328,0	59,4	47,1	0,4	100
8.2.12.2	24	360	327,0	60,4	48,7	0,4	100
8.2.12.3	24	360	326,0	60,0	49,9	0,4	100
Сред.	24	360	327,0	59,9	48,6	0,4	100
8.2.13.1	26	360	323,7	59,9	50,1	0,4	100
8.2.13.2	26	360	323,8	60,7	49,6	0,4	100
8.2.13.3	26	360	322,2	60,2	47,3	0,4	100
Сред.	26	360	323,2	60,3	49,0	0,4	100
8.3.1.1	2	360	354,1	61,4	53,8	0,4	100

8.3.1.2	2	360	352,2	59,5	52,3	0,4	100
8.3.1.3	2	360	352,4	60,1	52,1	0,4	100
Сред.	2	360	352,9	60,3	52,7	0,4	100
8.3.2.1	4	360	348,2	59,4	47,5	0,4	100
8.3.2.2	4	360	346,6	60,2	46,8	0,4	100
8.3.2.3	4	360	346,3	61,2	46,1	0,4	100
Сред.	4	360	347,0	60,3	46,8	0,4	100
8.3.3.1	6	360	342,9	59,0	44,5	0,4	100
8.3.3.2	6	360	342,8	61,5	44,1	0,4	100
8.3.3.3	6	360	343,4	59,9	44,9	0,4	100
Сред.	6	360	343,0	60,1	44,5	0,4	100
8.3.4.1	8	360	339,0	60,8	43,6	0,4	100
8.3.4.2	8	360	339,7	59,7	43,7	0,4	100
8.3.4.3	8	360	340,4	60,3	45,1	0,4	100
Сред.	8	360	339,7	60,3	44,1	0,4	100
8.3.5.1	10	360	335,4	59,7	44,6	0,4	100
8.3.5.2	10	360	336,2	59,3	44,8	0,4	100
8.3.5.3	10	360	335,8	59,2	43,9	0,4	100
Сред.	10	360	335,8	59,4	44,4	0,4	100

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

Приложение №2 к акту лабораторных испытаний от "04" сентября 20 13 г.

Результаты моделирования процесса охлаждения семян рапса в шахте зерносушилки

№ опыта	Продолжительность охлаждения, мин.	Масса, г		Температура, °С		Скорость охлаждающего воздуха, м/с	Температура охлаждающего воздуха, °С
		Начальная	Конечная	Начальная	Конечная		
1.1.1.1	4	360	353,7	60,5	43,4	0,5	25
1.1.1.2	4	360	354,0	60,1	43,6	0,5	25
1.1.1.3	4	360	352,1	59,4	42,0	0,5	25
Сред.	4	360	353,3	60,0	43,0	0,5	25
1.1.2.1	8	360	349,2	59,4	33,3	0,5	25
1.1.2.2	8	360	351,4	58,4	33,8	0,5	25
1.1.2.3	8	360	348,9	62,1	32,1	0,5	25
Сред.	8	360	349,8	60,0	33,1	0,5	25
1.1.3.1	12	360	347,9	61,1	28,1	0,5	25
1.1.3.2	12	360	350,1	60,2	29,5	0,5	25
1.1.3.3	12	360	347,6	60,3	30,2	0,5	25
Сред.	12	360	348,5	60,5	29,3	0,5	25
1.1.4.1	16	360	347,9	60,2	24,4	0,5	25
1.1.4.2	16	360	348,7	60,4	26,7	0,5	25
1.1.4.3	16	360	347,8	60,4	24,8	0,5	25
Сред.	16	360	348,1	60,3	25,3	0,5	25
1.1.5.1	20	360	346,8	59,7	23,9	0,5	25
1.1.5.2	20	360	348,0	59,4	25,3	0,5	25
1.1.5.3	20	360	348,4	60,8	25,5	0,5	25
Сред.	20	360	347,7	60,0	24,9	0,5	25
1.1.6.1	24	360	347,2	61,1	23,0	0,5	25
1.1.6.2	24	360	347,6	59,2	23,8	0,5	25
1.1.6.3	24	360	347,0	60,4	23,1	0,5	25
Сред.	24	360	347,3	60,2	23,3	0,5	25
1.1.7.1	28	360	347,5	61,3	21,4	0,5	25
1.1.7.2	28	360	349,7	60,0	24,2	0,5	25
1.1.7.3	28	360	348,3	60,5	22,6	0,5	25
Сред.	28	360	348,5	60,6	22,7	0,5	25
1.1.8.1	32	360	347,4	59,8	21,2	0,5	25
1.1.8.2	32	360	347,0	60,3	21,7	0,5	25
1.1.8.3	32	360	348,8	59,5	23,4	0,5	25
Сред.	32	360	347,7	59,9	22,1	0,5	25
1.1.9.1	36	360	349,0	58,8	22,0	0,5	25
1.1.9.2	36	360	345,7	60,3	21,9	0,5	25
1.1.9.3	36	360	345,6	60,2	20,6	0,5	25
Сред.	36	360	346,8	59,8	21,5	0,5	25
1.1.10.1	40	360	348,0	60,1	22,3	0,5	25
1.1.10.2	40	360	345,1	60,9	20,4	0,5	25

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

1.1.10.3	40	360	344,8	60,6	20,3	0,5	25
Сред.	40	360	346,0	60,5	21,0	0,5	25
1.2.1.1	4	360	356,6	60,1	45,9	0,5	25
1.2.1.2	4	360	353,7	59,1	43,8	0,5	25
1.2.1.3	4	360	356,2	59,4	45,6	0,5	25
Сред.	4	360	355,5	59,5	45,1	0,5	25
1.2.2.1	8	360	353,5	59,6	36,1	0,5	25
1.2.2.2	8	360	354,9	59,6	38,6	0,5	25
1.2.2.3	8	360	352,9	59,8	36,3	0,5	25
Сред.	8	360	353,8	59,7	37,0	0,5	25
1.2.3.1	12	360	352,6	60,3	32,2	0,5	25
1.2.3.2	12	360	354,0	61,5	34,5	0,5	25
1.2.3.3	12	360	352,4	60,2	32,5	0,5	25
Сред.	12	360	353,0	60,7	33,1	0,5	25
1.2.4.1	16	360	352,3	60,5	29,0	0,5	25
1.2.4.2	16	360	352,1	61,1	28,7	0,5	25
1.2.4.3	16	360	353,5	60,4	32,3	0,5	25
Сред.	16	360	352,6	60,7	30,0	0,5	25
1.2.5.1	20	360	352,2	59,4	26,6	0,5	25
1.2.5.2	20	360	352,9	60,1	30,8	0,5	25
1.2.5.3	20	360	351,6	60,2	26,5	0,5	25
Сред.	20	360	352,2	59,9	28,0	0,5	25
1.2.6.1	24	360	351,8	58,5	25,9	0,5	25
1.2.6.2	24	360	352,5	61,1	27,4	0,5	25
1.2.6.3	24	360	352,3	59,4	28,1	0,5	25
Сред.	24	360	352,2	59,7	27,1	0,5	25
1.2.7.1	28	360	351,0	59,4	25,4	0,5	25
1.2.7.2	28	360	351,5	60,3	25,8	0,5	25
1.2.7.3	28	360	352,8	61,4	26,9	0,5	25
Сред.	28	360	351,8	60,4	26,0	0,5	25
1.2.8.1	32	360	350,9	60,6	25,1	0,5	25
1.2.8.2	32	360	352,7	59,5	26,0	0,5	25
1.2.8.3	32	360	351,7	60,1	25,3	0,5	25
Сред.	32	360	351,8	60,1	25,5	0,5	25
1.2.9.1	36	360	351,6	60,2	25,1	0,5	25
1.2.9.2	36	360	351,1	60,6	24,8	0,5	25
1.2.9.3	36	360	351,5	59,5	25,2	0,5	25
Сред.	36	360	351,4	60,1	25,0	0,5	25
1.2.10.1	40	360	350,2	59,4	24,6	0,5	25
1.2.10.2	40	360	349,4	59,7	24,8	0,5	25
1.2.10.3	40	360	352,2	61,2	25,7	0,5	25
Сред.	40	360	350,6	60,1	25,0	0,5	25
1.2.1.1	4	360	356,5	60,7	46,2	0,5	25
1.2.1.2	4	360	358,0	60,1	49,7	0,5	25
1.2.1.3	4	360	356,3	60,9	46,0	0,5	25
Сред.	4	360	356,9	60,6	47,3	0,5	25
1.3.2.1	8	360	353,9	60,5	38,4	0,5	25
1.3.2.2	8	360	354,2	59,4	39,9	0,5	25
1.3.2.3	8	360	356,0	58,9	40,1	0,5	25

Сред.	8	360	354,7	59,6	39,5	0,5	25
1.3.3.1	12	360	354,2	59,9	36,2	0,5	25
1.3.3.2	12	360	355,1	58,7	34,3	0,5	25
1.3.3.3	12	360	354,8	62,1	34,7	0,5	25
Сред.	12	360	354,7	60,2	35,1	0,5	25
1.3.4.1	16	360	353,7	60,4	31,4	0,5	25
1.3.4.2	16	360	355,1	61,1	32,3	0,5	25
1.3.4.3	16	360	356,2	60,4	33,8	0,5	25
Сред.	16	360	355,0	60,6	32,5	0,5	25
1.3.5.1	20	360	354,1	59,3	30,5	0,5	25
1.3.5.2	20	360	353,9	59,8	30,1	0,5	25
1.3.5.3	20	360	354,8	60,7	30,0	0,5	25
Сред.	20	360	354,3	59,9	30,2	0,5	25
1.3.6.1	24	360	354,3	59,5	26,9	0,5	25
1.3.6.2	24	360	355,4	59,8	30,2	0,5	25
1.3.6.3	24	360	356,5	60,3	29,5	0,5	25
Сред.	24	360	355,4	59,9	28,9	0,5	25
1.3.7.1	28	360	355,1	59,8	28,5	0,5	25
1.3.7.2	28	360	355,2	60,1	28,8	0,5	25
1.3.7.3	28	360	353,7	60,6	26,7	0,5	25
Сред.	28	360	354,7	60,2	28,0	0,5	25
1.3.8.1	32	360	353,7	58,4	27,0	0,5	25
1.3.8.2	32	360	355,3	58,6	27,6	0,5	25
1.3.8.3	32	360	355,9	59,7	28,6	0,5	25
Сред.	32	360	355,0	58,9	27,7	0,5	25
1.3.9.1	36	360	356,0	59,8	28,1	0,5	25
1.3.9.2	36	360	355,4	60,7	27,7	0,5	25
1.3.9.3	36	360	353,6	60,6	26,9	0,5	25
Сред.	36	360	355,0	60,4	27,6	0,5	25
1.3.10.1	40	360	354,6	61,5	29,0	0,5	25
1.3.10.2	40	360	354,3	59,4	27,2	0,5	25
1.3.10.3	40	360	355,2	59,3	26,3	0,5	25
Сред.	40	360	354,7	60,1	27,5	0,5	25
2.1.1.1	4	360	355,3	59,8	46,3	0,2	25
2.1.1.2	4	360	354,3	59,6	45,6	0,2	25
2.1.1.3	4	360	353,0	60,3	44,5	0,2	25
Сред.	4	360	354,2	59,9	45,5	0,2	25
2.1.2.1	8	360	354,6	58,9	36,9	0,2	25
2.1.2.2	8	360	352,2	59,6	35,8	0,2	25
2.1.2.3	8	360	354,5	60,4	37,0	0,2	25
Сред.	8	360	353,8	59,6	36,6	0,2	25
2.1.3.1	12	360	352,2	60,3	30,7	0,2	25
2.1.3.2	12	360	354,1	59,8	31,4	0,2	25
2.1.3.3	12	360	353,9	60,1	32,5	0,2	25
Сред.	12	360	353,4	60,1	31,5	0,2	25
2.1.4.1	16	360	353,5	59,7	29,8	0,2	25
2.1.4.2	16	360	352,3	60,5	30,4	0,2	25

2.1.4.3	16	360	353,3	60,3	29,2	0,2	25
Сред.	16	360	353,0	60,2	29,8	0,2	25
2.1.5.1	20	360	352,1	59,1	26,7	0,2	25
2.1.5.2	20	360	353,4	60,8	27,1	0,2	25
2.1.5.3	20	360	352,4	59,8	28,3	0,2	25
Сред.	20	360	352,6	59,9	27,4	0,2	25
2.1.6.1	24	360	352,1	60,7	25,9	0,2	25
2.1.6.2	24	360	353,7	60,0	25,8	0,2	25
2.1.6.3	24	360	353,2	59,9	27,8	0,2	25
Сред.	24	360	353,0	60,2	26,5	0,2	25
2.1.7.1	28	360	351,4	59,5	24,3	0,2	25
2.1.7.2	28	360	352,5	60,7	25,9	0,2	25
2.1.7.3	28	360	353,8	60,2	26,4	0,2	25
Сред.	28	360	352,6	60,1	25,7	0,2	25
2.1.8.1	32	360	351,3	61,0	25,4	0,2	25
2.1.8.2	32	360	352,6	59,7	25,6	0,2	25
2.1.8.3	32	360	352,7	59,3	24,0	0,2	25
Сред.	32	360	352,2	60,0	25,0	0,2	25
2.1.9.1	36	360	352,8	60,4	25,3	0,2	25
2.1.9.2	36	360	352,0	59,5	25,2	0,2	25
2.1.9.3	36	360	350,5	60,2	23,9	0,2	25
Сред.	36	360	351,8	60,0	24,8	0,2	25
2.1.10.1	40	360	352,3	59,8	23,1	0,2	25
2.1.10.2	40	360	352,1	60,3	24,7	0,2	25
2.1.10.3	40	360	350,9	60,1	25,5	0,2	25
Сред.	40	360	351,8	60,1	24,4	0,2	25
2.2.1.1	4	360	351,6	59,6	43,5	0,6	25
2.2.1.2	4	360	353,2	60,8	44,1	0,6	25
2.2.1.3	4	360	354,1	59,6	46,0	0,6	25
Сред.	4	360	353,0	60,0	44,5	0,6	25
2.2.2.1	8	360	351,5	59,7	33,3	0,6	25
2.2.2.2	8	360	352,7	60,4	36,8	0,6	25
2.2.2.3	8	360	351,2	59,3	32,8	0,6	25
Сред.	8	360	351,8	59,8	34,3	0,6	25
2.2.3.1	12	360	350,8	60,5	30,2	0,6	25
2.2.3.2	12	360	350,9	60,6	30,4	0,6	25
2.2.3.3	12	360	349,0	60,2	27,2	0,6	25
Сред.	12	360	350,2	60,4	29,3	0,6	25
2.2.4.1	16	360	348,5	59,5	24,0	0,6	25
2.2.4.2	16	360	349,4	60,3	26,6	0,6	25
2.2.4.3	16	360	350,4	60,1	27,1	0,6	25
Сред.	16	360	349,4	60,0	25,9	0,6	25
2.2.5.1	20	360	348,2	60,2	24,4	0,6	25
2.2.5.2	20	360	348,6	60,6	24,2	0,6	25
2.2.5.3	20	360	350,2	59,4	25,6	0,6	25
Сред.	20	360	349,0	60,1	24,7	0,6	25
2.2.6.1	24	360	350,6	59,8	24,7	0,6	25

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

2.2.6.2	24	360	349,7	60,7	23,3	0,6	25
2.2.6.3	24	360	347,9	59,6	22,8	0,6	25
Сред.	24	360	349,4	60,0	23,6	0,6	25
2.2.7.1	28	360	349,8	60,2	23,3	0,6	25
2.2.7.2	28	360	350,0	60,4	23,9	0,6	25
2.2.7.3	28	360	348,4	59,3	22,5	0,6	25
Сред.	28	360	349,4	60,0	23,2	0,6	25
2.2.8.1	32	360	347,1	61,2	22,0	0,6	25
2.2.8.2	32	360	349,0	59,8	23,2	0,6	25
2.2.8.3	32	360	349,7	59,4	23,6	0,6	25
Сред.	32	360	348,6	60,1	22,9	0,6	25
2.2.9.1	36	360	347,9	59,5	21,4	0,6	25
2.2.9.2	36	360	348,5	60,2	22,3	0,6	25
2.2.9.3	36	360	349,4	60,4	22,5	0,6	25
Сред.	36	360	348,6	60,0	22,1	0,6	25
2.2.10.1	40	360	347,7	60,4	20,1	0,6	25
2.2.10.2	40	360	348,2	59,7	21,7	0,6	25
2.2.10.3	40	360	349,9	60,7	22,8	0,6	25
Сред.	40	360	348,6	60,3	21,5	0,6	25
2.3.1.1	4	360	357,0	59,6	52,4	0,2	25
2.3.1.2	4	360	358,3	60,5	53,8	0,2	25
2.3.1.3	4	360	359,1	60,0	54,3	0,2	25
Сред.	4	360	358,1	60,0	53,5	0,2	25
2.3.2.1	8	360	354,4	58,7	46,0	0,2	25
2.3.2.2	8	360	354,5	60,6	46,2	0,2	25
2.3.2.3	8	360	356,1	60,6	47,0	0,2	25
Сред.	8	360	355,0	60,0	46,4	0,2	25
2.3.3.1	12	360	355,2	60,4	41,9	0,2	25
2.3.3.2	12	360	355,3	60,7	41,5	0,2	25
2.3.3.3	12	360	355,8	60,3	41,7	0,2	25
Сред.	12	360	355,4	60,5	42,0	0,2	25
2.3.4.1	16	360	356,3	59,8	39,9	0,2	25
2.3.4.2	16	360	353,2	59,6	37,5	0,2	25
2.3.4.3	16	360	355,5	59,4	38,1	0,2	25
Сред.	16	360	355,0	59,6	38,5	0,2	25
2.3.5.1	20	360	354,6	59,7	34,8	0,2	25
2.3.5.2	20	360	356,5	60,9	36,4	0,2	25
2.3.5.3	20	360	355,1	60,0	35,3	0,2	25
Сред.	20	360	355,4	60,2	35,5	0,2	25
2.3.6.1	24	360	354,9	59,3	33,7	0,2	25
2.3.6.2	24	360	356,5	60,4	34,7	0,2	25
2.3.6.3	24	360	354,8	60,5	33,6	0,2	25
Сред.	24	360	355,4	60,1	34,0	0,2	25
2.3.7.1	28	360	353,7	59,8	33,4	0,2	25
2.3.7.2	28	360	353,9	59,0	33,3	0,2	25
2.3.7.3	28	360	355,3	60,2	34,1	0,2	25
Сред.	28	360	354,3	59,7	33,6	0,2	25

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

2.3.8.1	32	360	355,8	60,4	34,2	0,2	25
2.3.8.2	32	360	354,2	59,0	32,5	0,2	25
2.3.8.3	32	360	354,1	60,0	32,0	0,2	25
Сред.	32	360	354,7	59,8	32,9	0,2	25
2.3.9.1	36	360	354,0	60,3	30,8	0,2	25
2.3.9.2	36	360	355,7	59,7	31,6	0,2	25
2.3.9.3	36	360	355,3	60,1	33,6	0,2	25
Сред.	36	360	355,0	60,0	32,0	0,2	25
2.3.10.1	40	360	354,7	59,8	31,4	0,2	25
2.3.10.2	40	360	354,9	59,6	31,6	0,2	25
2.3.10.3	40	360	355,4	60,4	31,5	0,2	25
Сред.	40	360	355,0	59,9	31,5	0,2	25
2.4.1.1	4	360	356,6	60,5	46,4	0,6	25
2.4.1.2	4	360	358,0	60,2	47,3	0,6	25
2.4.1.3	4	360	354,1	59,8	44,5	0,6	25
Сред.	4	360	356,2	60,2	46,1	0,6	25
2.4.2.1	8	360	356,2	60,4	39,7	0,6	25
2.4.2.2	8	360	354,3	59,4	37,8	0,6	25
2.4.2.3	8	360	354,5	60,7	38,2	0,6	25
Сред.	8	360	355,0	60,2	38,6	0,6	25
2.4.3.1	12	360	354,6	60,6	33,2	0,6	25
2.4.3.2	12	360	356,0	61,1	34,0	0,6	25
2.4.3.3	12	360	354,4	59,7	33,3	0,6	25
Сред.	12	360	355,0	60,5	33,5	0,6	25
2.4.4.1	16	360	353,1	59,9	30,1	0,6	25
2.4.4.2	16	360	355,2	59,6	31,7	0,6	25
2.4.4.3	16	360	354,6	60,1	31,8	0,6	25
Сред.	16	360	354,3	59,9	31,2	0,6	25
2.4.5.1	20	360	355,1	60,2	30,7	0,6	25
2.4.5.2	20	360	354,8	59,7	29,4	0,6	25
2.4.5.3	20	360	353,0	59,2	27,6	0,6	25
Сред.	20	360	354,3	59,7	29,2	0,6	25
2.4.6.1	24	360	356,5	59,6	38,3	0,6	25
2.4.6.2	24	360	353,9	59,8	36,1	0,6	25
2.4.6.3	24	360	354,5	60,3	37,4	0,6	25
Сред.	24	360	355,0	59,9	37,3	0,6	25
2.4.7.1	28	360	353,7	60,4	26,8	0,6	25
2.4.7.2	28	360	352,9	60,1	25,9	0,6	25
2.4.7.3	28	360	355,2	59,2	28,0	0,6	25
Сред.	28	360	353,9	59,9	26,9	0,6	25
2.4.8.1	32	360	354,3	59,0	25,7	0,6	25
2.4.8.2	32	360	354,4	60,4	25,9	0,6	25
2.4.8.3	32	360	355,3	60,8	26,7	0,6	25
Сред.	32	360	354,7	60,1	26,1	0,6	25
2.4.9.1	36	360	353,2	59,7	24,6	0,6	25
2.4.9.2	36	360	355,0	59,4	26,0	0,6	25
2.4.9.3	36	360	354,8	59,8	26,8	0,6	25

Сред.	36	360	354,3	59,6	25,8	0,6	25
2.4.10.1	40	360	353,7	59,5	25,1	0,6	25
2.4.10.2	40	360	354,1	60,2	25,0	0,6	25
2.4.10.3	40	360	355,2	59,8	26,8	0,6	25
Сред.	40	360	354,3	59,8	25,6	0,6	25
3.1.1.1	4	360	355,4	60,5	37,7	0,5	20
3.1.1.2	4	360	356,8	61,4	38,2	0,5	20
3.1.1.3	4	360	358,5	59,8	39,9	0,5	20
Сред.	4	360	356,9	60,6	38,6	0,5	20
3.1.2.1	8	360	357,0	60,3	32,6	0,5	20
3.1.2.2	8	360	355,6	60,4	31,5	0,5	20
3.1.2.3	8	360	356,0	61,0	31,6	0,5	20
Сред.	8	360	356,2	60,6	31,9	0,5	20
3.1.3.1	12	360	356,7	59,8	26,1	0,5	20
3.1.3.2	12	360	355,4	58,7	28,2	0,5	20
3.1.3.3	12	360	355,3	58,6	28,8	0,5	20
Сред.	12	360	355,8	59,0	27,7	0,5	20
3.1.4.1	16	360	355,9	59,6	25,0	0,5	20
3.1.4.2	16	360	356,8	59,4	26,7	0,5	20
3.1.4.3	16	360	356,0	60,7	25,7	0,5	20
Сред.	16	360	356,2	59,9	25,8	0,5	20
3.1.5.1	20	360	354,9	59,4	23,3	0,5	20
3.1.5.2	20	360	357,4	59,7	24,5	0,5	20
3.1.5.3	20	360	355,1	60,0	23,6	0,5	20
Сред.	20	360	355,8	59,7	23,8	0,5	20
3.1.6.1	24	360	355,5	59,4	22,4	0,5	20
3.1.6.2	24	360	355,2	59,6	21,7	0,5	20
3.1.6.3	24	360	356,7	60,3	24,6	0,5	20
Сред.	24	360	355,8	59,8	22,9	0,5	20
3.1.7.1	28	360	357,0	60,5	22,5	0,5	20
3.1.7.2	28	360	356,6	60,1	22,8	0,5	20
3.1.7.3	28	360	355,1	59,4	21,3	0,5	20
Сред.	28	360	356,2	60,0	22,2	0,5	20
3.1.8.1	32	360	355,7	59,4	21,0	0,5	20
3.1.8.2	32	360	355,2	58,4	21,1	0,5	20
3.1.8.3	32	360	356,5	62,1	22,1	0,5	20
Сред.	32	360	355,8	60,0	21,4	0,5	20
3.1.9.1	36	360	355,3	61,1	20,4	0,5	20
3.1.9.2	36	360	355,4	60,2	20,9	0,5	20
3.1.9.3	36	360	356,7	60,3	21,2	0,5	20
Сред.	36	360	355,8	60,5	20,8	0,5	20
3.1.10.1	40	360	355,0	60,2	19,7	0,5	20
3.1.10.2	40	360	356,2	60,4	20,3	0,5	20
3.1.10.3	40	360	356,2	60,4	20,6	0,5	20
Сред.	40	360	355,8	60,3	20,2	0,5	20
3.2.1.1	4	360	356,0	59,8	46,9	0,5	30
3.2.1.2	4	360	355,4	60,3	45,3	0,5	30
3.2.1.3	4	360	357,3	59,5	48,5	0,5	30
Сред.	4	360	356,2	59,9	46,9	0,5	30

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

3.2.2.1	8	360	353,1	58,8	36,8	0,5	30
3.2.2.2	8	360	354,9	60,3	38,7	0,5	30
3.2.2.3	8	360	356,0	60,2	40,0	0,5	30
Сред.	8	360	354,7	59,8	38,5	0,5	30
3.2.3.1	12	360	353,5	60,1	33,7	0,5	30
3.2.3.2	12	360	354,7	60,9	34,8	0,5	30
3.2.3.3	12	360	353,6	60,6	33,6	0,5	30
Сред.	12	360	353,9	60,5	34,0	0,5	30
3.2.4.1	16	360	353,9	60,1	33,6	0,5	30
3.2.4.2	16	360	353,8	59,1	33,5	0,5	30
3.2.4.3	16	360	352,8	59,4	32,2	0,5	30
Сред.	16	360	353,5	59,5	33,1	0,5	30
3.2.5.1	20	360	352,6	59,6	30,4	0,5	30
3.2.5.2	20	360	353,1	59,6	30,1	0,5	30
3.2.5.3	20	360	353,9	59,8	32,2	0,5	30
Сред.	20	360	353,2	59,7	30,9	0,5	30
3.2.6.1	24	360	352,6	60,3	31,3	0,5	30
3.2.6.2	24	360	352,2	61,5	29,8	0,5	30
3.2.6.3	24	360	352,8	60,2	31,0	0,5	30
Сред.	24	360	353,2	60,7	30,7	0,5	30
3.2.7.1	28	360	352,5	60,5	30,4	0,5	30
3.2.7.2	28	360	352,3	61,1	30,5	0,5	30
3.2.7.3	28	360	353,7	60,4	30,0	0,5	30
Сред.	28	360	352,8	60,7	30,3	0,5	30
3.2.8.1	32	360	351,4	59,4	29,2	0,5	30
3.2.8.2	32	360	352,7	60,1	30,9	0,5	30
3.2.8.3	32	360	354,3	60,2	31,1	0,5	30
Сред.	32	360	352,8	59,9	30,4	0,5	30
3.2.9.1	36	360	354,2	58,5	31,5	0,5	30
3.2.9.2	36	360	353,5	61,1	30,1	0,5	30
3.2.9.3	36	360	352,0	59,4	29,0	0,5	30
Сред.	36	360	353,2	59,7	30,2	0,5	30
3.2.10.1	40	360	352,1	59,4	29,8	0,5	30
3.2.10.2	40	360	352,6	60,3	29,9	0,5	30
3.2.10.3	40	360	353,7	61,4	30,3	0,5	30
Сред.	40	360	352,8	60,4	30,0	0,5	30
4.1.1.1	2	360	357,6	60,2	49,2	0,5	25
4.1.1.2	2	360	356,3	60,6	48,3	0,5	25
4.1.1.3	2	360	357,5	60,8	50,7	0,5	25
Сред.	2	360	357,1	60,5	49,4	0,5	25
4.1.2.1	4	360	351,9	59,7	41,6	0,5	25
4.1.2.2	4	360	351,8	59,5	41,7	0,5	25
4.1.2.3	4	360	354,1	59,4	42,4	0,5	25
Сред.	4	360	352,6	59,5	41,9	0,5	25
4.1.3.1	6	360	352,8	60,0	34,3	0,5	25
4.1.3.2	6	360	351,3	59,7	33,2	0,5	25
4.1.3.3	6	360	352,5	59,3	34,1	0,5	25
Сред.	6	360	352,2	59,7	33,9	0,5	25

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

4.1.4.1	8	360	348,4	58,7	31,2	0,5	25
4.1.4.2	8	360	351,1	59,5	32,5	0,5	25
4.1.4.3	8	360	351,1	60,2	32,8	0,5	25
Сред.	8	360	350,2	59,5	32,3	0,5	25
4.1.5.1	10	360	350,9	59,9	31,0	0,5	25
4.1.5.2	10	360	349,0	59,4	30,4	0,5	25
4.1.5.3	10	360	350,7	60,5	31,5	0,5	25
Сред.	10	360	350,2	59,9	30,9	0,5	25
4.1.6.1	12	360	351,2	59,2	29,9	0,5	25
4.1.6.2	12	360	350,1	60,6	28,1	0,5	25
4.1.6.3	12	360	348,0	59,4	27,1	0,5	25
Сред.	12	360	349,8	59,7	28,4	0,5	25
4.1.7.1	14	360	350,9	60,4	28,4	0,5	25
4.1.7.2	14	360	348,7	59,8	27,3	0,5	25
4.1.7.3	14	360	348,6	60,3	27,1	0,5	25
Сред.	14	360	349,4	60,2	27,6	0,5	25
4.1.8.1	16	360	349,3	59,7	24,6	0,5	25
4.1.8.2	16	360	348,5	60,7	23,8	0,5	25
4.1.8.3	16	360	350,4	59,6	26,9	0,5	25
Сред.	16	360	349,4	60,0	25,1	0,5	25
4.1.9.1	18	360	349,3	60,9	24,7	0,5	25
4.1.9.2	18	360	348,8	60,0	23,0	0,5	25
4.1.9.3	18	360	351,3	59,5	26,7	0,5	25
Сред.	18	360	349,8	60,1	24,8	0,5	25
4.1.10.1	20	360	349,8	60,2	24,3	0,5	25
4.1.10.2	20	360	350,0	59,8	24,9	0,5	25
4.1.10.3	20	360	348,4	60,1	22,5	0,5	25
Сред.	20	360	349,4	60,0	23,9	0,5	25
4.2.1.1	2	360	356,2	60,3	51,2	0,5	25
4.2.1.2	2	360	355,7	59,6	50,8	0,5	25
4.2.1.3	2	360	358,8	60,1	52,2	0,5	25
Сред.	2	360	356,9	60,0	51,4	0,5	25
4.2.2.1	4	360	355,1	59,8	45,3	0,5	25
4.2.2.2	4	360	356,6	59,4	46,4	0,5	25
4.2.2.3	4	360	356,9	60,7	47,0	0,5	25
Сред.	4	360	356,2	60,0	46,2	0,5	25
4.2.3.1	6	360	354,5	59,2	37,6	0,5	25
4.2.3.2	6	360	356,6	61,3	39,8	0,5	25
4.2.3.3	6	360	356,4	60,7	40,2	0,5	25
Сред.	6	360	355,8	60,4	39,2	0,5	25
4.2.4.1	8	360	355,2	59,8	37,7	0,5	25
4.2.4.2	8	360	355,0	60,2	37,9	0,5	25
4.2.4.3	8	360	354,0	60,5	36,6	0,5	25
Сред.	8	360	354,7	60,2	37,4	0,5	25
4.2.5.1	10	360	353,8	60,6	32,4	0,5	25
4.2.5.2	10	360	356,5	60,7	34,0	0,5	25
4.2.5.3	10	360	353,9	59,8	32,7	0,5	25
Сред.	10	360	354,7	60,4	33,0	0,5	25
4.2.6.1	12	360	356,1	59,9	34,0	0,5	25

4.2.6.2	12	360	353,2	60,4	31,6	0,5	25
4.2.6.3	12	360	353,6	58,9	31,7	0,5	25
Сред.	12	360	354,3	59,7	32,4	0,5	25
4.2.7.1	14	360	355,3	59,6	31,3	0,5	25
4.2.7.2	14	360	353,1	60,6	30,5	0,5	25
4.2.7.3	14	360	353,3	60,5	29,4	0,5	25
Сред.	14	360	353,9	60,2	30,4	0,5	25
4.2.8.1	16	360	353,0	60,8	28,6	0,5	25
4.2.8.2	16	360	354,4	60,1	28,8	0,5	25
4.2.8.3	16	360	354,2	60,2	28,1	0,5	25
Сред.	16	360	353,9	60,4	28,5	0,5	25
4.2.9.1	18	360	352,5	59,4	27,0	0,5	25
4.2.9.2	18	360	354,1	60,7	28,8	0,5	25
4.2.9.3	18	360	353,9	60,1	28,5	0,5	25
Сред.	18	360	353,5	60,1	28,1	0,5	25
4.2.10.1	20	360	352,2	60,3	26,3	0,5	25
4.2.10.2	20	360	355,7	59,6	27,6	0,5	25
4.2.10.3	20	360	352,5	60,2	26,4	0,5	25
Сред.	20	360	353,5	60,0	26,8	0,5	25
5.1.1.1	2	360	358,8	61,1	54,4	0,2	25
5.1.1.2	2	360	359,6	60,6	55,2	0,2	25
5.1.1.3	2	360	356,9	59,5	52,8	0,2	25
Сред.	2	360	358,4	60,4	54,1	0,2	25
5.1.2.1	4	360	357,6	59,7	51,0	0,2	25
5.1.2.2	4	360	357,0	58,9	49,1	0,2	25
5.1.2.3	4	360	356,2	59,7	48,4	0,2	25
Сред.	4	360	356,9	59,4	49,5	0,2	25
5.1.3.1	6	360	354,8	60,4	44,2	0,2	25
5.1.3.2	6	360	357,4	59,3	46,1	0,2	25
5.1.3.3	6	360	354,9	60,2	44,4	0,2	25
Сред.	6	360	355,7	60,0	44,9	0,2	25
5.1.4.1	8	360	356,9	61,1	41,7	0,2	25
5.1.4.2	8	360	355,6	60,3	41,5	0,2	25
5.1.4.3	8	360	354,5	59,8	40,1	0,2	25
Сред.	8	360	355,7	60,4	41,1	0,2	25
5.1.5.1	10	360	354,6	59,2	38,8	0,2	25
5.1.5.2	10	360	355,8	60,4	39,2	0,2	25
5.1.5.3	10	360	355,8	59,8	40,9	0,2	25
Сред.	10	360	355,4	59,8	39,6	0,2	25
5.1.6.1	12	360	354,1	59,8	36,8	0,2	25
5.1.6.2	12	360	356,5	60,1	38,3	0,2	25
5.1.6.3	12	360	354,4	60,9	36,7	0,2	25
Сред.	12	360	355,0	60,3	37,3	0,2	25
5.1.7.1	14	360	355,1	59,2	36,0	0,2	25
5.1.7.2	14	360	354,4	58,7	35,3	0,2	25
5.1.7.3	14	360	354,2	60,4	34,0	0,2	25
Сред.	14	360	354,6	59,4	35,1	0,2	25
5.1.8.1	16	360	354,4	59,3	34,5	0,2	25
5.1.8.2	16	360	355,0	60,1	35,8	0,2	25

Продолжение приложения Г. Акт лабораторных испытаний с приложениями

5.1.8.3	16	360	353,1	60,0	32,7	0,2	25
Сред.	16	360	354,2	59,8	34,2	0,2	25
5.1.9.1	18	360	355,5	59,6	31,7	0,2	25
5.1.9.2	18	360	354,8	60,7	31,9	0,2	25
5.1.9.3	18	360	352,3	59,4	30,0	0,2	25
Сред.	18	360	354,2	59,9	31,2	0,2	25
5.1.10.1	20	360	353,0	59,5	29,4	0,2	25
5.1.10.2	20	360	354,9	60,5	31,2	0,2	25
5.1.10.3	20	360	354,7	59,8	31,3	0,2	25
Сред.	20	360	354,2	59,9	30,6	0,2	25
5.2.1.1	2	360	358,9	59,4	55,6	0,4	25
5.2.1.2	2	360	356,3	58,8	52,1	0,4	25
5.2.1.3	2	360	358,0	60,6	51,2	0,4	25
Сред.	2	360	357,7	59,6	53,0	0,4	25
5.2.2.1	4	360	355,1	59,9	45,4	0,4	25
5.2.2.2	4	360	356,2	60,2	46,6	0,4	25
5.2.2.3	4	360	358,2	59,7	48,7	0,4	25
Сред.	4	360	356,5	59,9	46,9	0,4	25
5.2.3.1	6	360	356,3	59,4	43,5	0,4	25
5.2.3.2	6	360	354,6	60,2	42,6	0,4	25
5.2.3.3	6	360	356,2	60,1	43,3	0,4	25
Сред.	6	360	355,7	59,9	43,1	0,4	25
5.2.4.1	8	360	356,5	60,0	39,9	0,4	25
5.2.4.2	8	360	356,7	59,4	39,4	0,4	25
5.2.4.3	8	360	353,9	60,3	36,5	0,4	25
Сред.	8	360	355,7	59,9	38,6	0,4	25
5.2.5.1	10	360	354,0	60,7	34,3	0,4	25
5.2.5.2	10	360	354,8	60,3	35,7	0,4	25
5.2.5.3	10	360	356,3	60,2	36,2	0,4	25
Сред.	10	360	355,0	60,4	35,4	0,4	25
5.2.6.1	12	360	354,4	60,8	34,3	0,4	25
5.2.6.2	12	360	356,0	59,4	35,1	0,4	25
5.2.6.3	12	360	354,6	60,3	34,4	0,4	25
Сред.	12	360	355,0	60,2	34,6	0,4	25
5.2.7.1	14	360	354,3	60,2	31,1	0,4	25
5.2.7.2	14	360	356,3	60,2	31,2	0,4	25
5.2.7.3	14	360	354,4	59,1	33,0	0,4	25
Сред.	14	360	355,0	59,8	31,8	0,4	25
5.2.8.1	16	360	353,2	58,9	30,7	0,4	25
5.2.8.2	16	360	357,0	59,5	31,5	0,4	25
5.2.8.3	16	360	353,7	59,4	30,8	0,4	25
Сред.	16	360	354,6	59,3	31,0	0,4	25
5.2.9.1	18	360	356,2	60,4	31,2	0,4	25
5.2.9.2	18	360	353,5	59,7	28,4	0,4	25
5.2.9.3	18	360	355,1	60,2	28,9	0,4	25
Сред.	18	360	354,6	60,1	29,5	0,4	25
5.2.10.1	20	360	354,5	59,6	26,5	0,4	25
5.2.10.2	20	360	354,2	60,6	28,0	0,4	25
5.2.10.3	20	360	355,1	59,0	26,6	0,4	25

Сред.	20	360	354,6	59,7	27,0	0,4	25
5.3.1.1	2	360	357,2	60,7	50,2	0,6	25
5.3.1.2	2	360	355,9	59,4	50,4	0,6	25
5.3.1.3	2	360	358,8	60,5	53,6	0,6	25
Сред.	2	360	357,3	60,2	51,4	0,6	25
5.3.2.1	4	360	353,0	60,3	42,8	0,6	25
5.3.2.2	4	360	356,4	59,2	43,6	0,6	25
5.3.2.3	4	360	355,6	59,7	43,5	0,6	25
Сред.	4	360	355,0	59,7	43,3	0,6	25
5.3.3.1	6	360	355,1	60,4	37,3	0,6	25
5.3.3.2	6	360	355,3	59,8	37,7	0,6	25
5.3.3.3	6	360	353,4	59,7	36,0	0,6	25
Сред.	6	360	354,6	60,0	37,0	0,6	25
5.3.4.1	8	360	354,7	60,0	34,4	0,6	25
5.3.4.2	8	360	355,8	60,1	35,2	0,6	25
5.3.4.3	8	360	352,0	59,4	32,9	0,6	25
Сред.	8	360	354,2	59,8	34,2	0,6	25
5.3.5.1	10	360	354,6	59,3	33,8	0,6	25
5.3.5.2	10	360	354,8	60,8	33,3	0,6	25
5.3.5.3	10	360	352,0	60,2	30,1	0,6	25
Сред.	10	360	353,8	60,1	32,4	0,6	25
5.3.6.1	12	360	352,6	59,0	28,3	0,6	25
5.3.6.2	12	360	353,9	59,9	29,2	0,6	25
5.3.6.3	12	360	354,9	59,3	31,0	0,6	25
Сред.	12	360	353,8	59,4	29,5	0,6	25
5.3.7.1	14	360	354,2	60,4	29,6	0,6	25
5.3.7.2	14	360	353,9	60,2	29,8	0,6	25
5.3.7.3	14	360	352,4	60,5	27,9	0,6	25
Сред.	14	360	353,5	60,4	29,1	0,6	25
5.3.8.1	16	360	353,1	59,7	26,2	0,6	25
5.3.8.2	16	360	355,0	60,3	27,7	0,6	25
5.3.8.3	16	360	353,3	59,5	26,5	0,6	25
Сред.	16	360	353,8	59,8	26,8	0,6	25
5.3.9.1	18	360	351,8	59,1	23,1	0,6	25
5.3.9.2	18	360	353,7	60,8	24,4	0,6	25
5.3.9.3	18	360	355,1	59,6	27,1	0,6	25
Сред.	18	360	353,5	59,8	24,9	0,6	25
5.3.10.1	20	360	352,6	60,4	24,0	0,6	25
5.3.10.2	20	360	351,5	59,3	23,7	0,6	25
5.3.10.3	20	360	355,2	59,7	25,5	0,6	25
Сред.	20	360	353,1	59,8	24,4	0,6	25

Приложение Д. Акт производственных испытаний с приложениями

№ 26от 10 августа 2013 г.

**АКТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ
 СУШКИ СЕМЯН РАПСА ПРИ КВАЗИИЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ
 НА РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ЗЕРНОСУШИЛКАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ
 НАГРЕВОМ ЗЕРНА**

Наименование образца: Семена рапса сорта «Ратник»

Цель проведения испытаний: Определение оптимальных квазиизотермических режимов сушки семян рапса на рециркуляционных зерносушилках с предварительным нагревом зерна.

Даты проведения испытаний: 10.08.2013-19.08.2013.

Установка проведения испытаний: СОБ-1 (Целинная -36 на базе ДСП-24 СН с дополнительным подводом тепла в верхнюю зону сушки).

Количество зерна, просушенного в ходе проведения испытаний: 372 тонны.

НД на продукцию:

1. ТР ТС 015/2011 Технический регламент Таможенного союза о безопасности зерна;
2. ГОСТ 10583-76 Рапс для промышленной переработки. Технические условия;
3. ГОСТ 10852-86 Отбор проб;
4. ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности;
5. ГОСТ 10858-77 Семена масличных культур. Промышленное сырьё. Методы определения кислотного числа масла;
6. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести;

Продолжение приложения Д. Акт производственных испытаний с приложениями

7. ГОСТ 51487-99 Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа.

Результаты испытаний приведены в приложениях №1 и №2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: испытание сушки семян рапса при квазиизотермических режимах проведены успешно, результаты испытаний соответствуют требованиям нормативных документов, действующих на территории Российской Федерации. По результатам проведения производственных испытаний определить оптимальные режимы сушки семян рапса при квазиизотермических режимах: максимальный нагрев семян – 60°C, температура агента сушки - 260°C, на входе в верхнюю зону напорно-распределительной камеры - 80°C.

Исполнительный директор
ЗАО «АГРОСИЛА ГРУПП»
по вопросам деятельности
ОАО «Набережночелнинский элеватор»



И.И. Шайхутдинов

Специалист по развитию

А.И. Урманов

Заместитель директора по качеству

Л.А. Ярушева

Приложение №1 к акту производственных испытаний № 16 от 10.08.2013 г.

№ опыта	Температура атм. воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Влажность зерна, %				Снижение влажности, %	Производительность		Температура агента сушки, °С				Температура зерна, °С				Кислотное число, мг КОН/г АСВ		Перекисное число масла, ммоль/кг I/2O		Всхожесть, %		Энергия прорастания, %	
			Начальная	Теплообменник	Рециркулирующее	Конечная		По сухому зерну, т/час	По сырому зерну, т/час	На входе в кам. нагрева	На входе в верхнюю зону	Начальная	Тепло- влаго- обменник	Рециркулирующее	Конечная	До сушки	После сушки	До сушки	После сушки	До сушки	После сушки	До сушки	После сушки		
Сушка с частичной рециркуляцией просушенного зерна																									
1	29	52	15,0	8,5	6,9	6,9	8,1	16,63	18,21	298	-	28	60	35	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	29	52	15,5	8,9	6,8	6,6	8,9	15,85	17,52	300	-	31	63	32	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	29	52	15,3	8,8	7,0	6,9	8,4	16,24	17,85	301	-	31	62	35	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	29	52	15,6	8,9	6,9	7,0	8,6	16,08	17,72	300	-	30	62	33	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	29	52	15,4	8,8	6,9	6,8	8,6	16,20	17,85	300	-	30	62	34	30	3,76	2,96	5,52	6,55	65	55	57	49	-	
5	25	65	22,3	8,8	7,0	6,8	15,5	8,73	10,47	295	-	28	60	35	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	26	65	22,4	8,8	7,0	7,1	15,3	9,38	11,23	304	-	25	58	41	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	26	65	21,5	8,5	7,2	7,1	14,4	9,97	11,80	303	-	22	55	38	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	26	65	21,9	8,7	7,0	6,9	15	9,47	11,29	298	-	24	56	34	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	26	65	22,0	8,7	7,1	7,0	15	9,39	11,19	300	-	25	57	37	28	3,31	2,9	6,61	8,02	56	38	44	29	-	
9	32	70	26,1	9,3	6,9	7,0	19,1	7,01	8,82	300	-	25	57	35	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	32	70	27,5	9,8	6,9	6,7	20,8	5,97	7,68	297	-	31	62	36	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	32	70	27,4	9,3	7,1	6,8	20,6	6,15	7,90	298	-	29	62	40	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	31	70	26,8	9,0	7,1	6,8	20	6,30	8,02	304	-	27	58	38	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	32	70	27,0	9,1	7,0	6,8	20,2	6,36	8,12	300	-	28	60	37	30	3,5	2,91	7,74	9,18	45	26	41	24	-	
13	24	75	20,2	8,8	7,2	6,9	13,3	9,04	10,55	299	-	27	61	31	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	25	75	19,2	8,4	7,3	7,0	12,2	9,86	11,34	300	-	25	60	35	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	24	75	19,4	8,5	7,1	7,1	12,3	9,73	11,21	300	-	25	61	34	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	24	75	19,8	8,6	6,9	6,7	13,1	9,39	10,92	300	-	27	62	29	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	24	75	19,6	8,6	7,1	6,9	12,7	9,50	11,01	300	-	26	61	32	26	3,42	2,82	6,43	7,68	60	43	54	40	-	
17	30	68	25,1	9,4	7,2	6,9	18,2	7,44	9,25	300	-	28	60	37	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	30	68	25,9	9,7	7,3	7,0	18,9	7,09	8,90	299	-	31	62	37	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	30	68	24,0	8,8	7,7	7,0	17	8,26	10,11	300	-	26	58	40	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	30	68	24,7	9,1	6,9	7,2	17,5	8,12	10,01	301	-	27	59	34	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	30	68	24,9	9,3	7,3	7,0	17,9	7,73	9,57	300	-	28	60	37	30	3,67	3,05	6,96	8,34	53	33	49	31	-	
21	25	78	26,0	10,1	7,0	6,9	19,1	5,89	7,41	302	-	34	63	34	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	27	78	24,2	9,2	7,8	7,1	17,1	6,45	7,91	297	-	30	61	39	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	27	78	23,1	8,1	7,4	7,3	15,8	7,33	8,84	299	-	28	61	36	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	28	78	20,3	8,2	7,0	7,1	13,2	8,56	9,98	301	-	27	59	32	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	27	78	23,4	8,9	7,3	7,1	16,3	7,06	8,56	300	-	30	61	35	28	3,51	2,94	6,33	7,82	57	38	48	32	-	
Сушка при квазитермических режимах																									
25	29	52	15,3	12,0	5,9	7,2	8,1	21,62	23,69	261	80	31	61	30	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	29	52	15,3	11,6	6,3	7,0	8,3	21,76	23,89	260	79	32	60	31	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	29	52	15,0	11,8	5,9	7,5	7,5	20,15	21,93	259	80	30	58	30	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	28	52	14,8	11,5	6,0	7,2	7,6	20,57	22,40	259	80	28	58	28	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	29	52	15,1	11,7	6,0	7,2	7,9	21,03	22,98	260	80	30	59	30	30	3,81	2,9	5,21	6,12	63	57	56	51	-	
29	26	65	22,2	12,0	9,2	7,0	15,2	12,01	14,36	258	78	24	52	33	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	26	65	23,2	12,2	8,8	7,1	16,1	10,86	13,14	259	81	26	55	31	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	25	65	24,1	12,7	8,8	6,8	17,3	9,79	12,02	261	80	28	57	32	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	26	65	24,4	12,8	9,4	6,7	17,7	9,82	12,12	261	81	27	57	35	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	26	65	23,5	12,4	9,1	6,9	16,6	10,62	12,92	260	80	26	55	33	28	3,32	2,82	6,53	7,48	53	42	41	31	-	
33	31	70	26,2	13,9	9,1	6,8	19,4	8,44	10,66	260	77	31	61	37	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	32	70	24,3	12,6	10,3	6,8	17,5	9,87	12,15	260	81	27	53	38	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	32	70	24,8	12,8	8,9	7,2	17,6	9,98	12,32	261	82	28	57	32	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	32	70	24,6	12,9	8,9	6,7	17,9	9,73	12,04	261	79	29	57	33	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сред.	32	70	25,0	13,1	9,3	6,8	18,2	9,51	11,81	260	80	29	57	35	30	3,54	2,87	6,86	7,85	54	44	46	37	-	

Приложение №2 к акту производственных испытаний № 26 от " 20 " августа 2013 г.

№ опыта	Температура атм. воздуха, °С	Влажность зерна, %							Температура агента сушки, °С		Температура зерна, °С												
		Начальная	Тепло-влаж- обменник	Рециркуляционная шахта			Шахта охлаждения		На входе в кам. нагрева зону	Начальная зона	Рециркуляционная шахта			Шахта охлаждения									
				1 зона	2 зона	3 зона	Рецирку- лирующее	1 зона			2 зона	3 зона	Тепло-влаж- обменник	1 зона	2 зона	3 зона	Рецирку- лирующее	1 зона	2 зона	3 зона	Конечная		
Сушка с частичной рециркуляцией просушенного зерна																							
1	25	22,3	8,8	8,0	7,7	6,9	7,0	7,2	7,0	7,1	6,8	295	-	28	60	53	46	37	35	34	26	29	29
2	26	22,4	8,8	8,3	7,6	7,1	7,0	7,3	7,2	6,9	7,1	304	-	25	58	56	46	39	41	37	30	28	27
3	26	21,5	8,5	7,7	7,5	7,3	7,2	6,9	7,1	7,1	7,1	303	-	22	55	49	43	44	38	33	31	28	29
4	26	21,9	8,7	7,9	7,3	7,3	7,0	7,0	7,0	7,0	6,9	298	-	24	56	50	41	40	34	32	29	27	28
Сред.	26	22,0	8,7	8,0	7,5	7,2	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0	300	-	25	57	52	44	40	37	34	29	28	28
Сушка при квазитермических режимах																							
5	26	22,2	12,0	11,2	10,0	9,3	9,2	10,0	7,0	6,8	7,0	258	78	24	52	49	46	37	33	52	38	28	29
6	26	23,2	12,2	11,1	9,8	9,0	8,8	10,2	7,2	6,9	7,1	259	81	26	55	51	43	35	31	50	42	27	29
7	25	24,1	12,7	11,8	9,7	9,2	8,8	9,7	7,5	7,0	6,8	261	80	28	57	54	42	33	32	45	41	30	26
8	26	24,4	12,8	11,5	10,3	9,3	9,4	9,8	7,2	6,7	6,7	261	81	27	57	54	45	35	35	49	39	31	27
Сред.	26	23,5	12,4	11,4	10,0	9,2	9,1	9,9	7,2	6,9	6,9	260	80	26	55	52	44	35	33	49	40	29	28

Приложение Е. Справка о стоимости выполненных работ и затрат

Унифицированная форма № КС - 3
Утверждена постановлением Госкомстата России
от 11.11.99 № 100

Заказчик:	ОАО "Набережночелнинский элеватор", 423740, Респ. Татарстан, Тужевский район, д. Малый Шильда, ул. Элеваторская, д.18, ИНН 1639004674, КПП 168150801	Форма по ОКУД	Код
Генподрядчик:	ООО "ТРЕСТ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И БЛАГОУСТРОЙСТВА", 423740, Респ. Татарстан, Актанышевский р-н, с. Актаныши, площадка ВСО, ИНН 1606061411, КПП 160601001	по ОКПО	0322001
Стройка:	ОАО "Набережночелнинский элеватор", Реконструкция зерносушилки СОБ-1	по ОКПО	
	Вид деятельности по ОКДП	по ОКПО	
	Договор подряда (контракт)	номер	637 П-13/7-ТС
		дата	25 04 2013
		Вид операции	

Номер документа	Дата составления	Отчетный период
1	31.05.2013	с по
		01.05.2013 31.05.2013

СПРАВКА
О СТОИМОСТИ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ И ЗАТРАТ

Но- мер по по- рядку	Наименование пусковых комплексов, узлов, объектов, видов выполненных работ, оборудования, затрат	Код	Стоимость выполненных работ и затрат, руб.		
			с начала проектирования работ	с начала года	в том числе за отчетный период
1	2	3	4	5	6
	Всего работ и затрат, исполненных в стоимости работ				
	в том числе:				
1.1	Монтаж воздухоподогревателя		234 011,20	234 011,20	234 011,20
1.2	Монтаж опорных конструкций		82 589,45	82 589,45	82 589,45
1.3	Врезка шиберной задвижки		51 357,08	51 357,08	51 357,08
1.4	Монтаж автоматики		78 872,07	78 872,07	78 872,07
	Итого			446 829,80	
	Сумма НДС			80 429,36	
	Всего с учетом НДС			527 259,16	

ЗАКАЗЧИК

Независимый директор ОАО «Набережночелнинский элеватор»

Директор ООО «Агро Инвест»

Начальник ОКС ООО «Агро Инвест»

Инженер сметных ОКС ООО «Агро Инвест»

Главный энергетик ОАО «Набережночелнинский элеватор»

ГЕНПОДРЯДЧИК

Генеральный директор ООО «Трест механизации строительства и благоустройства»

И.И. Шайхутдинов

Р.Г. Гизатуллин

Р.М. Шайхразиев

Р.Г. Сагдарова

И.И. Шайхутдинов

А.В. Висоцкий