

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬ-
НОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«КОСТРОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи

Коваленко Родион Михайлович

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ
РЕЦИРКУЛЯЦИИ АГЕНТА СУШКИ ПЕРЕДВИЖНОГО
АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ СЫПУЧИХ
МАТЕРИАЛОВ**

Направление подготовки 35.06.04 Технологии и энергетическое оборудова-
ние в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Направленность «Технологии и средство механизации сельского хозяйства»

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромыш-
ленного комплекса

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИССЕРТАЦИЯ)

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор

Волхонов Михаил Станиславович

Караваево, 2024

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Целью исследования.....	5
1 АНАЛИЗ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО ПАРКА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Анализ способов сушки зерна.....	10
1.2 Основные виды передвижных зерновых сушилок.....	14
1.3 Анализ способов снижения энергоемкости процессов сушки.....	19
1.4 Устройства для повторного использования отработавшего агента сушки.....	28
1.5 Анализ работ, направленных на теоретический анализ эффективности повторного использования агента сушки.....	32
1.6 Выводы по разделу.....	35
2 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО АГЕНТА СУШКИ.....	36
2.1 Обоснование комплексного показателя совершенства конструкции сушилки.....	36
2.2 Разработка конструкции и схемы работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.....	39
2.3 Теоретическое обоснование теплотехнической эффективности рециркуляции сушильного агента при постоянном подмешивании свежего воздуха. Обоснование рациональных режимных параметров работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.....	46
2.4 Теоретическое обоснование теплотехнической эффективности рециркуляции сушильного агента при однократном подмешивании свежего воздуха. Обоснование рациональных режимных параметров работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.....	60
2.5 Теоретическое обоснование целесообразности применения рециркуляции отработавшего агента сушки по условию конденсации влаги.....	65
Выводы по разделу:.....	67
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	69
3.1 Программа научного исследования.....	69
3.2 Методика научного исследования.....	69

3.3	Описание экспериментальных и производственных установок	69
3.4	Измерительные приборы.....	75
3.5	Методика лабораторного исследования определения аэродинамических характеристик в незагруженной камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.....	81
3.6	Методика проведения производственных испытаний системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов при полной загрузке камеры сушки.....	85
3.7	Методика автоматического управления заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.....	93
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	100
4.1	Результаты лабораторного исследования определения аэродинамических характеристик в камере сушки зерносушилки	100
4.2	Результаты производственных испытаний зерносушилки при вентилировании щепы	104
5	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	111
5.1	Реализация результатов исследований и их экономическая эффективность.....	111
5.2	Энергетический анализ эффективности применения передвижной сушилки с системой рециркуляции агента сушки	122
5.2.1	Выводы по разделу.....	124
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:	128
	Приложение А	137
	Приложение Б.....	151
	Приложение В	163
	Приложение Г	166
	Приложение Д.....	169
	Приложение Е.....	171
	Приложение Ж	174
	Приложение З.....	179

ВВЕДЕНИЕ

В условиях российского климата в большинстве регионов сбор урожая зерновых совпадает с периодом обильных осадков, поэтому влажность урожая выше кондиционной. В Нечерноземной зоне РФ слабым звеном в технологической линии послеуборочной обработки зерна является сушилка. По ее производительности можно судить о производительности всего зерноочистительно-сушильного пункта (ЗОСП), в состав которого она входит. В настоящее время на многих предприятиях применяются неэффективные технологии послеуборочной обработки зерна, используется оборудование с высоким физическим и моральным износом. Так, согласно данным департамента АПК Костромской области, количество ЗОСП в регионе за последние десять лет уменьшилось на 38%, заменено сушилок на новые – 15 штук, остальные 120 – эксплуатируются, в среднем, начиная с 1975 года. Сушильный парк изношен на 80%, замена техники производится медленно из-за высокой стоимости оборудования [1].

Непрерывное увеличение производства зерна и семян других сельскохозяйственных культур требует значительного прироста мощности зерносушильного парка и повышения эффективности работы зерносушилок. Для обеспечения сельского хозяйства семенами высокого качества зерносушилки должны отвечать технологическим требованиям сушки различных семян [2]. Сегодня при выборе оборудования для сушки зерна определяющими факторами являются ее производительность, экономичность, расход топлива, долговечность, цена. Чем суровее климатическая зона, тем выше требования к сушильному агрегату. Сельхозпроизводители вынуждены постоянно изучать рынок в поисках инновационных конструкций и технологий сушки зерна, обеспечивающих быструю окупаемость затрат, и качественный продукт на выходе [3]. Как правило, в открытых источниках приводится неполная и несистематизированная информация о характеристиках выпускаемых в мире пере-

движных сушилок зернового вороха и отсутствует классификация, что значительно осложняет их анализ и выбор при покупке для сельскохозяйственных предприятий.

Существующая классификация зерносушилок охватывает все сушилки без выделения передвижных, так, например, различают зерносушилки малой – до 2,5 т/ч, средней – до 15 т/ч и высокой производительности – более 15 т/ч. Тем не менее передвижным зерновым сушилкам сегодня уделяется особое внимание, так как данный тип сушилок обладает рядом преимуществ:

- мобильностью, не требуется строительство технических сооружений и фундаментов;
- условиями работы, они могут создаваться непосредственно в поле;
- автономностью, возможностью работы на дизельном, газовом или твердом топливе, без электричества (при работе от вала отбора мощности трактора).

Для максимальной эффективности сушки зерна необходимо сократить энергозатраты, что является приоритетным направлением в данной отрасли.

Целью исследования является разработка системы рециркуляции агента сушки передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- проанализировать существующий парк передвижных зерновых сушилок, выпускаемых в мире, составить их классификацию;
- определить технико-экономические показатели удельной металлоемкости, удельной стоимости, удельного расхода теплоты на сушку проанализированных передвижных зерновых сушилок, а также предложить методику оценки эффективности зерносушилок, учитывающую основные показатели, выявить наиболее эффективные;

- разработать технологическую схему системы рециркуляции агента сушки передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов;
- провести теоретический расчет теплотехнической эффективности рециркуляции агента сушки, описать оптимальные режимы работы;
- разработать методику проведения научных исследований эффективности разработанной системы рециркуляции агента сушки;
- провести лабораторные и производственные испытания теоретически рассчитанных режимов работы системы рециркуляции агента сушки;
- дать технико-экономическую оценку работы системы рециркуляции агента сушки передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.

Объект исследования – система рециркуляции агента сушки.

Предмет исследования - теплотехническая эффективность системы рециркуляции агента сушки.

Гипотеза исследования- в случае использования системы рециркуляции агента сушки можно добиться снижения энергозатрат на сушку, а также уменьшить запыленность рабочей зоны.

Научная новизна заключается в:

- разработанной конструкции передвижного аэродинамическом устройстве для сушки сыпучих материалов (патент № 2777996);
- обосновании режимов работы системы рециркуляции агента сушки
- проведенной оценке экономической эффективности применения системы рециркуляции агента сушки

Достоверность основных выводов подтверждена результатами экспериментальных исследований, выполненных с использованием современных методик, положительными результатами производственных испытаний устройства.

Практическая ценность и реализация результатов исследования.

Благодаря внутривузовскому гранту на тему: «Разработка мобильного высокоэффективного устройства для сушки семян трав и масличных культур на основе тканых материалов», полученному в ФГБОУ ВО Костромской ГСХА, разработано передвижное аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов, которое состоит из камеры сушки собранной по каркасно-тканевой технологии с установленной системой рециркуляции агента сушки состоящей из сдвижного зонта с загрузочным отверстием, пылеулавливающего устройства, клапана смесителя, а также вентилятора аспиратора, обеспечивающего режим аспирации.

Апробация работы Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научных и научно-практических конференциях:

Принял участие в региональном этапе Всероссийской программы поддержки талантливой молодежи «Умник 2021» заявка была отобрана для выступления в финале. На региональном этапе Всероссийской программы поддержки талантливой молодежи «Умник 2023». Являлся участником: 72-ой Международной научно-практической конференции «Научные приоритеты агропромышленного комплекса в России и за рубежом», секция «Состояние и перспективы инженерно-технологического обеспечения АПК в области энергетики и механизации»; 73-ой Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе», секция «Состояние и перспективы инженерно-технологического и технического обеспечения АПК в области энергетики и механизации»; 74-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Современная наука: актуальные вопросы и достижения в эпоху трансформационных процессов», секция «Технологии, машины и оборудование»; проходившие на базе ФГБОУ ВО Костромской ГСХА.

В 2022 принял участие во Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса», проходящей на базе ФГБОУ ВО Ивановской ГСХА.

Методы исследования - в исследовании использованы методы математической статистики и теории эксперимента. Использование данных методов основывалось на применении современных технических средств и измерительных приборов. Обработка опытных данных велась на ЭВМ в приложениях MS Office Word, Excel, КОМПАС-3D, Paint.NET, STATGRAPHICS Plus для MS Windows.

Исследование проведено на основе системного подхода к комплексу теоретических и экспериментальных результатов, полученных при помощи классических математических, физических, статистических методов, а также экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях. Нормативной базой исследования явились: нормативно-законодательные документы, данные, опубликованные в научных работах ученых, занимавшихся исследованием процесса ультразвуковой обработки, аналитические материалы научно-исследовательских организаций России и стран мира

На защиту выносятся:

- Конструктивно-технологическая схема передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов, рациональные режимные параметры работы системы рециркуляции агента сушки;

- результаты теоретических расчетов теплотехнической эффективности рециркуляции сушильного агента при постоянном подмешивании свежего воздуха, при однократном подмешивании свежего воздуха и целесообразности применения рециркуляции по условию конденсации влаги.

- результаты экспериментальных исследований аэродинамических характеристик системы рециркуляции агента сушки передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов;

- результаты производственных испытаний системы рециркуляции агента сушки.

Публикации. Основные положения работы отражены в 4 публикациях, в том числе 2 публикации в научном журнале, входящем в текущий Перечень

ВАК России, получен патент № 2777996 запись о регистрации патента внесена в Государственный реестр изобретений Российской Федерации от 12.08.2022

Структура и объем работы Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка литературы, приложений. При объеме 179 страниц, содержит 127 страниц основного текста, 69 рисунков, 7 таблиц, 8 приложений. В приложениях приведены: документы, подтверждающие апробацию работы, и другие вспомогательные материалы. Список использованных источников включает 88 наименований.

Диссертационная работа оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11 [88]

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю – доктору технических наук, профессору, Михаилу Станиславовичу Волхонову; сотрудникам и аспирантам кафедры технических систем в АПК; заведующему структурным подразделением «Опытное поле»; начальнику электроотдела ФГБОУ ВО Костромской ГСХА за оказанную помощь и содействие при выполнении данной работы.

1 АНАЛИЗ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО ПАРКА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ способов сушки зерна

Сушка зерна – важный этап после сбора урожая, поскольку зерно без сушки и вентилирования склонно к самосогреванию и загниванию. Для сохранения качества и продления срока хранения зерна, требуется сушка. В процессе сушки используются специальное оборудование и технологии для эффективного удаления лишней влаги. Благодаря качественной сушке обеспечивается длительное хранение зерна с требуемым классом и качеством. Одно из условий качественной обработки посевной продукции заключается в том, что в сердцевине давление пара должно быть меньше атмосферного давления. Влажность в этом случае переходит к периферии от центра, однако данный переход должен быть не очень быстрым. При повышенной температуре оболочка зерен может сгореть, так что при сушке нужно применять специальные технологии. Основными задачами обработки зерна являются: дозревание; обеззараживание; охранение качества; обеспечение хранения в течение длительного времени [51].

На сегодняшний день известны следующие способы сушки зерна: радиационный - солнечный; конвективный; кондуктивный - контактный; с помощью ТВЧ и СВЧ; в вакууме; сушки инфракрасными лучами; акустический. Рассматривая данные способы можно отметить, что в зависимости от региона и погодных условий широкое применение получили первые 3 способа.

Солнечная сушка является одним из наиболее древних и экономически выгодных способов сушки зерна. Основывается на использовании солнечного тепла для высыхания зерна, что позволяет экономить на затратах на топливо. Такой метод считается экологически чистым и не требует сложного оборудования. Однако, солнечная сушка имеет свои ограничения, в том числе зависи-

мость от климатических условий. Этот метод эффективен в основном в районах с хорошей солнечной активностью температура воздуха должна быть не ниже 25 градусов, что ограничивает его применимость. В целом, солнечная сушка остается важным и экономически привлекательным методом сушки зерна, однако для его успешного применения необходимо учитывать различные факторы, такие как географические особенности и климатические условия [49].

Как отмечал С.Д. Птицын [1] конвективный способ сушки является одним из наиболее доступных и широко применяемых методов сушки материалов, во время которой тепло передается зерну конвекцией от движущегося агента сушки. Агент сушки наряду с передачей тепла поглощает и удаляет влагу из зерна [48]. Данный метод позволяет сократить длительность сушки продуктов в 7-10 раз по сравнению с естественной сушкой, применение в различных районах независимо от погодных условий; возможность высушить высоко-влажное зерно от 25%; зерно не соприкасается с нагретыми поверхностями. Недостатками являются: сушильные установки имеют высокие удельные энергозатраты (от 1,6 до 2,5 кВт-ч/кг), возникает несколько проблем, таких как потери тепла, снижение качества продукта и потери витаминов и биологически активных веществ. Повышение температуры и продолжительности сушки может привести к окислительным процессам, которые отрицательно сказываются на продукте [53].

Так же применение нашел и кондуктивный - контактный способ сушки при котором теплота, которая требуется для испарения влаги, подводится к зерну от нагреваемых поверхностей или от нагреваемого зерна «метод сковородки». Для сушки продуктов питания этот способ используется нечасто. Высокого качества конечного продукта достичь не удастся вследствие неравномерности его влажности и потери питательных веществ из-за перегрева. Большее применение этот способ находит при сушке пиломатериалов, а также сырья и продукции в текстильной промышленности [53].

Один из наиболее ограниченных в применении является сорбционный способ сушки, при котором влажное зерно смешивается с влагопоглощающими материалами такими как опилки, силикагель, хлористый кальций, сульфат натрия или с более сухим зерном. Разновидностью этого способа является химическая сушка. Ее наиболее целесообразно применять для снижения влажности семян бобовых культур таких как вика, горох, соя, фасоль. Вследствие плотных семенных оболочек и высокого содержания белка эти семена очень плохо отдают влагу при тепловой сушке. Сильный нагрев сильным растрескиванием. Данный способ основан на высокой водопоглотительной способности некоторых химических веществ, в частности, технического сульфата натрия (Na_2SO_4) или природного озерно-морского минерала – Мирабилита, влажностью 1-5 %. Сушку ведут, смешивая порошок с семенами [50].

Достоинства: семена бобовых культур не растрескиваются. Недостатки данного способа: наличие отдельного помещения для смешивания препаратов; частое перемешивание семян производят 3-4 раза за сутки; высокая продолжительность сушки 5-10 суток; затраты на сепарацию зерновой массы от сорбента; невозможность повторного использования сорбента, только после сушки. Высокая стоимость и трудоемкость химического способа сушки ограничивает его применение.

Отметим способ сушки зерна в вакууме, сущность этого способа заключается в следующем: тепло в вакуум-сушилках сообщается зерну от нагреваемых поверхностей, например паровых трубок, а испаряемую влагу откачивает вакуум-насос. Достоинством является то, что в вакууме процесс проходит так же, как и во время конвективной сушки; с увеличением вакуума и ростом температуры нагреваемых поверхностей увеличивается скорость сушки. Однако вакуум-сушка имеет несколько недостатков: достаточно дорога в производстве и обслуживании; не подходит для производства продуктов с высоким содержанием влаги, масла и примесей.

Во время радиационной сушки при помощи инфракрасного излучения происходит прямая передача тепла от источника к зерну, источниками могут

быть специальные электрические краны, осуществляющие нагрев до 500-1000 °С. Основные достоинства сушки инфракрасными лучами заключаются в возможности подведения к материалу значительно большие потоки тепла, больше в 30-100 раз, чем во время конвективной сушки. Таким образом, радиационная сушка инфракрасными лучами позволяет быстро и эффективно сушить зерно без применения дополнительных источников тепла, но для проведения сушки биологического термочувствительного объекта, то есть зерна, реализация данного достоинства невозможна [49].

Сушка зерна в электрическом поле токов повышенной частоты является одним из совершенных способов сушки, при котором сушка выполняется из превращения в теплоту энергии электрического поля [49]. При использовании электрического поля токов повышенной частоты происходит более равномерное нагревание зерна, что позволяет достичь более высокой эффективности сушки. Кроме того, такая сушка позволяет избежать потерь влаги. Для получения максимальной эффективности необходимо подобрать параметры электрического поля и правильно подобрать параметры нагревания. При этом необходимо учитывать и другие факторы, влияющие на процесс сушки, в том числе температуру и влажность воздуха. Существенный недостаток в сравнении с конвективной сушкой это стоимость, которая на порядок выше

Одним из изучаемых способов сушки является акустический, он заключается в превращении акустической энергии в тепловую с помощью ультразвуковых генераторов. Таким образом, звуковые волны помогают ускорить процесс сушки и увеличить время их хранения. [49]. Стоимость ультразвуковых генераторов и сложность их применения ограничивают этот способ в применении.

1.2 Основные виды передвижных зерновых сушилок

При выборе зерносушилок следует уделить особое внимание технико-экономическим показателям, с целью составления классификации передвижных зерновых сушилок проведен анализ технико-экономических показателей сушилок, выпускаемых в мире.

Рассмотрим два основных типа зерносушилок: периодического и непрерывного действия. Установки периодического действия позволяют размещать большое количество урожая, не требуют больших капитальных затрат, просты в обслуживании и надежны в эксплуатации. Большинство из них универсальны и пригодны для сушки большого набора растительных материалов [4]. Достоинствами таких сушилок являются простота конструкции, возможность регулирования режима сушки путем подачи агента сушки с различными параметрами на разных этапах сушки, повышение равномерности сушки за счёт перемешивания зерна с помощью шнеков, расположенных в слое, реверсирования продувки зернового слоя. К основным недостаткам относят простои во время загрузки и выгрузки зерна, произвольные потери теплоты на прогрев сушилки после загрузки в нее очередной партии зерна, неэффективное использование транспортного оборудования [4]. Энергоемкость зерносушилок периодического действия достигает 6700 кДж/ (кг. исп. вл.), а коэффициент полезного действия – 37,5% [5].

Сушилки непрерывного действия являются экономически более выгодными установками и поэтому их применение целесообразно в условиях производства семян объемами 500 т и более [6]. По сравнению с зерносушилкой периодического действия сушка зерна на прямоточной зерносушилке приводит к снижению затрат теплоты на 10,7 % и повышению коэффициента полезного действия сушилки с 37,5 до 42 % [7].

Повышение технико-экономических характеристик происходит за счёт: более полного использования сушильной камеры, так как исключаются про-

стой ее во время загрузки и разгрузки; лучших условий для контроля и автоматизации процесса сушки; возможностью использования их в поточных технологических линиях, так как эти сушилки не требуют периодического прогрева.

К недостаткам относят неравномерность движения зерна по сечению рабочей камеры и, как следствие этого, неравномерность его нагрева и сушки [6].

Анализ показал, что различают два способа передвижения сушилок: по автомобильной дороге или по железной дороге. Оба способа передвижения имеют свои плюсы и минусы, но более универсальным в современном мире считаются те сушилки, которые могут передвигаться по дорогам общего пользования.

Рассмотрим основные передвижные зерновые сушилки – шахтного, бункерного, барабанного, конвейерного, колонкового типов.

В России на практике из передвижных зерносушилок наибольшее распространение получили шахтные и бункерные. Сушилки шахтного типа обладают компактностью, высокой степенью использования объема рабочей камеры, простотой изготовления, возможностью в одной шахте сушить широкий спектр сыпучих культур [8]. Недостатками этих сушилок являются неравномерная сушка зерна повышенной влажности, постоянное засорение шахт и сложная очистка, необходимость обязательного очищения зерновой массы от примесей перед сушкой, повторная сушка высоковлажной массы, травмирование зерна во время движения по шахте, ограниченный съём влаги за один пропуск зерна через шахту [9].

Особого внимания сегодня заслуживают передвижные бункерные сушилки по причинам их доступности и простоты. К конструктивным особенностям бункерных сушилок относят использование сетчатой наружной стенки сушилки с большим коэффициентом живого сечения, использование большей по диаметру и меньшей по высоте центральной воздухоподающей камеры, а

также высокую автоматизацию процесса сушки, использование двух шнековых транспортёров, которые обеспечивают загрузку и рециркуляцию семян в процессе сушки. Важной конструктивной особенностью является наличие внутренней перфорированной камеры с коническим верхом для ввода агента сушки в продуваемый зерновой слой, толщина которого составляет около 50 см [10]. К недостаткам данных сушилок относят их дороговизну, отсутствие возможности замерить влажность материала, неравномерность сушки из-за уплотнения нижних слоев зерна, длительность сушки; травмирование влажного зерна шнеками.

При рассмотрении сушилок барабанного типа выявилось большое количество недостатков в процессе эксплуатации, что и влияет сегодня на их спрос. Эти сушилки применялись для сушки зерна влажностью более 25%. К их достоинствам можно отнести возможность сушки кусковых материалов различной сыпучести, засоренности и влажности, наличие высокого коэффициента использования рабочего времени, сушка происходит примерно в 2-3 раза быстрее, чем в шахтных сушилках. Главный недостаток барабанных сушилок – огромный расход энергии, не менее 1,5 литра дизельного топлива и 4 кВт электроэнергии на тонну [7], а также сложность получения семян с высокими показателями всхожести, высокая загрязненность зерна канцерогенными веществами при сушке и высокая неравномерность сушки [11].

Передвижные конвейерные зерносушилки — относительно новый продукт на отечественном сельскохозяйственном рынке, где обнаруживается всего несколько моделей этого типа, однако они успешно используются по всему миру [12]. К их достоинствам относят возможность сушить различные материалы, в том числе и малосыпучие, легкость регулирования производительности, возможность дифференцированно подавать агент сушки и перемешивать слои зерна; возможность визуального наблюдения и контроля движения, доступность рабочих органов для обслуживания. Недостатками конструк-

ции являются громоздкость, большое количество движущихся узлов и деталей, повышенные требования к прочности конструкции, что снижает её эксплуатационную надежность.

На сегодняшний день устарели не только морально, но и технически сушилки колонкового типа по причинам низкого КПД использования агента сушки, не превышающего 8-10%, и значительного истирания стенок и зерна. Кроме этого, очистка сушилки требует больших усилий, так как образуются застойные зоны при сушке зерна высокой влажности. В них существует опасность самовозгорания зерна [13].

Необходимо отметить, что сегодня в конструкциях сушилок находит отражение относительно новый технологический принцип – принцип повторного использования отработавшего агента сушки. В установках такого типа реализуется принцип герметичности, без которого процесс сопровождается выделением большого количества пыли, что, в свою очередь затрудняет оператору доступ к сушилке.

На основании анализа изученных материалов и методов составлена классификация передвижных зерновых сушилок по разным основаниям (рис. 1.1).

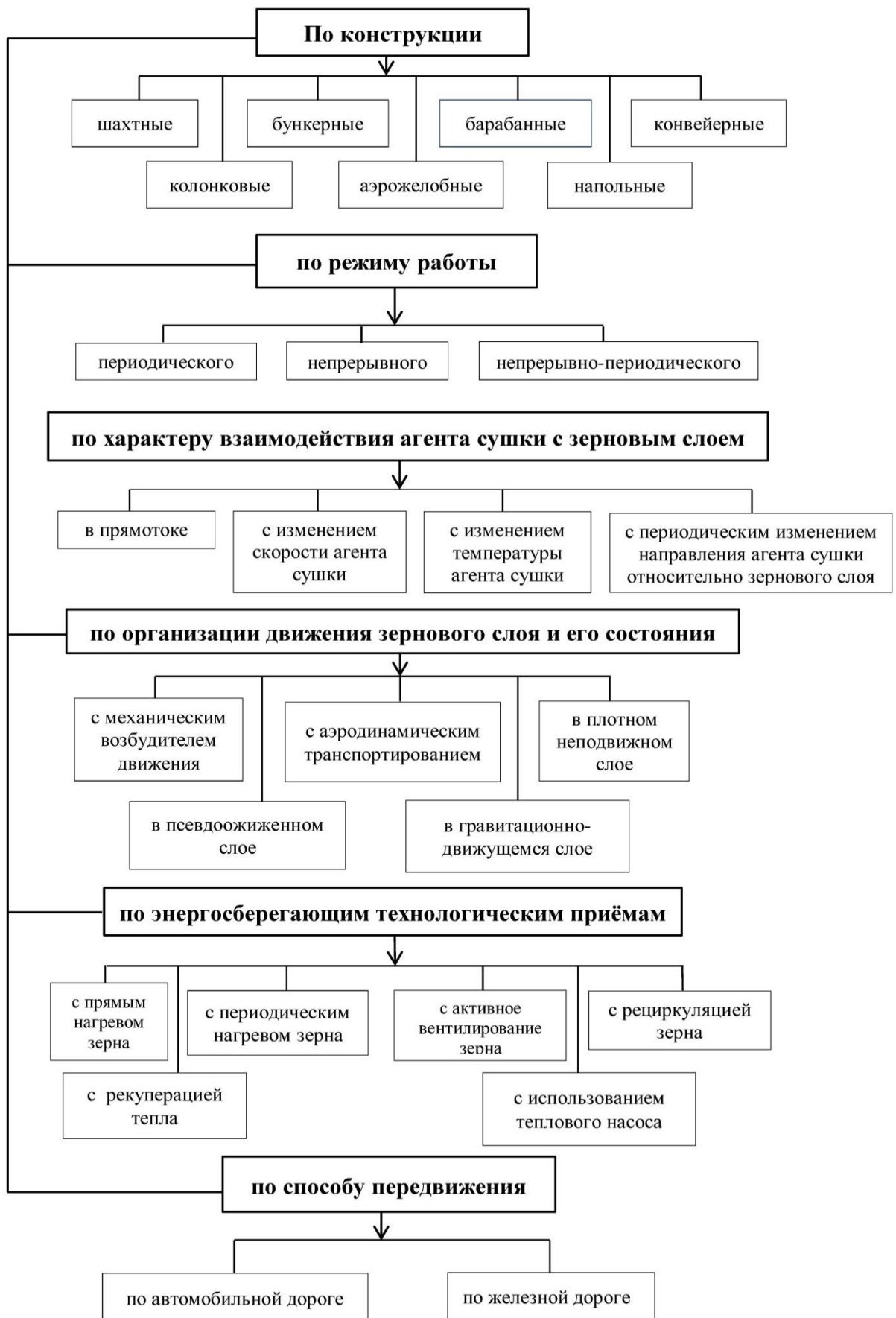


Рис. .1.1 Классификация передвижных зерновых сушилок

1.3 Анализ способов снижения энергоемкости процессов сушки

В настоящее время многие авторы отмечают, что в контексте нарастающей напряженности в области энергетического баланса важно развивать современную технику для сушки зерна, с упором на создание сушильных установок с наиболее эффективным и экономичным потреблением энергии. В используемых в настоящее время зерносушилках применяются разнообразные технологические методы, которые помогают сделать процесс сушки более эффективным, быстрым и экономически выгодным для производителей зерна.

Организационные мероприятия по снижению расхода топлива и электроэнергии на сушку зерна, выделенные Малиным Н.И. [65], могут включать в себя следующие пункты (рис.1.2): регулярное проведение технического обслуживания и проверка настройки оборудования для эффективной работы без излишних потерь; обучение персонала правильному использованию зерносушилок и контроль за соответствием работы оборудования установленным нормам; внедрение современных технологий и обновление оборудования для повышения энергоэффективности; оптимизация процесса сушки с помощью управления параметрами сушильного процесса (температура, влажность и продолжительность обработки), что позволит сократить расход топлива и электроэнергии; мониторинг и анализ данных по расходу топлива и электроэнергии для идентификации узких мест и возможностей для оптимизации; систематическое изучение литературных и практических материалов для внедрения инновационных методов снижения расхода ресурсов на сушку зерна.

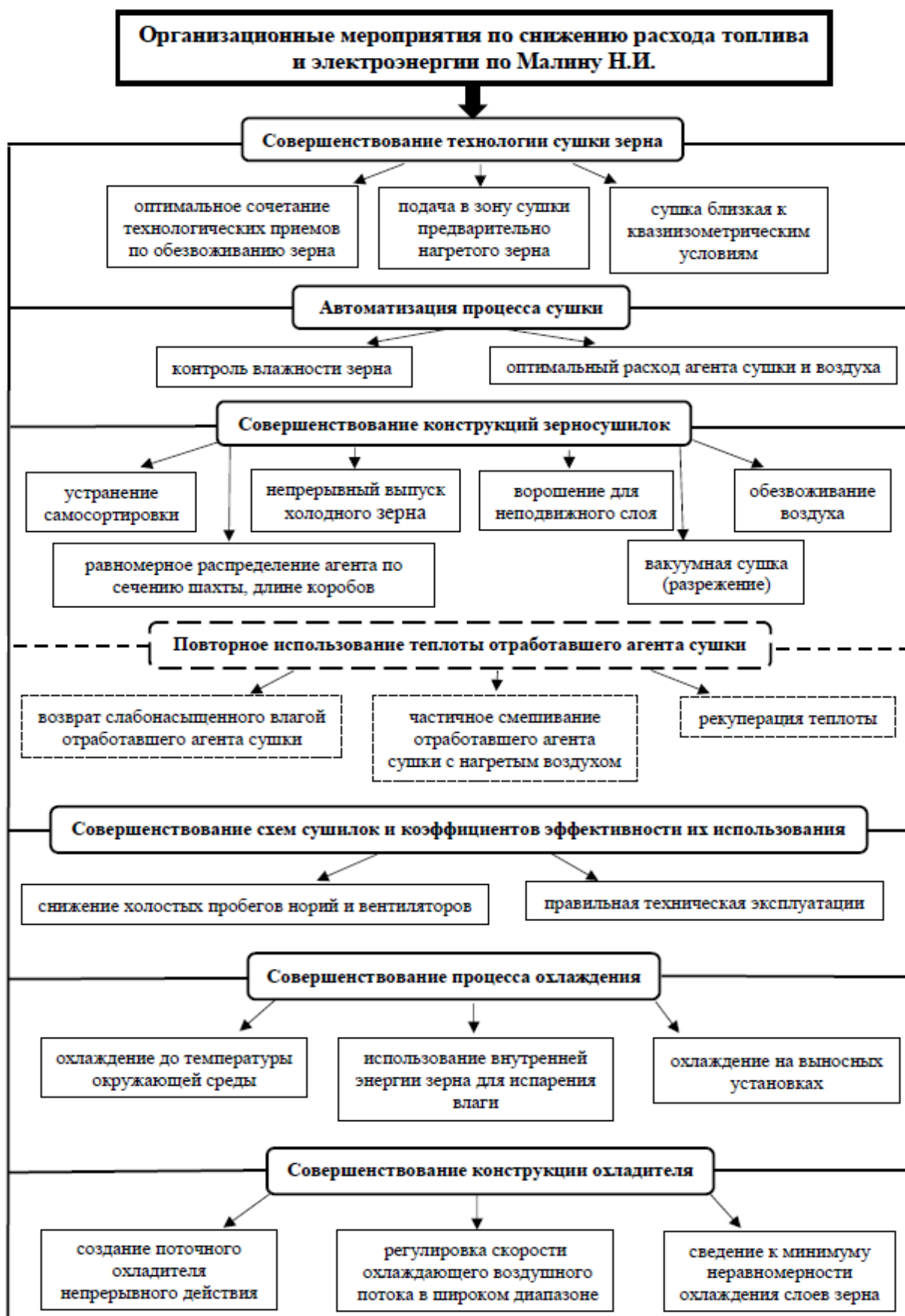


Рис. 1.2 Организационные мероприятия по снижению расхода топлива и электроэнергии по Малину Н.И.

Эти мероприятия могут помочь в повышении эффективности сушки зерна и сокращении расхода топлива и электроэнергии, что важно для сельскохозяйственных предприятий и обеспечения их устойчивости и экономической эффективности. В связи с тем, что потери могут достигать 30–40 % всех непроизводительных затрат теплоты в зерносушилках, наиболее эффективным и перспективным мероприятием по снижению энергозатрат является повторное использование теплоты отработавшего агента сушки, которое включает в себя: возврат слабонасыщенного влагой отработавшего агента сушки; частичное смешивание отработавшего агента с нагретым воздухом; рекуперацию теплоты.

Г.С. Окунь и А.Г. Чижиков [68] обращают внимание на трудности, возникающие при внедрении сушилок с повторным использованием отработавшего агента сушки: дополнительные затраты на воздуховоды и вентиляторы, а также затраты на фильтрующие устройства для очистки рециркулирующего теплоносителя.

По утверждениям отечественных и западные ученых таких как Сорочинский В.Ф., Munzing K., Maltry W., Hansen R. C. и др. [60; 78; 79; 80] основными направлениями повышения производительности, снижения энергоемкости и трудоемкости процесса сушки считают: автоматизацию; применение рециркуляции агента сушки; применение двухстадийной сушки – метода драэрации; увеличение температуры нагрева зерна; применение математического моделирования процесса сушки.

Характеристики, играющие важную роль при выборе оптимального режима сушки: максимально допустимые температуры нагрева, влагосъем, качественные характеристики (сохранение вкуса, цвета, запаха), питательная ценность. [64, 66].

Н.В. Ксенз выделил 10 основных способов снижения энергоемкости процесса сушки (Рис. 1.3).



Рис.1.3 Пути снижения энергоемкости процесса сушки семян зерновых культур (по Н.В. Ксензу)

Сычугов Н.И., Манасян С.К., Машковцев М.Ф. и др. [67; 66; 65; 64; 61; 66; 76; 73] считают, что предварительный подогрев зерна, рециркуляция материала и теплоносителя могут улучшить процесс сушки зерна, позволяя его сушить в потоке практически любой первоначальной влажности достигая кондиционной конечной влажности. Интересно, какие именно методы и технологии используются для этого и какие результаты достигаются в практике. Можно добиться повысить интенсивности сушки (при этом не требуется предварительная очистка зерна и возможна работа при различной влажности отдельных партий зерна).

А.В. Голубкович, А.Г. Чижиков, считают сушку до сухого состояния за один пропуск при любой исходной влажности основным условием сохранения высокого качества семян и зерна в 1,5-2 раза использование поточной технологии уменьшает затраты труда и средств на обработку зерна. Также авторами

отмечено, что предварительный подогрев и рециркуляция материала при сушке семян повышают производительность на 35 %, зерна на 23 % [62]. Установлено, что «частичная рециркуляция отработавшего агента сушки и охлаждающего воздуха обеспечивает экономию топлива в размере 5...10 %» [63].

Ученые Соседов Н.И., Шухнова Н.В. в работе [73], отмечают, что при влажном зерне коэффициент рециркуляции достигает 5,6,7 и даже больше, что приводит к истиранию, нарушению структуры материала и повышению расхода энергии.

По данным [66] «инерционность поля влажности в 330 раз больше, чем инерционность температурного поля». Ученые рекомендуют использовать высокотемпературные теплоносители для нагрева зерна и комбинировать циклы нагрева и охлаждения, чтобы избежать перегрева [64; 62; 61, 78; 66; 76; 75], по их мнению, влечет за собой повышение качества семян.

Для равномерного распределения влаги внутри материала между оболочкой зерен и их внутренней частью, а также для повышения эффективности его охлаждения необходимо предусмотреть такой технологический прием как отлежка. Она способствует повышению качества сухого продукта и предотвращает возможные дефекты, такие как уплотнение или образование корки на поверхности и уменьшает возможность конденсации влаги [77; 66; 70; 59]. Эффективность зависит от длительности отлежки. Многочисленными исследованиями различных авторов установлено, что при смешивании зерна с различной температурой выравнивание ее между отдельными компонентами смеси происходит за незначительный промежуток времени 10–15 минут. С.Д. Птицин, В.Мальтри, Э.Пётке, Б.Шнайдер указывают, что периоды отлежки у зерновых должны быть более 24 ч.

Птицына С.Д., Третьяковой Т.В. и др. [71] указывают на то, что применение отлежки приводит к снижению натурального веса зерна, установлено, что при одинаковой средней влажности образца, но различной степени его предварительной подсушки, скорость изменения веса различна: чем больше величина влагосъема, тем медленнее изменяется натуральный вес. Когда речь

идет о скорости изменения веса при различной степени предварительной подсушки, можно отметить, что чем больше величина влагосъема (то есть, чем больше влаги удаляется при предварительной подсушке), тем медленнее изменяется натуральный вес зерна в процессе отлежки. Это связано с тем, что на начальных этапах подсушки происходит быстрое удаление избыточной влаги, что влияет на последующий процесс отлежки.

Исследования Малина Н.И. свидетельствуют, что увеличение продолжительности отлежки нагретого зерна свыше 15 минут приводит к незначительному сокращению процесса. Отмечает, что наиболее эффективно применение отлежки для зерна влажностью до 17...18 %. По его данным, отлежка нагретого зерна пшеницы в течении 15 мин сокращает длительность процесса релаксации влаги примерно в 1,1 раза [65].

Машковцев М.Ф. [67] рекомендует использовать специальные емкости для отлежки, которые устраиваются непосредственно в самих сушилках.

Сушку комбинированным способом предлагает Спиридонова М.Г. [74]: сначала в кипящем слое – для достижения высокой интенсивности обезвоживания, этот процесс позволяет быстро удалить избыточную влагу из продукта и обеспечить начальную стадию сушки.; затем в плотном слое– интенсивность обезвоживания продолжается, однако уже в более мягком режиме. Здесь влага из продукта испаряется более равномерно, что помогает предотвратить пересыхание и перегрев продукта.

Способ сушки зерна с высокой начальной влажностью, предложенный Захарченко И.В. [64], основан на комбинации двух этапов сушки для сокращения энергетических затрат и оптимизации процесса обезвоживания зерна. Первый этап сушки осуществляется с использованием быстрой системы, которая направлена на удаление влаги только из верхнего слоя зерна, после быстрой сушки следует второй этап, включающий медленную сушку зерна в хранилище.

Отмечается, что применение комбинированной технологии сушки зерна в высокотемпературных сушилках с досушкой на установках активного вентилирования позволяет снизить энергоемкость процесса на 30...39 %. Рекомендуют зерно в сушилках сушить до влажности 15...17 %, затем его вентилировать в бункерах [72].

Основные недостатки технологий комбинированной сушки высветил И.В. Захарченко [64]. К ним он относит: отсутствие возможности полного снятия влаги за один пропуск; травмирование влажного зерна при передаче его с агрегата на агрегат; большие площади, занимаемые дополнительным оборудованием, требующим дорогостоящих сооружений; отсутствие гарантий качества семян при влажности убранного зерна более 28 %; громоздкость и дороговизна комплекса для обработки до 20...30 тыс. т. семенного материала за сезон.

Технологии двухстадийной сушки зерна "драйаэрайшн" (Dryeration) и "супердрай" (Superdry), широко применяемые на Западе, являются эффективными методами сушки зерна для снижения влажности до кондиционной с последующим охлаждением. Процесс "драйаэрайшн" - высушивание зерна при высокой температуре в специальных сушилках до влажности, превышающей кондиционную на 1,5-2%, затем нагретое зерно отдыхает в емкостях в течение 5-10 часов. После этого происходит охлаждение зерна внешним воздухом, при этом подача воздуха должна быть наиболее низкой температуры с удельной подачей воздуха от 40 до 70 м³/(ч·т) в течение 6-12 часов. Одновременно с охлаждением происходит досушивание зерна до кондиционной влажности. Существенным отличием технологии "супердрай" является то, что после сушки зерна при высокой температуре без его охлаждения до влажности, превышающей кондиционную на 1,5-2%, зерно вновь нагревают примерно до 60°С, последующие действия аналогичны технологии драйаэрайшн [69].

По данным фирмы Omnia, производительность сушилок на зерне кукурузы при технологии "супердрай" увеличивается до 40 %, а затраты топлива и электроэнергии уменьшаются до 30 %.

Сравнительные исследования путей экономии теплоты при различных способах сушки, проведенные Голубковичем А.В. Чижиковым А.Г. [62] показывают: что 2...3 % экономии теплоты можно достичь от теплоизоляции, герметизации; 20 % при отказе от теплообменников; утилизацией тепла отработавшего теплоносителя и охлаждающего воздуха достигается 60 % экономии; рециркуляцией - 10 %; комбинированной сушкой - до 25%. Автоматизация процесса сушки обеспечивает дополнительное снижение энергоемкости процесса на 3-5%.

Сравнительные исследования путей экономии теплоты при использовании различных способов сушки, проведенные В.Ф. Сорочинским [54] (таблица 1), указывают на то, что утилизация теплоты и насыщенного агента сушки с использованием специальных теплообменников и промежуточных теплоносителей позволяют повысить КПД сушиллки до 77,5 %.

Таблица 1

Перспективы экономии топлива по Сорочинскому В.Ф.

№	Перспективы экономии топлива	Снижение затрат тепла, %	КПД, %	Удельные затраты, кДж/кг.исп.вл.
1	Сушка в сушилке периодического действия		37,5	6700
2	Сушка в прямоточной сушилке	10,7	42	5985
3	Отказ от теплообменника и переход на сушку с прямым нагревом сушильного агента	14,5	49,2	5110
4	Сушка в прямоточной сушилке с утилизацией насыщенного влагой отработавшего агента сушки, выходящего из нижней части сушильных зон		56,9 (при наличии тепло-обменника 50-52)	4418
5	Двухстадийная сушка с применением активного вентилирования при мед-	20	61,5	4090

	ленном охлаждении зерна в вентилируемых бункерах, охладителях непрерывного действия, хранилищах по методу драэрации			
6	Прямой нагрев сушильного агента в сочетании с методом драэрации и утилизацией отработавшего агента сушки	33,5	73,9	3400
7	Утилизация теплоты насыщенного агента сушки с использованием специальных теплообменников и промежуточных теплоносителей		77,5	3244

Каждый из перечисленных способов имеет различное влияние на совершенствование технологии сушки зерна и снижение энергозатрат.

1.4 Устройства для повторного использования отработавшего агента сушки

Отмечено, что перевод зерносушилок на работу с рециркуляцией отработавшего агента сушки является одним из эффективных подходов к снижению затрат тепловой энергии на единицу удаляемой влаги. Рециркуляция позволяет использовать часть отработавшего тепла для предварительного подогрева воздуха перед его впуском в сушилку [55].

Систематизация основных решений по рациональному использованию отработавшего агента сушки приведена на (рис. 1.4) [56].



Рисунок 1.4 - Варианты рециркуляции отработавшего агента сушки

Устройства для повторного использования отработавшего агента сушки становятся все более распространенными и все чаще внедряются в производ-

ство. Применение таких систем, как частичная утилизация теплоты отработавшего сушильного агента, может значительно улучшить энергоэффективность процесса сушки не только зерновых культур, но и семян трав.

Частичная утилизация теплоты отработавшего сушильного агента нашла применение в сушилках отечественного производства таких как: «Целинная – 30», А1-УЗМ-50 и др. осуществляется Примером успешной реализации данного подхода является сушильный агрегат С-30 от ЗАО «Агропромтехника» г. Киров. При использовании системы рециркуляции отработавшего сушильного агента и герметизации сушилки, он позволяет снизить расход топлива на 30% по сравнению с аналогами [58].

Интересным вариантом является колонковая сушилка фирмы "Картер-Дей", которая представляет собой отличный пример использования рециркуляции агента сушки. В данной сушилке агент сушки проходит последовательно через три секции шахты: в начале процесса в нижней секции шахты с максимально возможной температурой происходит удаление влаги из материала; затем агент остывает и возвращается обратно к наиболее сырой массе для просушки. Однако, стоит отметить, что в описанной схеме сушки используется лишь частичная рециркуляция агента, поскольку часть отработанного агента, после прохождения через все три секции шахты, выбрасывается в атмосферу [58].

Сушилки шведской фирмы "Свенска Флактфабрикен" представляют собой еще один пример эффективного использования воздуха и теплоносителя в процессе сушки материалов. Процесс рециркуляции осуществляется следующим образом: наружный воздух у этой шахтной сушилки просасывается вентилятором вначале через нижнюю охлаждающую камеру, затем, подогреваясь паровыми калориферами первой ступени, просушивает нижнюю сушильную камеру. Несколько увлажнившись и потеряв температуру, теплоноситель снова подвергается подогреву в калориферах второй ступени и направляется

на сушку в верхнюю сушильную камеру, эта схема позволяет легко регулировать необходимую температуру агента сушки и поддерживать его влагопоглощающую способность [58].

Французская фирма «LAW» представила зерносушилку с системой рекуперации тепла. Принцип работы основывается на том, что перед выбросом отработавшего агента сушки он проходит через теплообменник, где отдает часть своей теплоты гликолиевой воде, подогретая вода направляется в другой теплообменник, который находится по пути прохождения наружного воздуха, тем самым частично подогревается и снижает затраты [52].

Колесов Л.В., Андрианов Н.М., Гущинский А.Г., Александров Н.В., предлагают способ сушки зерна в сушильных установках шахтного типа, при котором повторно используется отработавший агент сушки. Для реализации данного способа изобретено устройство, целью которого является повышение экономичности процесса сушки за счет увеличения его теплового КПД. Цель достигается тем, что отработанный сушильный агент разделяют на два потока, из которых один, составляющий 65...70% от полного потока отводят из верхней части шахты и направляют на предварительный подогрев зерна, а другой составляющий 35...30% от полного потока, отбирают из нижней части шахты, очищают в фильтре очистки, смешивают с наружным воздухом, подогревают в теплогенераторе и снова подают в шахту. Таким образом достигается использование теплоты всего отработавшего сушильного агента [57].

При использовании данного способа на установках шахтного типа повышается эффективность использования тепловой энергии на 10-15% в сравнении с использованием тепловой энергии. Производительность процесса сушки повышается на 25...30%.

Аэрожелобная зерносушилка СЗША-4 работает по принципу того, что отработавший агент сушки через окна в стенках шахты поступают в систему рециркуляции с помощью вентилятора для повторного использования. Проходя через систему, агент очищается от легких примесей в циклоне и подается

для повторного подогрева в теплогенератор. Контроль за кратностью использования (рециркуляцией) осуществляется по его относительной влажности и температуре на выходе из сушильной камеры при помощи мультиметра с чувствительным элементом, установленным в клапан-смеситель (расположенный между циклоном и теплогенератором). В случае достижения отработавшим агентом сушки значений относительной влажности и температуры, превышающих допустимые пределы, автоматически включается в работу клапан –смеситель, установленный на обратном трубопроводе и отработавший агент сушки смещивается с наружным воздухом. Снижение удельных энергозатрат на испарение влаги и привод вентилятора при данном способе достигает 18-20%, автоматизация обеспечивает дополнительное снижение 3-5% [56].

1.5 Анализ работ, направленных на теоретический анализ эффективности повторного использования агента сушки

М.С. Волхонов в своей работе «Обоснование эффективности применения рециркуляции сушильного агента» выносит определенные заключения:

- Значительной экономии энергии на сушку (до 27,9%) возможно добиться при двух-четырёх кратном повторном использовании сушильного агента.

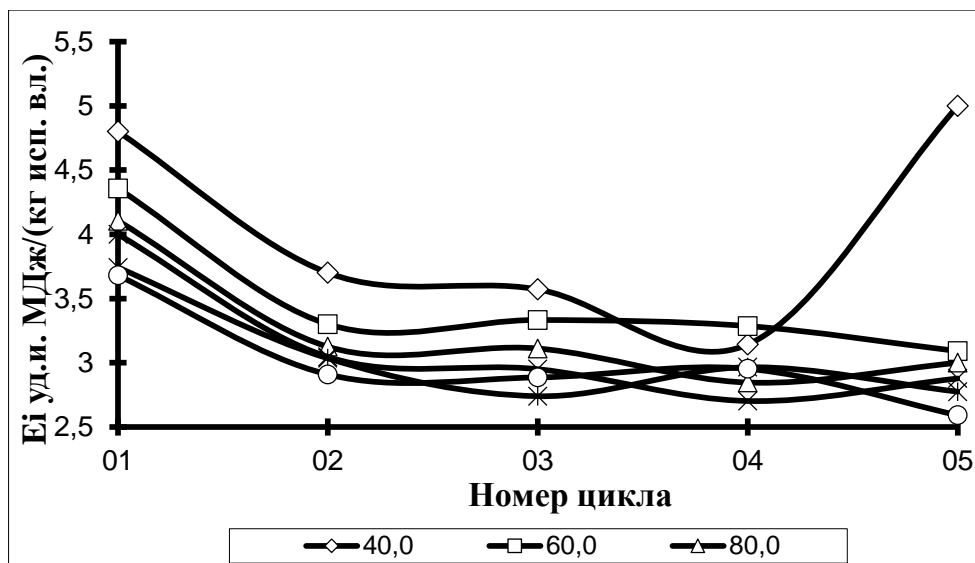


Рис.1.5 - Графические зависимости между расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента при различной температуре его нагрева

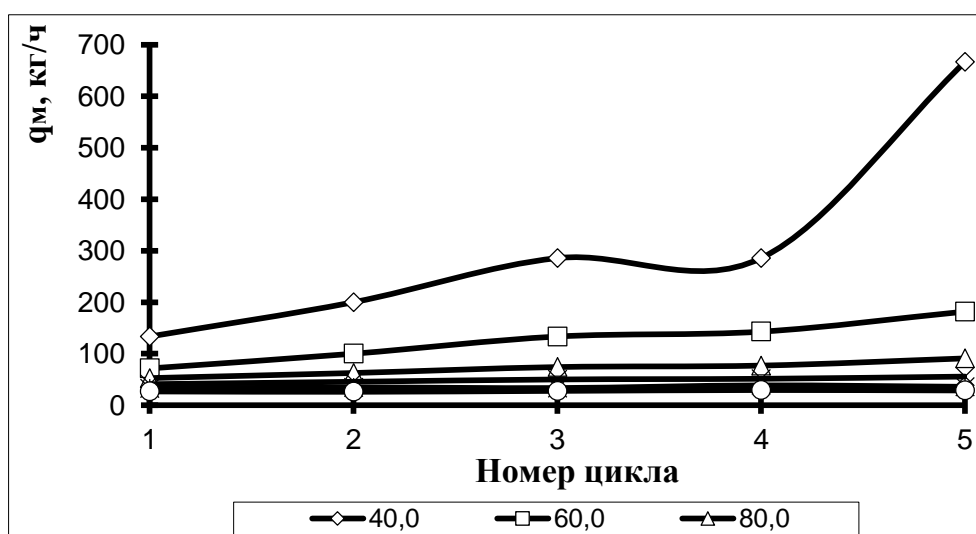


Рис. 1.6 – Необходимый удельный массовый расход сушильного агента по циклам при различной температуре его нагрева

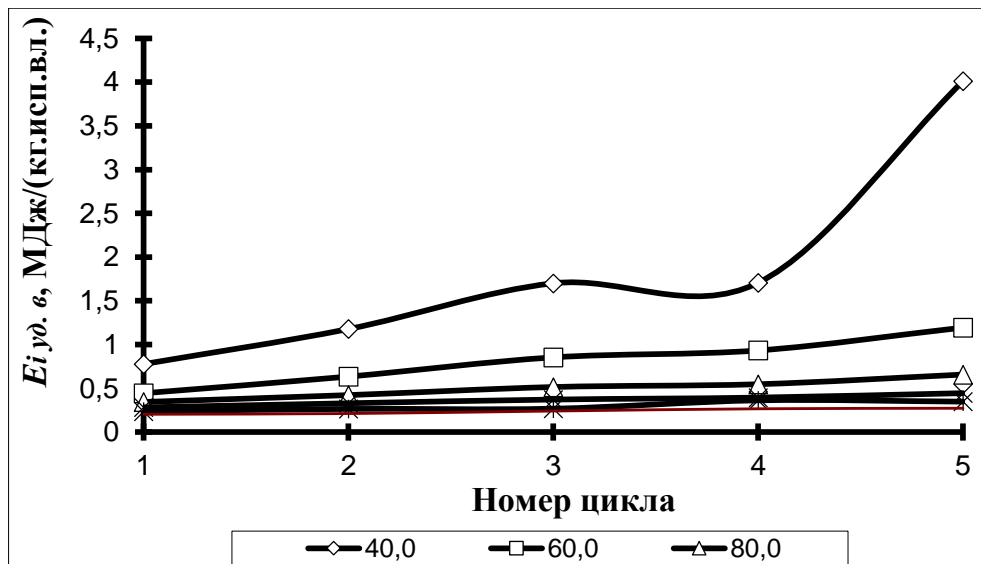


Рисунок 1.7 – Удельные энергозатраты на привод вентилятора по циклам при различной температуре нагрева сушильного агента

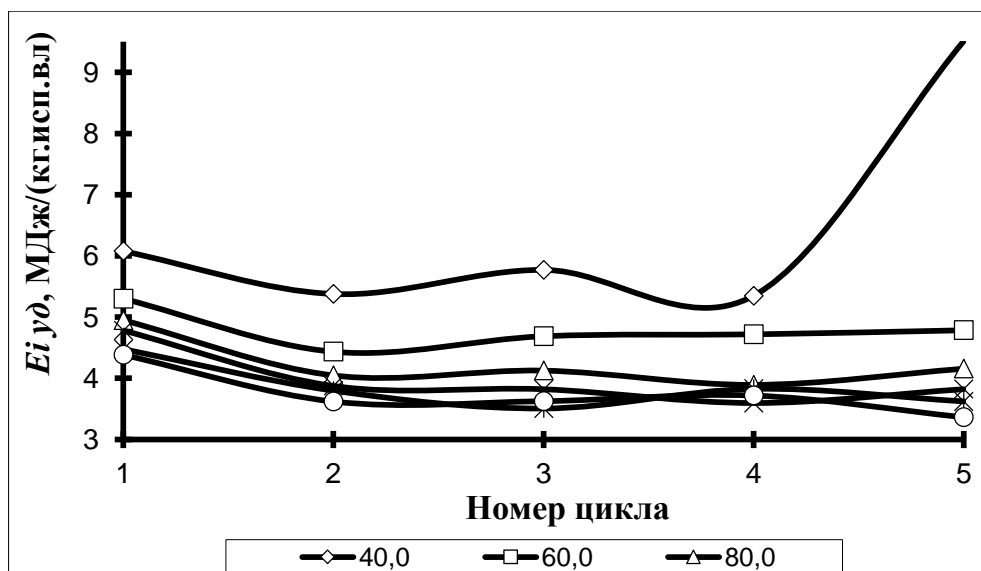


Рисунок 1.8 – Удельные энергозатраты (суммарные) на испарение влаги и привод вентилятора по циклам

- Экономичность сушки и эффективность повторного использования воздуха улучшается с увеличением температуры агента сушки и может достигать 52,2%;

- удельные энергозатраты на сушку незначительно увеличиваются – на 0,2...0,4 МДж/(кг.исп.вл) при увеличении расхода воздуха на сушку для температур его нагрева от 80 °С и выше, и наоборот, значительно возрастают с ростом потребного давления с 0,5 до 3 кПа от 0,7 до 1,9 МДж/(кг.исп.вл);

- контроль за кратностью использования сушильного агента следует осуществлять по относительной влажности агента сушки и его температуре на выходе из сушильной камеры с использованием H-d диаграммы тепловлажностного состояния воздуха.

В другой работе по обоснованию эффективности рециркуляционного агента сушки авторы Волхонов М.С. и Зырин И.С. утверждают, что наибольшая эффективность рециркуляции агента сушки может быть достигнута применением автоматического управления процессом рециркуляции, для осуществления которого необходимо установить зависимости параметров этого процесса от параметров состояния наружного воздуха, агента сушки и материала, подвергаемого сушке.

Сделаны важные выводы:

- коэффициент рециркуляции агента сушки зависит от параметров атмосферного воздуха, отработавшего агента сушки и температуры материала в начале сушки;

- эффективность рециркуляции определяет показатель η_p – теплотехническая эффективность рециркуляции, но действие этого показателя ограничивает условие конденсации $d_2 > d_1$, при выполнении которого целесообразна частичная рециркуляция;

- увеличение теплотехнической эффективности рециркуляции способствует увеличению температуры материала в начале сушки.

1.6 Выводы по разделу

1. Из вышеперечисленных методов сушки зерна в хозяйственной практике широко применяются: конвективная (воздушно-газовая и воздушная) сушка на установках для активной вентиляции зерна, в зерносушилках и в специальных металлических силосах, редко силосах элеваторов для любых регионов страны; солнечная сушка на зернотоках хозяйств в районах с соответствующим климатом.

2. Полученные результаты исследования указывают на возможные направления совершенствования конструкций передвижных зерновых сушилок:

- сегодня мало производителей зерновых сушилок реализуют принцип повторного использования отработавшего агента сушки, который является наиболее перспективным с точки зрения совершенствования конструкции;

- другим направлением совершенствования передвижных зерновых сушилок является обеспечения автоматизации процесса сушки;

- при разработке современных конструкций передвижных сушилок особое внимание следует уделить визуализации процесса сушки.

3. Коэффициент рециркуляции агента сушки зависит от параметров атмосферного воздуха, отработавшего агента сушки и температуры материала в начале сушки;

- эффективность рециркуляции определяет показатель η_p – теплотехническая эффективность рециркуляции, но действие этого показателя ограничивает условие конденсации $d_2 > d_1$, при выполнении которого целесообразна частичная рециркуляция;

- увеличение теплотехнической эффективности рециркуляции способствует увеличению температуры материала в начале сушки.

2 **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО АГЕНТА СУШКИ**

2.1 **Обоснование комплексного показателя совершенства конструкции сушилки**

Проведенный анализ конструкций и технико-экономических показателей зерносушилок позволил пересмотреть содержание таблицы [14].

Для составления таблицы (приложение Г) с наиболее полными и актуальными данными были рассчитаны технико-экономические показатели сушилок: удельная металлоёмкость, удельная стоимость, удельный расход теплоты в пересчете на плановые тонны в час в соответствии с требованиями ГОСТ [15]. Формулы для расчета приведены в таблице (таблица 2).

Таблица 2
Формулы для расчета удельных технико-экономических показателей сушилок

Название характеристики	Формула	Входящие величины	Единица измерения
Удельная металлоёмкость	$M_{уд} = \frac{m}{Q_T}$,	m - масса сушилки, т; Q _T - производительность, пл. т/ч	(т·ч)/ пл. т
Удельная стоимость	$C_{уд} = \frac{C}{Q_T}$,	C - стоимость зерносушилки, млн. руб.; Q _T - производительность, пл. т/ч.	млн. руб·ч.)/ пл. т
Удельный расход теплоты	$Q = \frac{B \cdot q}{W_{1-3}}$,	B - количество условного топлива, кг; q - удельная теплота сгорания дизельного топлива, МДж/кг; W ₁₋₃ количество испаренной влаги, кг/ч.	(МДж·ч)/ кг.исп.вл.

Проведенный анализ технико-экономических показателей зерносушилок убеждает в целесообразности поиска обобщенной характеристики, которая позволила бы упростить выбор сушилки по этим показателям. Поэтому для оценки эффективности передвижной зерновой сушилки предлагается ввести–

«комплексный показатель совершенства конструкции сушилки», который учитывает как удельную металлоемкость, так и удельный расход теплоты:

$$K_p = M_{уд} \cdot Q, \quad (2.4)$$

где K_p – комплексный показатель совершенства конструкции сушилки, (МДж·т·ч) / (пл. т · кг. исп. вл.);

$M_{уд}$ – удельная металлоёмкость, (т·ч)/пл. т;

Q – удельный расход теплоты, (МДж·ч)/кг.исп.вл.

Данные формулы использованы для расчета технико-экономических показателей передвижных зерносушилок и занесены в таблицу (см. результаты исследования, приложение Г), содержание данной таблицы позволяет проводить сравнение технико-экономических показателей передвижных зерносушилок, анализировать их эффективность. Рассчитанные технико-экономические показатели удельной металлоемкости, удельной стоимости, удельного расхода тепла характеризуют совершенство конструкции и технологической схемы, эффективность работы выпускаемых в мире сушилок. Расчеты проводились без приведения к нормальным условиям и без учета электроэнергии на привод рабочих органов. Данные характеристики позволяют обоснованно подойти к выбору и покупке передвижной зерновой сушилки.

Значения комплексного показателя совершенства конструкции сушилки и удельной стоимости сушилок являются разнопорядковыми элементами, которые необходимо одновременно учитывать при их покупке. Для наглядности и облегчения выбора передвижных сушилок предлагается использовать графическое представление данных показателей эффективности (см. рис.2.1).

Так, например, задавая один параметр, с помощью графика можно определить диапазон возможных решений по второму параметру.

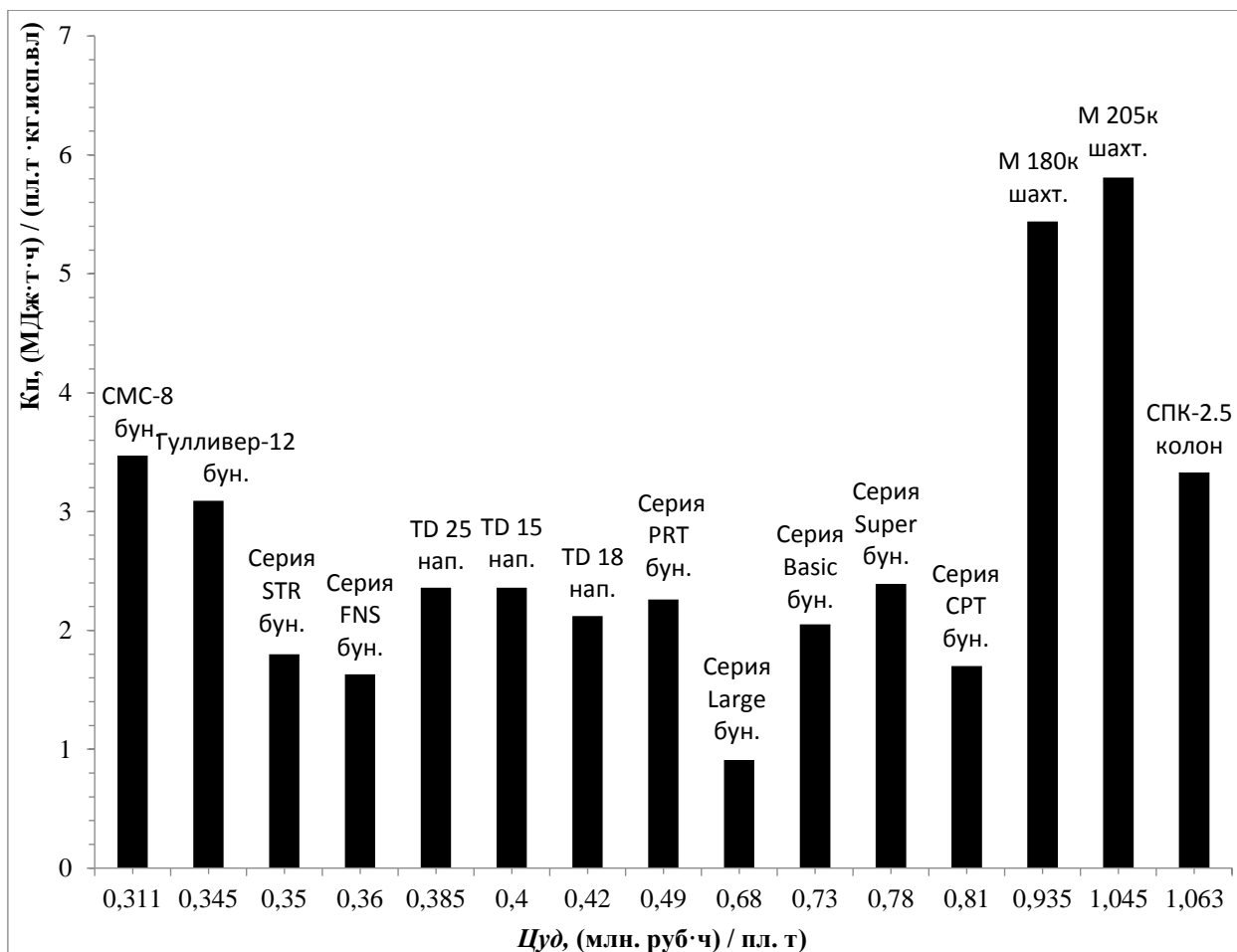


Рис. 2.1 – Графическое представление показателей эффективности передвижных сушилок. *бун.*-бункерный тип сушилки; *нап.* - напольный тип сушилки; *колон.* - колонковый тип сушилки; *шахт.* - шахтный тип сушилки

2.2 Разработка конструкции и схемы работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

Нами создано аэродинамического устройство для сушки сыпучих материалов, относящееся к сельскохозяйственному машиностроению, а именно к устройствам для приема, временного хранения, вентилирования, подсушки и транспортирования сыпучих материалов [86].

Прототипом предлагаемого изобретения послужило устройство для вентилирования и транспортирования зернового вороха, собранного по каркасно-тканевой технологии [87].

Предлагаемое изобретение направлено на повышение качества вентилирования, подсушки и сушки зернового вороха, снижение энергоемкости процесса, запыленности рабочей зоны, путем применения системы рециркуляции отработавшего агента сушки.

Поставленная задача решается тем, аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов содержащее аэрожелоб, разделенный грузонесущей перфорированной перегородкой на воздухоподводящую и транспортирующую части, представляющий собой каркас, обтянутый тканью, внешние стенки аэрожелоба и центральный воздухораспределительный канал изготовлены из воздухонепроницаемой и водоотталкивающей ткани, а внутренние боковые стенки из ткани для сит, отличающееся установленной системой рециркуляции отработавшего агента сушки состоящей из сдвижного зонта с загрузочным отверстием, пылеулавливающего устройства, клапана смесителя, а также вентилятора аспиратора, обеспечивающего режим аспирации.

Предлагаемая конструкция аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов за счет отличительных признаков обеспечивает решение поставленной задачи повышения качества вентилирования, подсушки, снижения энергоемкости процесса, запыленности рабочей зоны. Устройство может быть установлено на раму с колесами для его транспортирования и использования в нескольких сельскохозяйственных предприятиях.

Конструкция аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов поясняется рисунками 2.2 и 2.3. Рисунками 2.4, 2.5, 2.6 поясняются режимы работы клапана-смесителя системы рециркуляции отработавшего агента сушки. На рис. 2.2 представлен общий вид аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов. На рис. 2.3 представлены дополнительные виды аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов. На рис. 2.4 представлен клапан-смеситель в режиме рециркуляции. На рис. 2.5 представлен клапан-смеситель в режиме смешивания. На рис. 2.6 представлен клапан-смеситель в режиме смены теплоносителя.

Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов включает в себя топочный блок 4, вентилятор 1 (рис. 2.2, 2.3), соединенный с устройством для вентилирования и транспортирования зернового вороха посредством распределяющего воздухоподводящего патрубка 2. Аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов оснащено сдвижным зонтом 6 с загрузочным отверстием 11. Сдвижной зонт выполнен из металлического каркаса состоящий из вертикально изогнутых звеньев 9 обтянутых тканью. Наличие отверстия 10 в крайнем изогнутом звене, позволяет присоединить вплотную к сдвижному зонту пылеулавливающее устройство 5, соединенное с вентилятором аспиратором 8, который в свою очередь соединяется с клапаном смесителем 3.

Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов работает следующим образом (рис. 2.2 и 2.3):

-в случае отсутствия загрузочной норрии сдвижной зонт 6 сдвигается в сторону пылеулавливающего устройства 5, зерно загружается сверху в аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов на грузонесущую перфорированную перегородку 18, затем зонт сдвигается в исходное положение, фиксируется герметично;

-в случае наличия загрузочной норрии зерно загружается через загрузочное отверстие 11, затем закрывается герметично. Включается вентилятор 1, при этом агент сушки, проходящий через зерно, подогревая и отбирая поверхностную

влагу, выходит из него в надсушильное пространство, созданное сдвижным зонтом 6, откуда проходя через пылеулавливающее устройство 5 высасывается вентилятором аспиратором 8 и направляется в клапан смеситель 3, который в свою очередь частично или полностью распределяет отработавший агент сушки. В зависимости от положения поворотной заслонки 15, «режим рециркуляции» (рис. 2.4), отработавший агент сушки может быть полностью или частично направлен на повторное использование, либо полностью выброшен в атмосферу через патрубок 12 «режим смены теплоносителя» (рис. 2.5). В режиме «смешивание» (рис. 2.6), смесь частично отработавшего агента сушки и наружного воздуха вентилятором 1 (рис. 2.2) подается в теплогенератор 4 и далее в аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов 7. Неподвижная заслонка 13, перекрывающая камеру смешивания 14 между патрубками подвода наружного воздуха и отработавшего агента сушки, обеспечивает точное и необходимое соотношение частично отработавшего агента сушки и наружного воздуха. Положение поворотного клапана зависит от температуры и влагосодержания отработавшего агента сушки, подаваемого в камеру смешивания, и наружного воздуха и может устанавливаться вручную или с помощью автоматической системы управления. По окончании процесса вентилирования или подсушки зерна, для осуществления его выгрузки из аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов, открывается шиберная заслонка 16 (рис. 2.3) выпускного лотка 17, подача воздуха осуществляется только под грузонесущую перегородку 18 и происходит выгрузка высушенного зерна.

Конструкция аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов за счет применения системы рециркуляции отработавшего агента сушки обеспечит, значительное снижение энергоемкости процесса, снижение запыленности рабочей зоны. Применение вентилятора аспиратора обеспечивает снижение потерь подогретого воздуха через неплотности сушильной камеры, надежное смещение материала вдоль грузонесущей перегородки при его разгрузке, надежное удаление легких примесей, пыли.

Формула изобретения

ИАэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов содержащее аэрожелоб, разделенный грузонесущей перфорированной перегородкой на воздухоподводящую и транспортирующую части, представляющий собой каркас, обтянутый тканью, внешние стенки аэрожелоба и центральный воздухораспределительный канал изготовлены из воздухонепроницаемой и водоотталкивающей ткани, а внутренние боковые стенки из ткани для сит, с установленной системой рециркуляции отработавшего агента сушки состоящей из сдвижного зонта с загрузочным отверстием, пылеулавливающего устройства, клапана смесителя, а также вентилятора аспиратора, обеспечивающего режим аспирации.

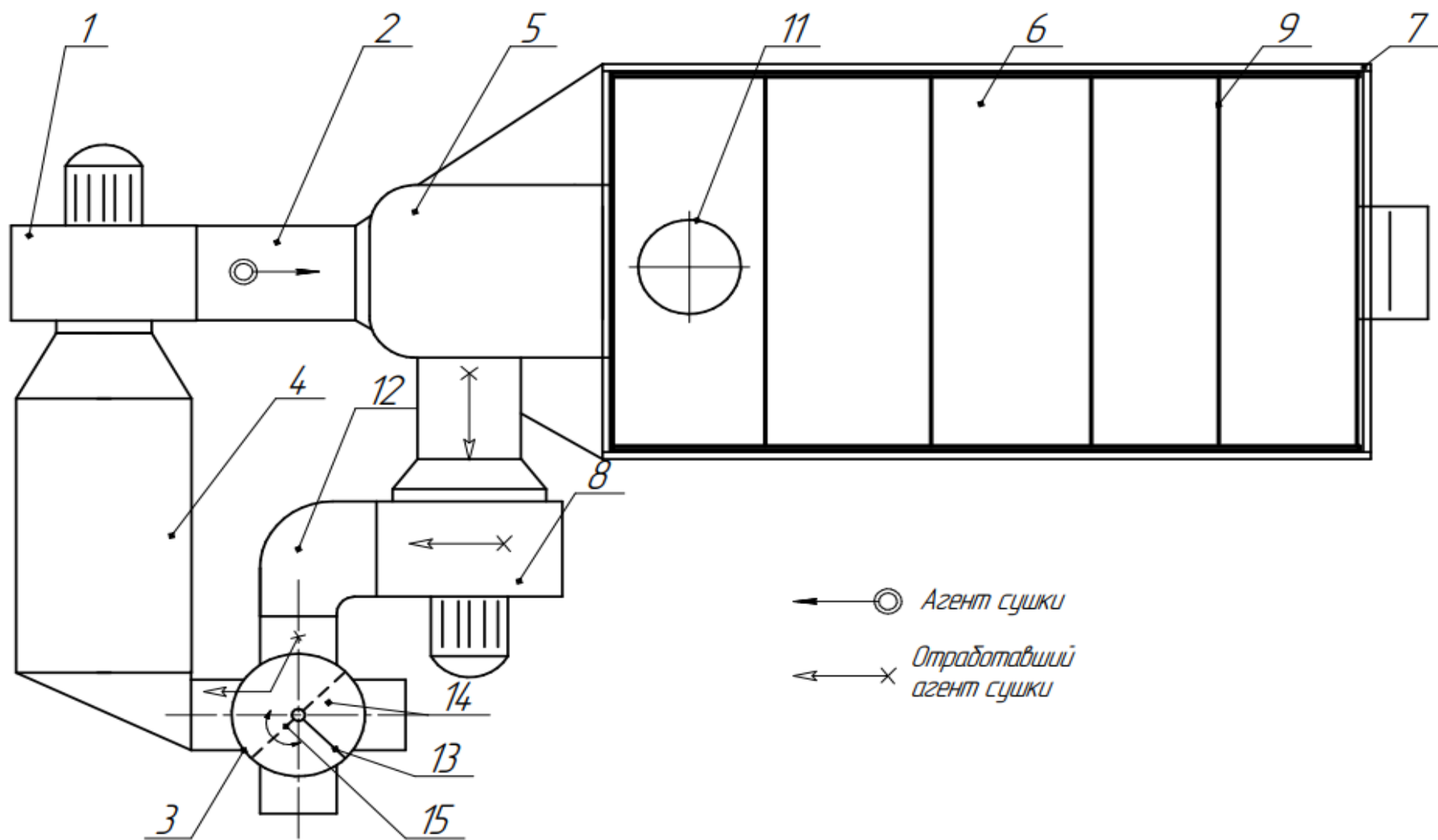


Рис. 2.2 Общий вид аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

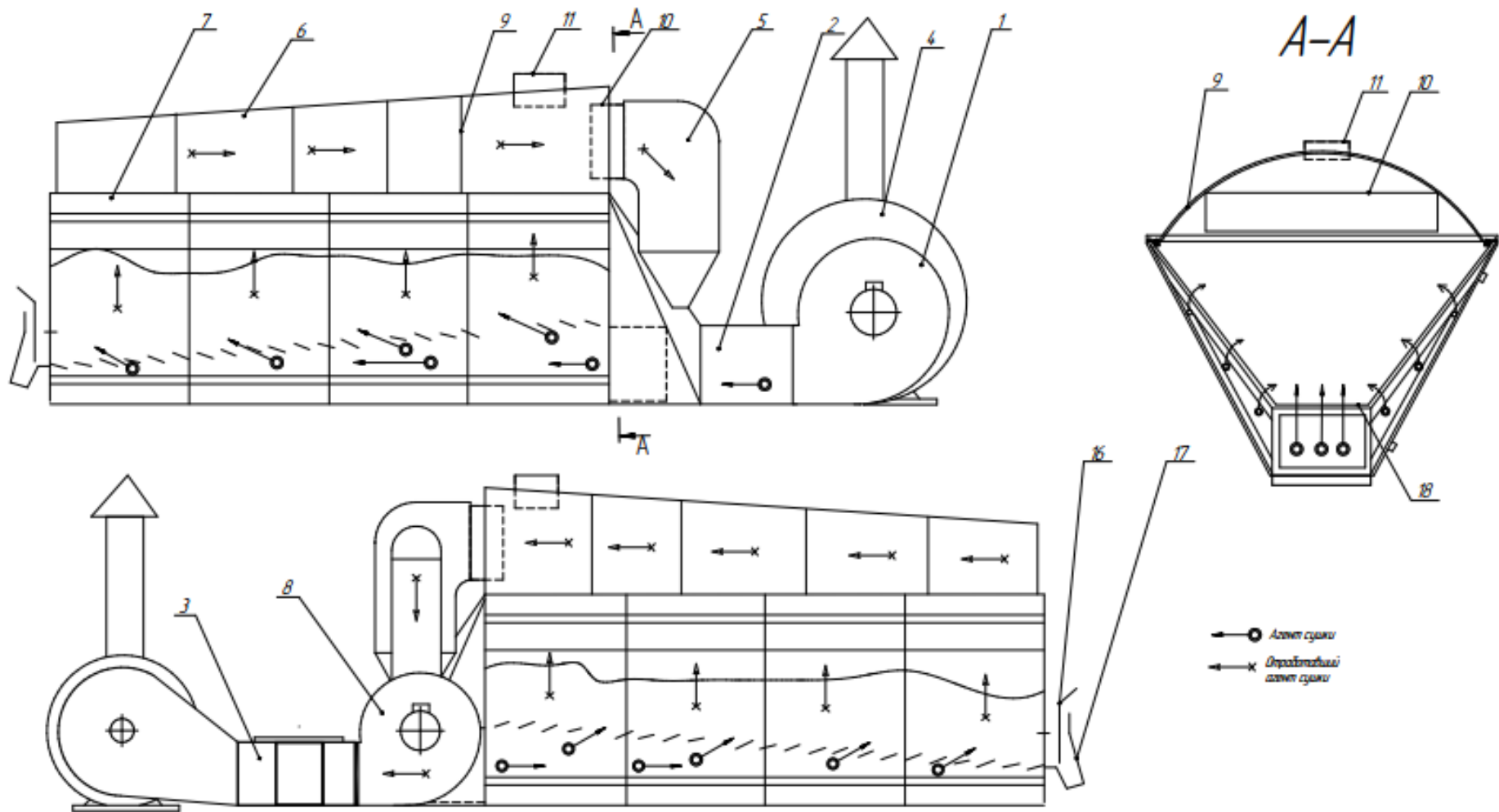


Рис. 2.3 Дополнительные виды аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

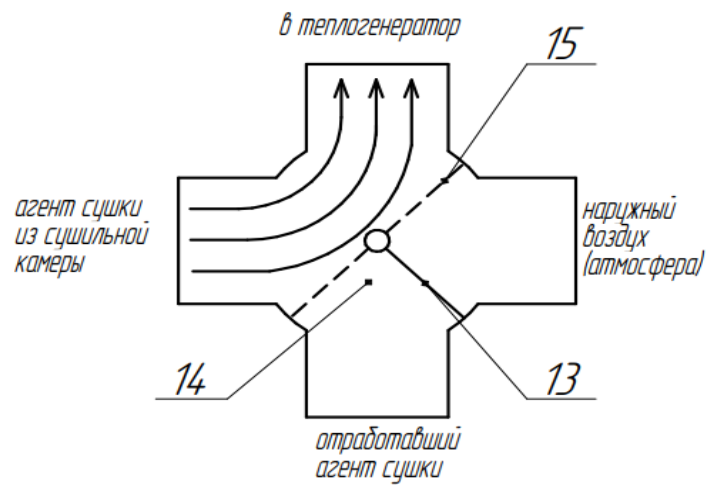


Рис. 2.4 Клапан-смеситель в режиме рециркуляции отработавшего агента сушки

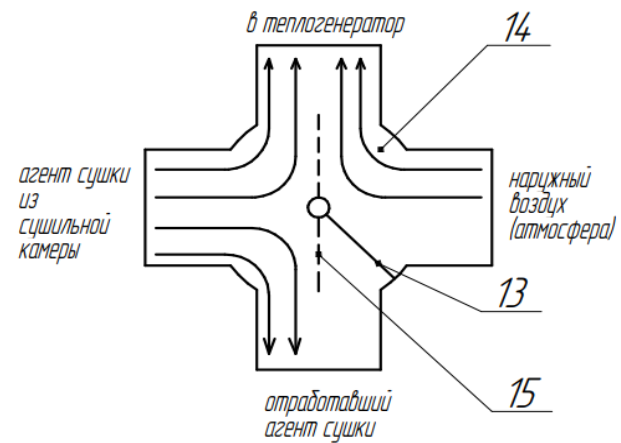


Рис. 2.5 Клапан-смеситель в режиме смешивания

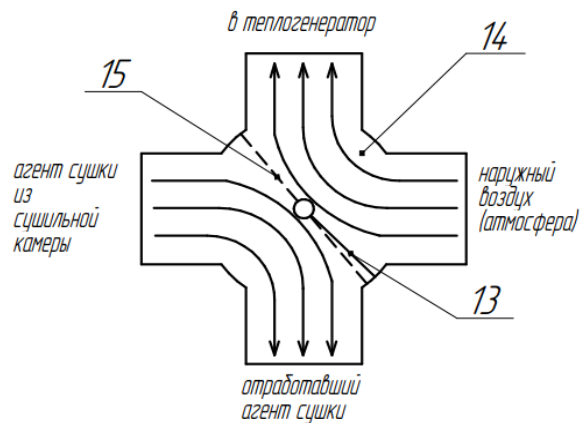


Рис. 2.6 Клапан-смеситель в режиме смены теплоносителя

2.3 Теоретическое обоснование теплотехнической эффективности рециркуляции сушильного агента при постоянном подмешивании свежего воздуха. Обоснование рациональных режимных параметров работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

В настоящее время в российском и зарубежном зерносушении уже существует опыт использования теплоты отработавшего агента сушки. Исследователи отмечают, что до 60% всех непроизводительных затрат теплоты в зерносушилках могут быть компенсированы за счет повторного использования этой теплоты. Однако в России до недавнего времени не было данных о возможности повторного использования отработавшего агента сушки. Известно, что тепловой потенциал отработавшего агента сушки выбрасываясь в атмосферу не используется в полной мере. При теоретическом обосновании эффективности применения рециркуляции сушильного агента и количества циклов его использования Волхонов М.С. [55] утверждает, что «максимальную экономию энергии на сушку возможно добиться при двух-четырёхкратном повторном использовании без подмешивания свежего воздуха в замкнутой системе».

Для графического представления схемы и режимов работы системы рециркуляции отработавшего агента сушки, примем условные обозначения:

ω_0 - начальная влажность зерна, %;

τ_0 – начальная температура зерна, °С;

t_0 - температура наружного воздуха, °С;

φ_0 - относительная влажность наружного воздуха, %;

d_0 - влагосодержание наружного воздуха, г/кг с.в.; H_0 –энтальпия наружного воздуха, кДж/кг;

ω_1 – влажность зерна в режиме рециркуляции агента сушки, %;

τ_1 - температура зерна в режиме рециркуляции агента сушки, °С;

ω_2 – влажность зерна в режиме рециркуляции агента сушки с подмешиванием наружного воздуха, %;

t_2 – температура зерна в режиме рециркуляции агента сушки с подмешиванием наружного воздуха, °С;

t_1 – температура агента сушки после подогрева в теплогенераторе, °С;

φ_1 – относительная влажность агента после подогрева в теплогенераторе, %;

d_1 – влагосодержание после подогрева в теплогенераторе г/кг с.в.;

H_1 – энтальпия после подогрева в теплогенераторе, кДж/кг;

t_2 – температура агента сушки после пропуска через зерно в режиме полной смены агента сушки, °С;

φ_2 – относительная влажность агента сушки после пропуска через зерно в режиме полной смены агента сушки, %;

d_2 – влагосодержание агента сушки после пропуска через зерно в режиме полной смены агента сушки, г/кг с.в.;

H_2 – энтальпия агента сушки после пропуска через зерно в режиме полной смены агента сушки, кДж/кг;

t_3 – температура агента сушки в режиме рециркуляции (без подмешивания наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, °С;

φ_3 – относительная влажность агента сушки при рециркуляции (без подмешивания наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, %;

d_3 – влагосодержание агента сушки при рециркуляции (без подмешивания наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, г/кг с.в.;

H_3 – энтальпия агента сушки при рециркуляции (без подмешивания наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, кДж/кг;

t_4 – температура агента сушки после повторного пропуска через зерно, °С;

φ_4 – относительная влажность агента сушки после повторного пропуска через зерно, %;

d_4 - влагосодержание агента сушки после повторного пропуска через зерно, г/кг с.в.;

H_4 -энтальпия агента сушки после повторного пропуска через зерно, кДж/кг;

t_5 - температура агента сушки при рециркуляции (подмешивании наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, °С;

φ_5 - относительная влажность агента сушки при рециркуляции (подмешивании наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, %;

d_5 - влагосодержание агента сушки при рециркуляции (подмешивании наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, г/кг с.в.;

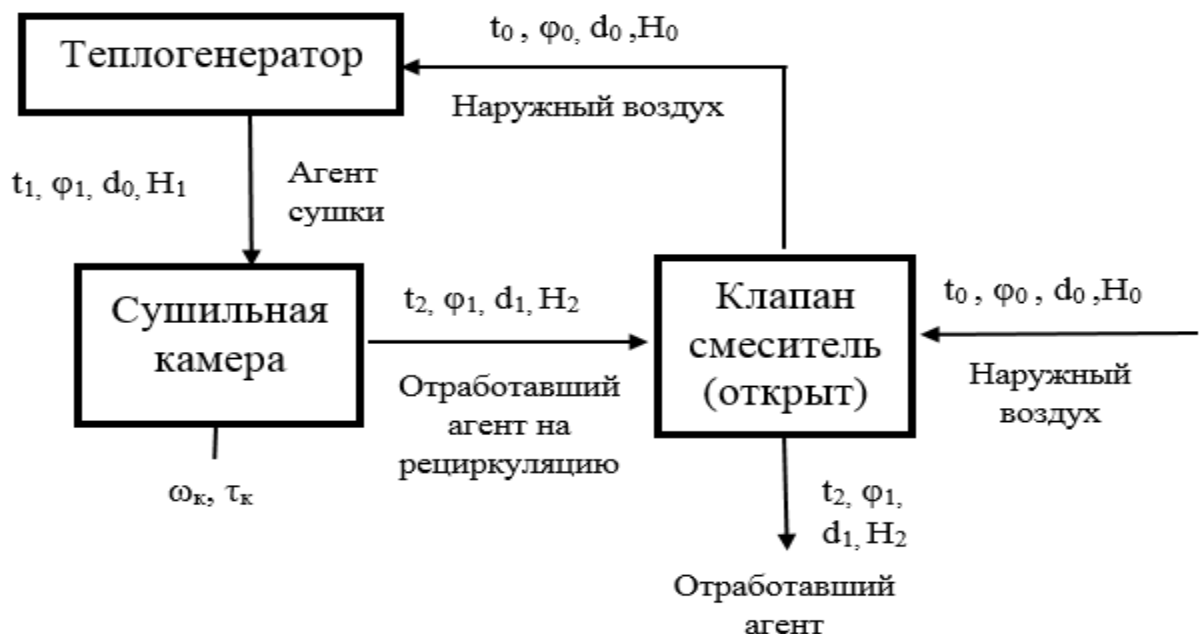
H_5 -энтальпия агента сушки при рециркуляции (подмешивании наружного воздуха) после пропуска через теплогенератор, кДж/кг;

t_6 - температура агента сушки после 3 пропуска через зерно, °С;

φ_6 - относительная влажность агента сушки после 3 пропуска через зерно, %;

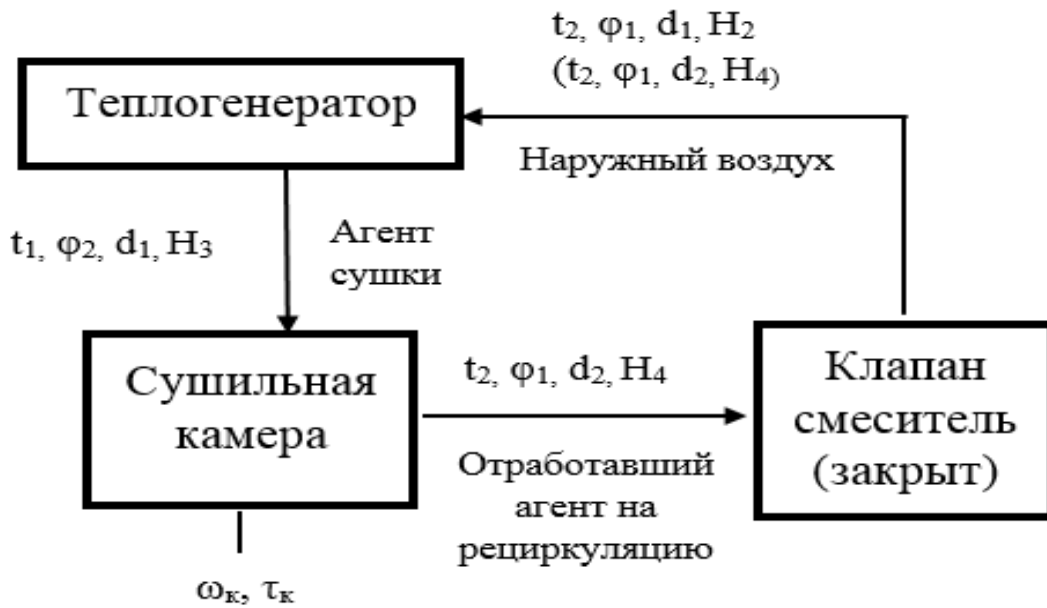
d_6 - влагосодержание агента сушки после 3 пропуска через зерно, г/кг с.в.;

H_6 -энтальпия агента сушки после 3 пропуска через зерно, кДж/кг.



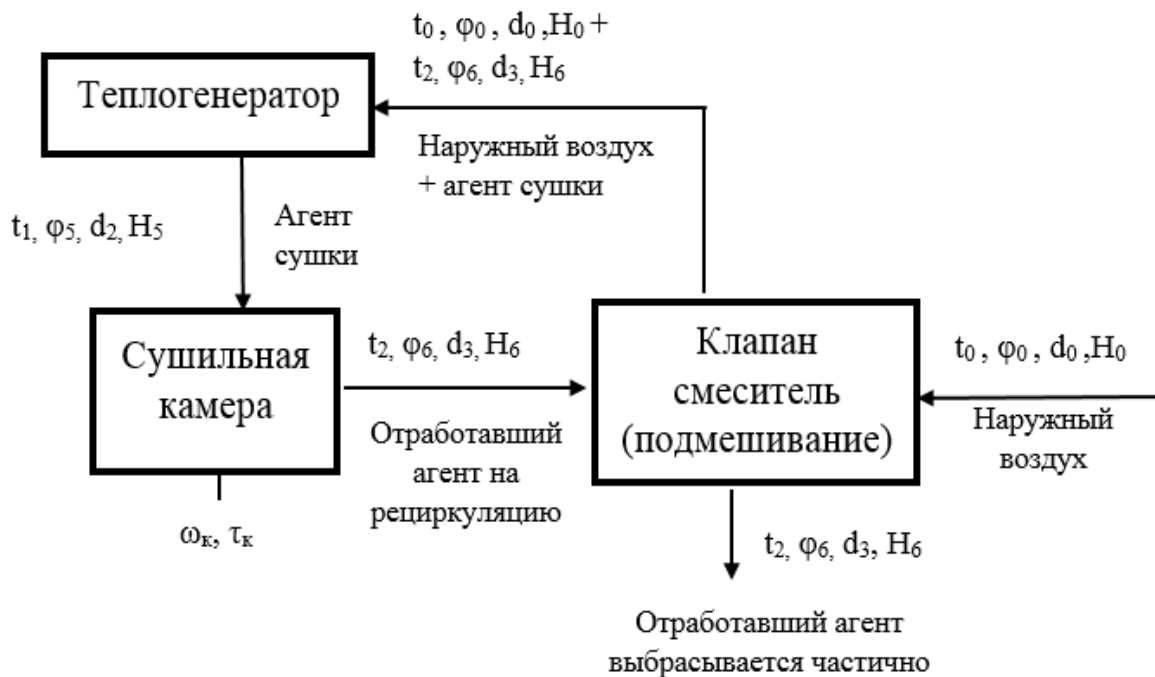
t, φ, d, H - соответственно температура, относительная влажность, влагосодержание и энтальпия воздуха; ω, τ - влажность и температура зерна

Рис 2.7. Режим работы тепловентиляционной системы при полной смене агента сушки.



t, φ, d, H - соответственно температура, относительная влажность, влагосодержание и энтальпия воздуха; ω, τ – влажность и температура зерна

Рис.2.8 Режим работы тепловентиляционной системы при рециркуляции агента сушки.



t, φ, d, H - соответственно температура, относительная влажность, влагосодержание и энтальпия воздуха; ω, τ – влажность и температура зерна.

Рис. 2.9 Режим работы тепловентиляционной системы при рециркуляции агента сушки с подмешиванием наружного воздуха

Рассчитанные показатели в замкнутой системе послужат основой для расчетов подмешивания свежего воздуха к отработавшему агенту сушки для рециркуляции.

Проведем графоаналитический анализ целесообразности подмешивания свежего воздуха при повторном использовании сушильного агента на основе диаграммы тепловлажностного состояния воздуха, разработанной профессором Л.К. Рамзиным.

Сделаем следующие допущения: агент сушки отработывается до 70% влажности; потери в окружающую среду отсутствуют (теоретический процесс). Расчетная схема приведена на рисунках 2.7, 2.8, 2.9 исходные данные для расчета в таблице 3.

Для каждого цикла (i) рассчитаем количество испаряемой влаги из сушильной камеры по известной зависимости:

$$W_{ck} = \frac{\omega_{i1} - \omega_{i2}}{100 - \omega_{i2}} \cdot W_1, \quad (2.5)$$

Нанесем на H-d диаграмме по 5 циклов (1 цикл - исходные значения без подмешивания, остальные 4 при постоянном подмешивании) линий нагрева и испарения при температуре нагрева сушильного агента 70°C и постоянном подмешивании 10% свежего воздуха (см. пример на рис.2.10).

Первый цикл (исходные значения без помешивания)

Входные параметры для 1 цикла:

Наружный воздух при температуре $t_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (согласно ОСТ 10 10.1-2002) и относительной влажности $\phi_0 = 70 \%$ (из исходных данных), - точка **A₁** на диаграмме: влагосодержание $d_0 = 4 \text{ г/кг с.в.}$; энтальпия $H_0 = 15,91 \text{ кДж/кг с.в.}$

Рабочие параметры для 1 цикла:

Нагрев воздуха в теплогенераторе при $d = const$ до температуры $t_1 = 70^\circ\text{C}$, - точка **V**₁ на диаграмме: влагосодержание $d_1 = 4 \text{ г/кг с.в}$; энтальпия $H_1 = 81,22 \text{ кДж/кг с.в}$. Сушка (испарение) в теоретическом процессе при $H = const$ до относительной влажности $\phi_2 = 70 \%$.

Выходные параметры для первого цикла:

На диаграмме точка **C**₁: влагосодержание $d_2 = 19,64 \text{ г/кг с.в}$; энтальпия $H_2 = 81,22 \text{ кДж/кг с.в}$.

Второй цикл (подмешивание)

Значения точки A₂ начального влагосодержания и энтальпии смеси будем определять по известным зависимостям [справочное пособие влажный воздух]:

$$d_3 = \frac{G_{c1} \cdot d_1 + G_{c2} \cdot d_2}{G_{c1} + G_{c2}}, \quad (2.6)$$

$$H_3 = \frac{G_{c1} \cdot H_1 + G_{c2} \cdot H_2}{G_{c1} + G_{c2}}, \quad (2.7)$$

где d_3 - влагосодержание смеси, г/кг с.в ;

H_3 – энтальпия смеси, кДж/кг с.в ;

G_c – количество сухого воздуха, кг (исходя из известных значений влагосодержания и энтальпии вместо количества сухого воздуха будем использовать процентное соотношение количества воздуха)

Рассчитаем влагосодержание и энтальпия начальной точки **A**₂:

$$d_0 = \frac{10\% \cdot 4 \frac{\text{г}}{\text{кгс. в.}} + 90\% \cdot 19,5 \frac{\text{г}}{\text{кгс. в.}}}{10\% + 90\%}, \quad (2.8)$$

$$H_3 = \frac{10\% \cdot 14 \frac{\text{кДж}}{\text{кг с. в.}} + 90\% \cdot 80 \frac{\text{кДж}}{\text{кг с. в.}}}{10\% + 90\%}, \quad (2.9)$$

Входные параметры для 2 цикла:

Наружный воздух при температуре $t_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (согласно ОСТ 10 10.1-2002) и относительной влажности $\phi_0 = 70 \%$ (из исходных данных), - точка **A₂** на диаграмме: влагосодержание $d_0 = 18,08 \text{ г/кг с.в.}$; энтальпия $H_0 = 75,76 \text{ кДж/кг с.в.}$

Рабочие параметры для 2 цикла:

Нагрев воздуха в теплогенераторе при $d = const$ до температуры $t_1 = 70^\circ\text{C}$, - точка **B₂** на диаграмме: влагосодержание $d_1 = 18,08 \text{ г/кг с.в.}$; энтальпия $H_1 = 118,27 \text{ кДж/кг с.в.}$ Сушка (испарение) в теоретическом процессе при $H = const$ до относительной влажности $\phi_2 = 70 \%$.

Выходные параметры для 2 цикла:

На диаграмме точка **C₂**: влагосодержание $d_2 = 30,87 \text{ г/кг с.в.}$; энтальпия $H_2 = 118,27 \text{ кДж/кг с.в.}$

По аналогии построим остальные три цикла для нагрева воздуха до 70°C .

Также построим по 5 циклов для нагрева агента сушки до температуры 40 и 100°C , при постоянном подмешивании 20, 30, 40 % свежего воздуха к части отработавшего агента сушки.

Далее по H-d диаграмме определим в каждом i-ом цикле входные и выходные параметры – влагосодержание, энтальпию (таблица А.1) и по зависимости 2.5.2 рассчитаем удельные энергозатраты $E_{i_{уд.и}}$, на испарение кг влаги из зерна

$$E_{i_{уд.и}} = \frac{(H_{i_2} - H_{i_0})}{d_{i_2} - d_{i_0}}, \quad (2.10)$$

Определим необходимый удельный массовый расход $q_{i_{уд.м}}$, кг/(кг.исп.вл) сушильного агента по циклам при различной температуре его нагрева

$$q_{i_{уд.м}} = \frac{1000}{d_{i_2} - d_{i_0}}, \quad (2.11)$$

Результаты расчетов приведены в таблице (приложение А).

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности повышения температуры и повторного использования всего сушильного агента до 2...3 циклов. Однако для обеспечения необходимой сушащей способности сушильного агента увеличение циклов его использования неизбежно приводит к росту удельного расхода сухого воздуха (рис. 2.13), особенно при температурах его нагрева 40 и 70 °С. Определим, как растут энергозатраты на создание дополнительного расхода агента сушки по циклам его использования.

Удельные энергозатраты на привод вентилятора $E_{i_{уд.в}}$, МДж/(кг.исп.вл.) (рисунок 2.25) в каждом цикле вычислим по зависимости

$$E_{i_{уд.в}} = \frac{N_{iв} \cdot k_э}{1000 \cdot W_{с.к.}}, \quad (2.12)$$

где $N_{iв}$ - мощность, требуемая на привод вентилятора в i -ом цикле, кВт;

$k_э$ - коэффициент тепловой эквивалентности, учитывающий затраты на производство и транспортировку электроэнергии к потребителю, кДж/(кВт·ч).

Согласно СТО АИСТ 10.1-2004 [26]

$$k_э = 10137 \text{ кДж/(кВт·ч)}.$$

$$N_{iв} = \frac{P \cdot Q_{iм} \cdot v_{iо}}{3600 \cdot \eta_в}, \quad (2.13)$$

где P – потребное давление, Па, принимаем $P=1000$ Па;

$v_{iо}$ - объем влажного воздуха на 1 кг сухого воздуха в i -ом цикле, м³/кг;

$\eta_в$ - КПД вентилятора, принимаем $\eta_в=0,44$.

Определим общий массовый расход сухого воздуха по циклам $Q_{им}$, кг/ч

$$Q_{им} = \frac{1000}{d_{i_2} - d_{i_0}} \cdot W_{ск}, \quad (2.14)$$

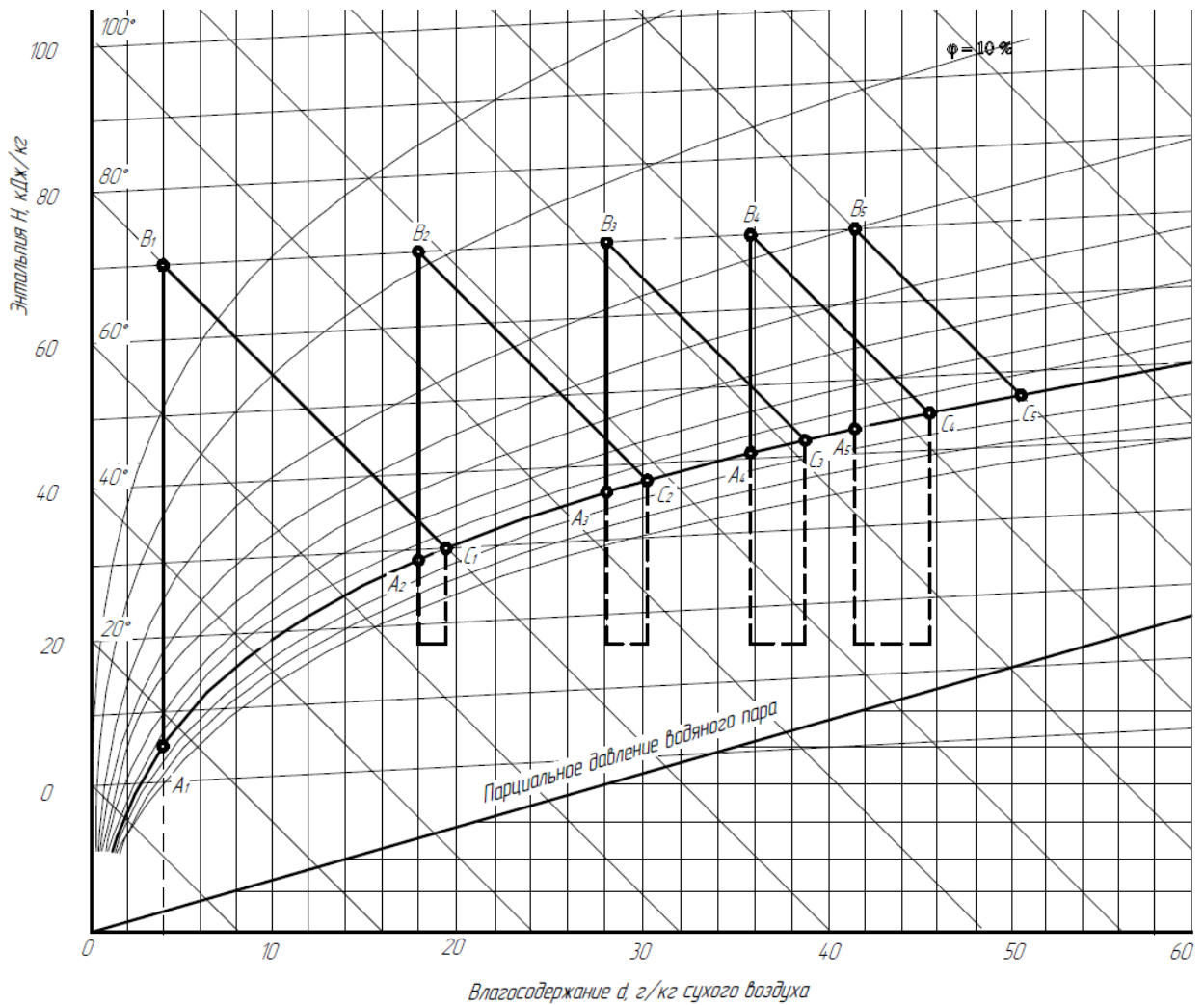
Общие удельные энергозатраты будут складываться из энергозатрат на испарение влаги и привода вентилятора (рисунок 2.26)

$$E_{iyд} = E_{iyд.и} + E_{iyд.в}, \quad (2.15)$$

Таблица 3

Исходные данные для расчета

Наименование	Величина	Источник информации
Тип сушилки	-	Аэрожелобная
Назначение зерна	-	Продовольственное
Производительность по сырому зерну, G1, кг/ч	1000	Принято условно
Время сушки, т, ч.	1	Рекомендации
Влажность сырого зерна, w_1 , %	20	Статистика
Влажность зерна на выходе из суш. камеры, w_2 , %	14	Рекомендации
Температура окружающего воздуха, t_0 , °C	5	ОСТ 10 10.1-2002
Температура агента сушки, t_1 , °C	70	Принято условно
Относительная влажность наружн. возд., φ_0 , %	70	Метеосправки
Относительная влажность отр. агента сушки, φ_2 , %	70	Рекомендации



Точки $A_2 - A_5$ - начальные параметры цикла при подмешивании 10 % свежего воздуха

Рисунок 2.10 - H-d диаграмма тепловлажностного состояния воздуха при постоянном подмешивании 10 % свежего воздуха

На основании всех вышеприведенных зависимостей, для обобщения всех полученных расчетных данных, отобразим: графические зависимости между расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; необходимый удельный массовый расход воздуха по циклам; удельные энергозатраты на привод вентилятора по циклам; удельные энергозатраты (суммарные) на испарение влаги и привод вентилятора по циклам.

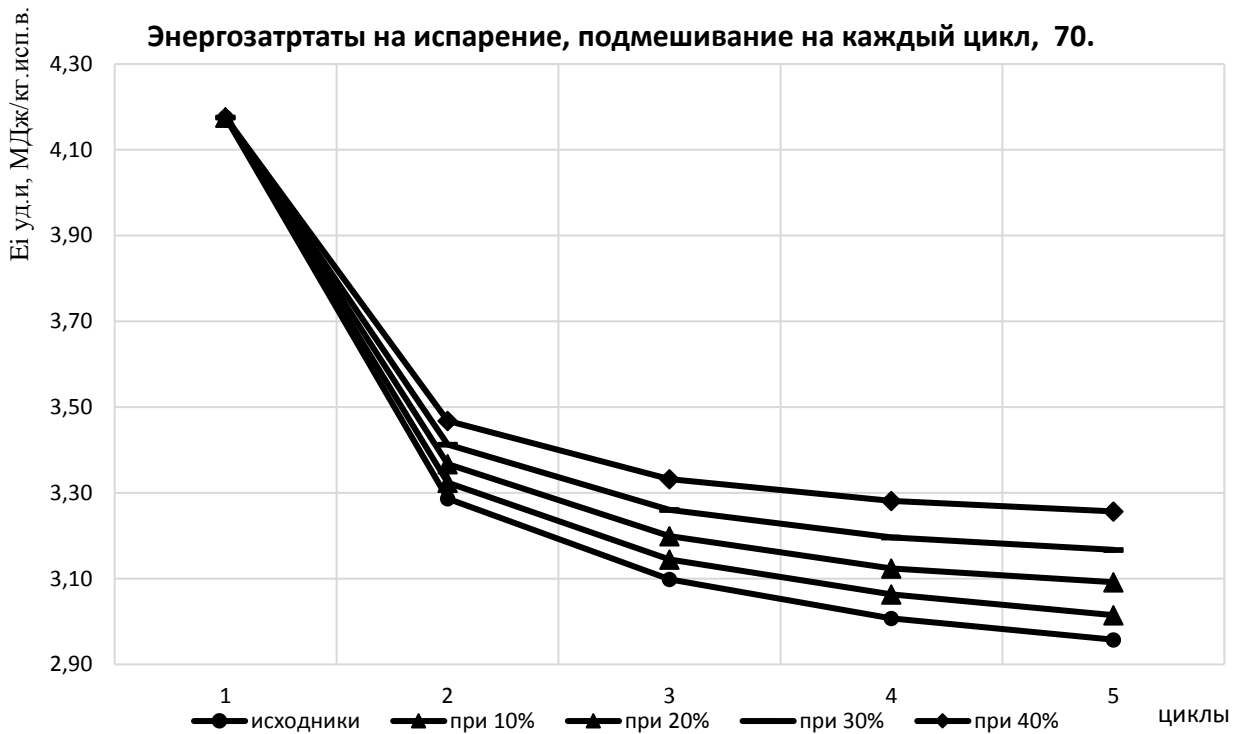


Рисунок 2.11 - Графические зависимости между расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента

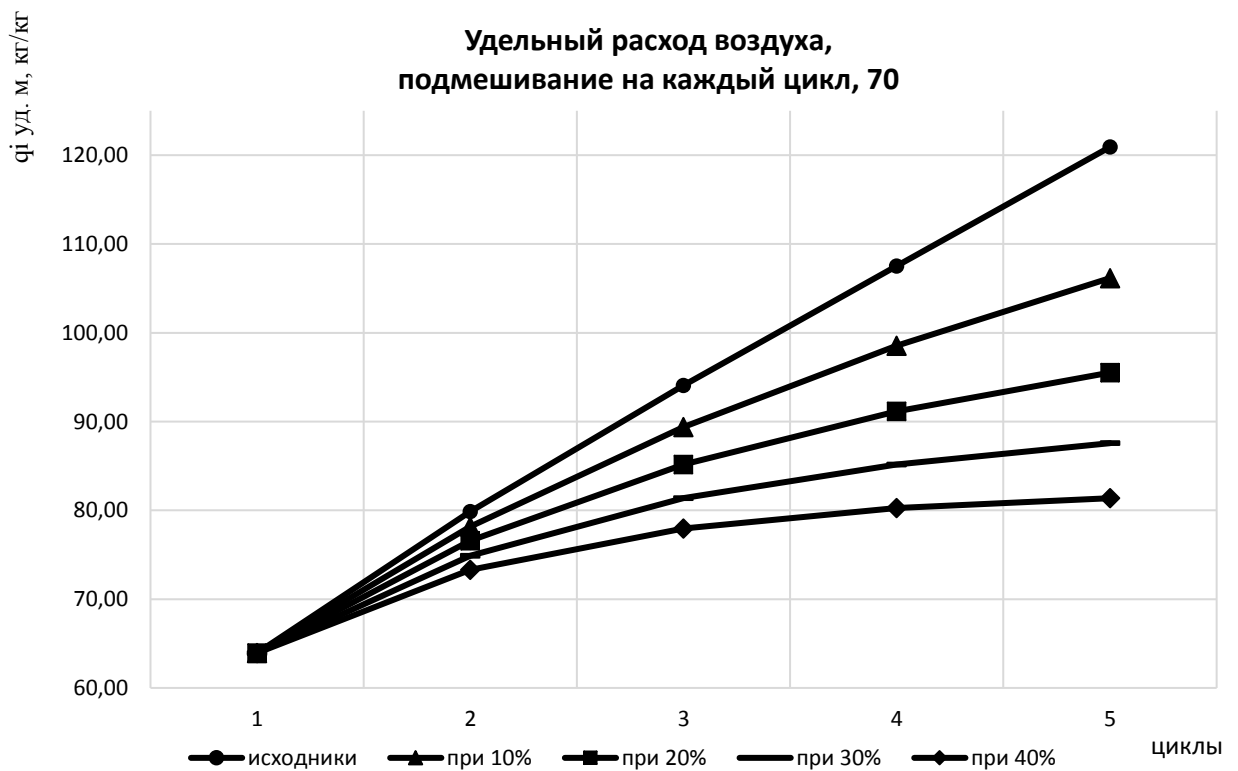


Рисунок 2.12 – Необходимый удельный массовый расход воздуха по циклам

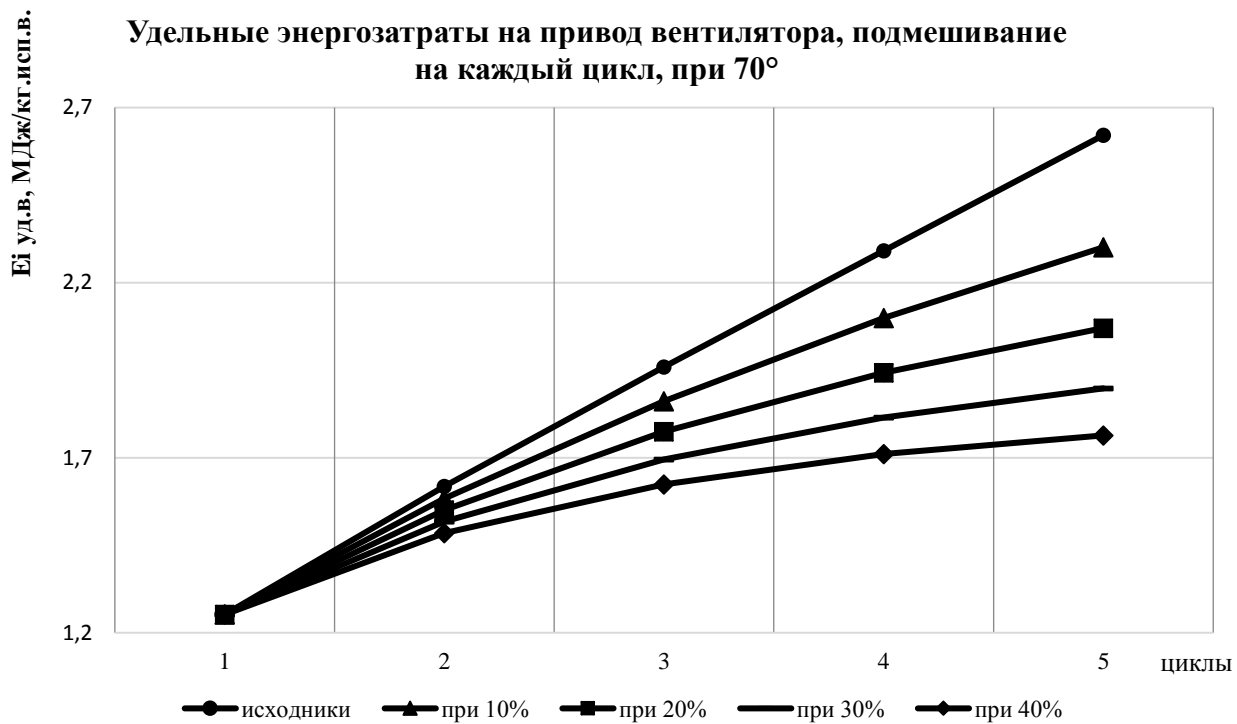


Рисунок 2.13 – Удельные энергозатраты на привод вентилятора по циклам

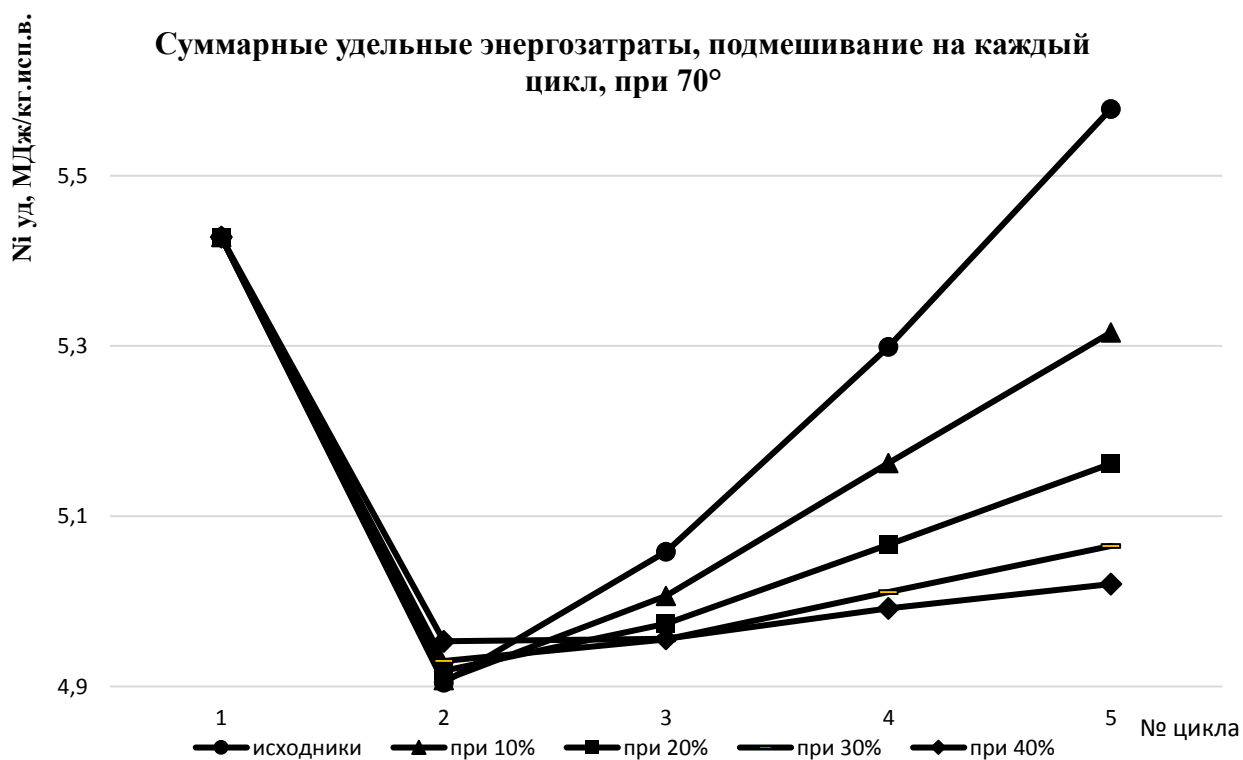


Рисунок 2.14 – Удельные энергозатраты (суммарные) на испарение влаги и привод вентилятора по циклам

Представим рациональные значения температуры агента сушки на выходе из сушки и экономию суммарных энергозатрат при нагреве до 40,70,100 °С.

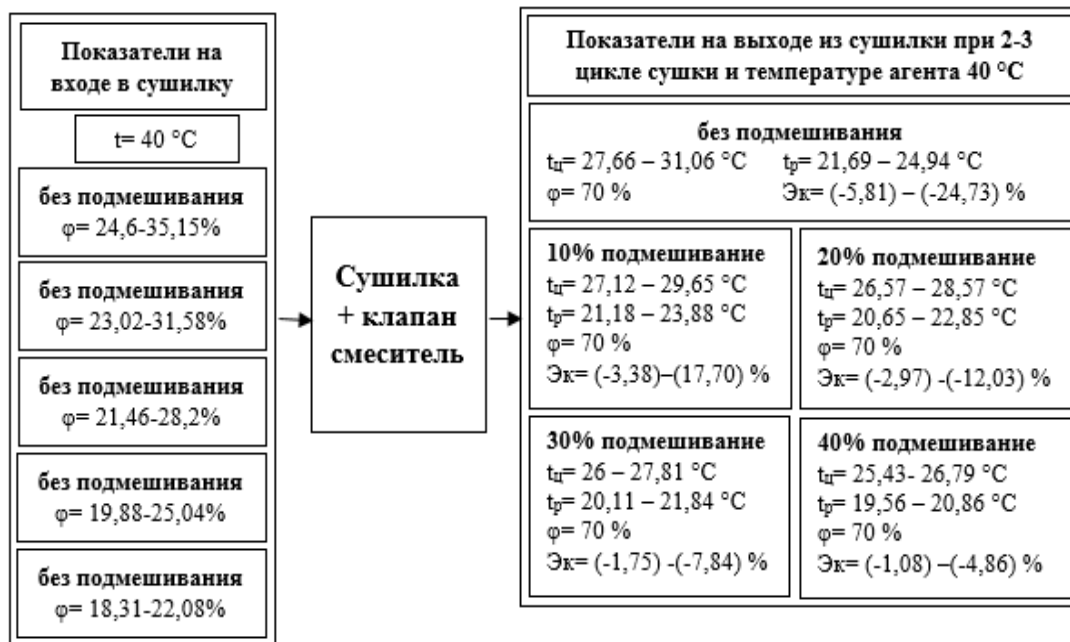


Рис.2.15. Рациональные значения для достижения максимальной энергоэффективности при постоянном подмешивании свежего воздуха к части отработавшего агента сушки и поддержании постоянной температуры агента 40 °С

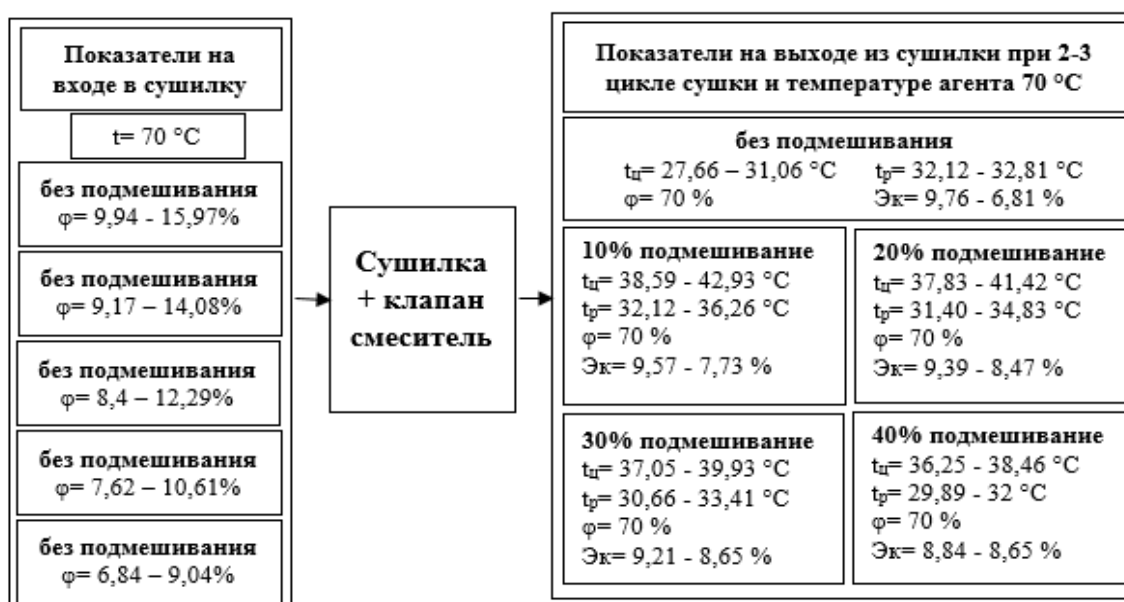


Рис.2.16. Рациональные значения для достижения максимальной энергоэффективности при постоянном подмешивании свежего воздуха к части отработавшего агента сушки и поддержании постоянной температуры агента 70 °С

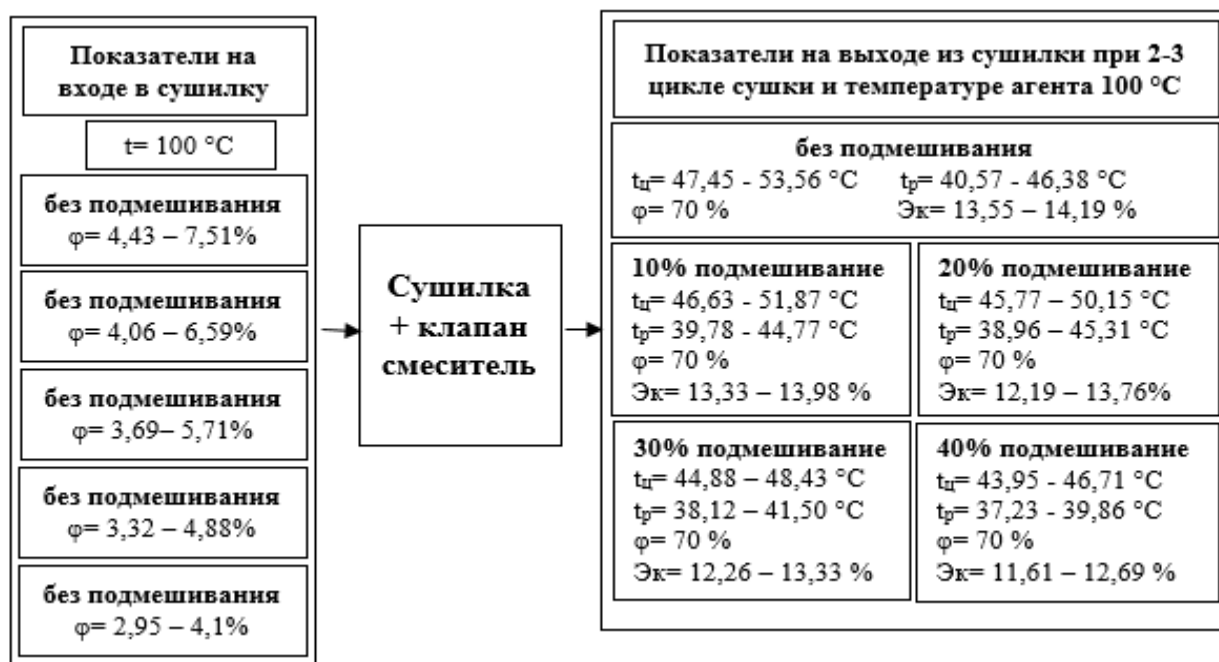


Рис.2.17. Рациональные значения для достижения максимальной энергоэффективности при постоянном подмешивании свежего воздуха к части отработавшего агента сушки и поддержании постоянной температуры агента 100 °C

Как видно из рисунков 2.15 и 2.16 суммарные удельные энергозатраты уменьшаются при повторном использовании сушильного агента, в зависимости от количества подмешиваемого воздуха, максимальной эффективности можно добиться при 2-3 кратном пропуске агента сушки через зерно.

На рис.2.17 представлены результаты теоретического расчета, которые показывают, что при нагреве агента сушки до 40 °C, подмешивание неэффективно.

Экономия энергии при нагреве агента сушки до 70 °C в конце 2 цикла колеблется в пределах от 8,84 до 9,57 %; в конце 3 цикла колеблется в пределах от 7,73 до 8,65 % в зависимости от количества подмешивания свежего воздуха к части отработавшего агента.

Экономия энергии при нагреве агента до 100 °C в конце 2 цикла колеблется в пределах от 11,61 до 13,33 %; в конце 3 цикла колеблется в пределах от 12,69 до 13,98 % в зависимости от количества подмешивания свежего воздуха к части отработавшего агента.

2.4 Теоретическое обоснование теплотехнической эффективности рециркуляции сушильного агента при однократном подмешивании свежего воздуха. Обоснование рациональных режимных параметров работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

В связи с полученными Волхоновым М.С. расчетными данными по рециркуляции агента сушки без подмешивания, возникает необходимость проверки эффективности подмешивания свежего воздуха к части отработавшего агента, однократно после 1,2,3,4 циклов сушки при закрытии (замыкания) системы рециркуляции.

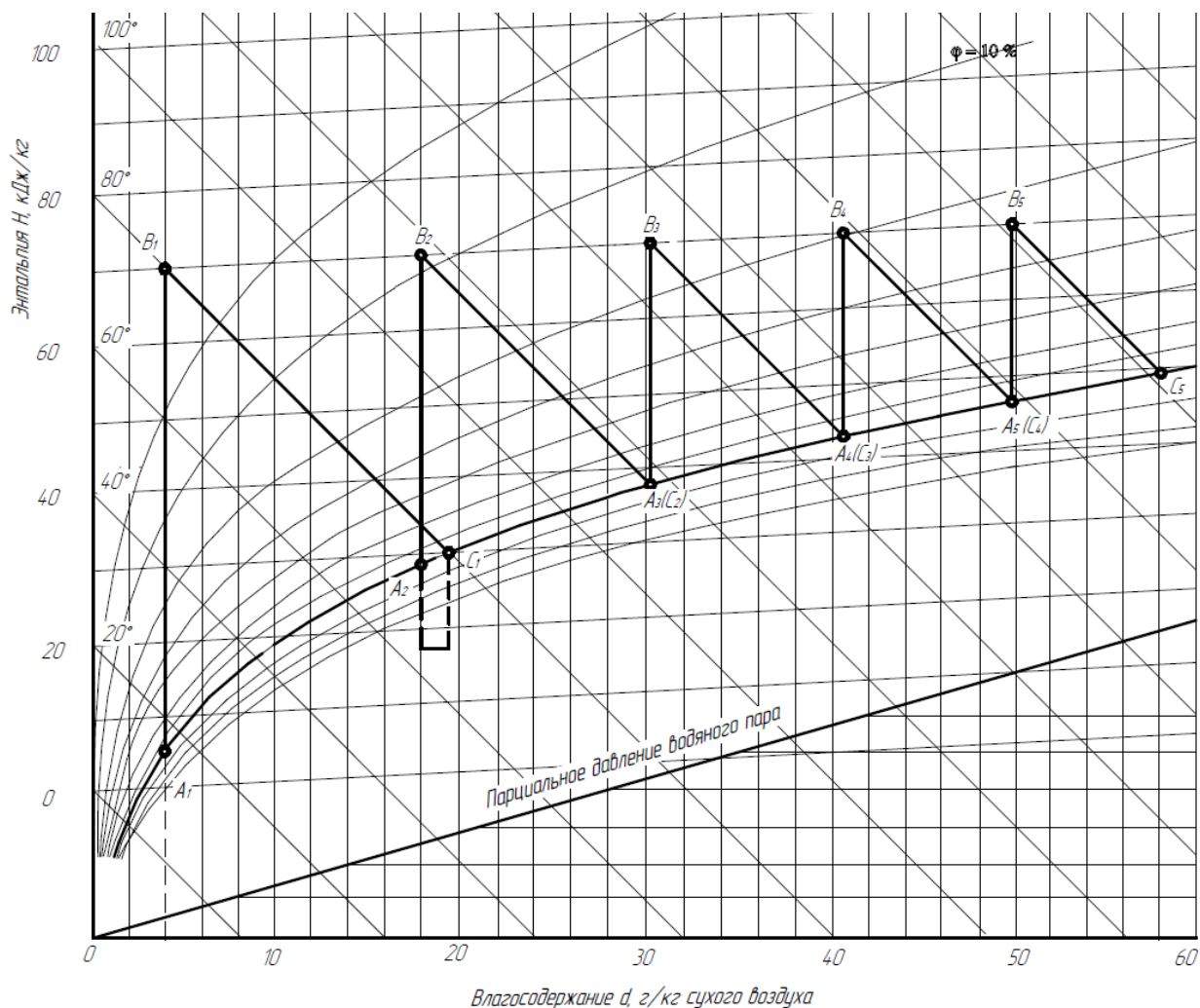
Проведем графоаналитический анализ целесообразности подмешивания свежего воздуха однократно при повторном использовании сушильного агента на основе диаграммы тепловлажностного состояния воздуха, разработанной профессором Л.К. Рамзиным.

В соответствии с методикой, описанной в параграфе 2.3 теоретического расчета, будем рассчитывать влагосодержание, энтальпию, а также входные, рабочие и выходные параметры циклов при однократном подмешивании определенного количества свежего воздуха в процентном соотношении для того или иного цикла.

После замыкания системы агент сушки пропускается через зерно оставшееся количество раз до достижения 5 циклов. Расчетная схема приведена на рисунке 2.18, исходные данные для расчета в таблице 3.

Подмешивание 10% свежего воздуха к отработавшему агенту сушки после 1 цикла

Нанесем на H-d диаграмме 5 циклов (1 цикл- исходные значения без подмешивания, после него осуществляется подмешивание 10% свежего воздуха, система замыкается, и полученный агент сушки пропускается через зерно еще 4 цикла) линий нагрева и испарения при температуре нагрева сушильного агента 70°C (см. пример на рис.2.18).



Точка A_2 - начальные параметры цикла при однократном по подмешивании 10 % свежего воздуха

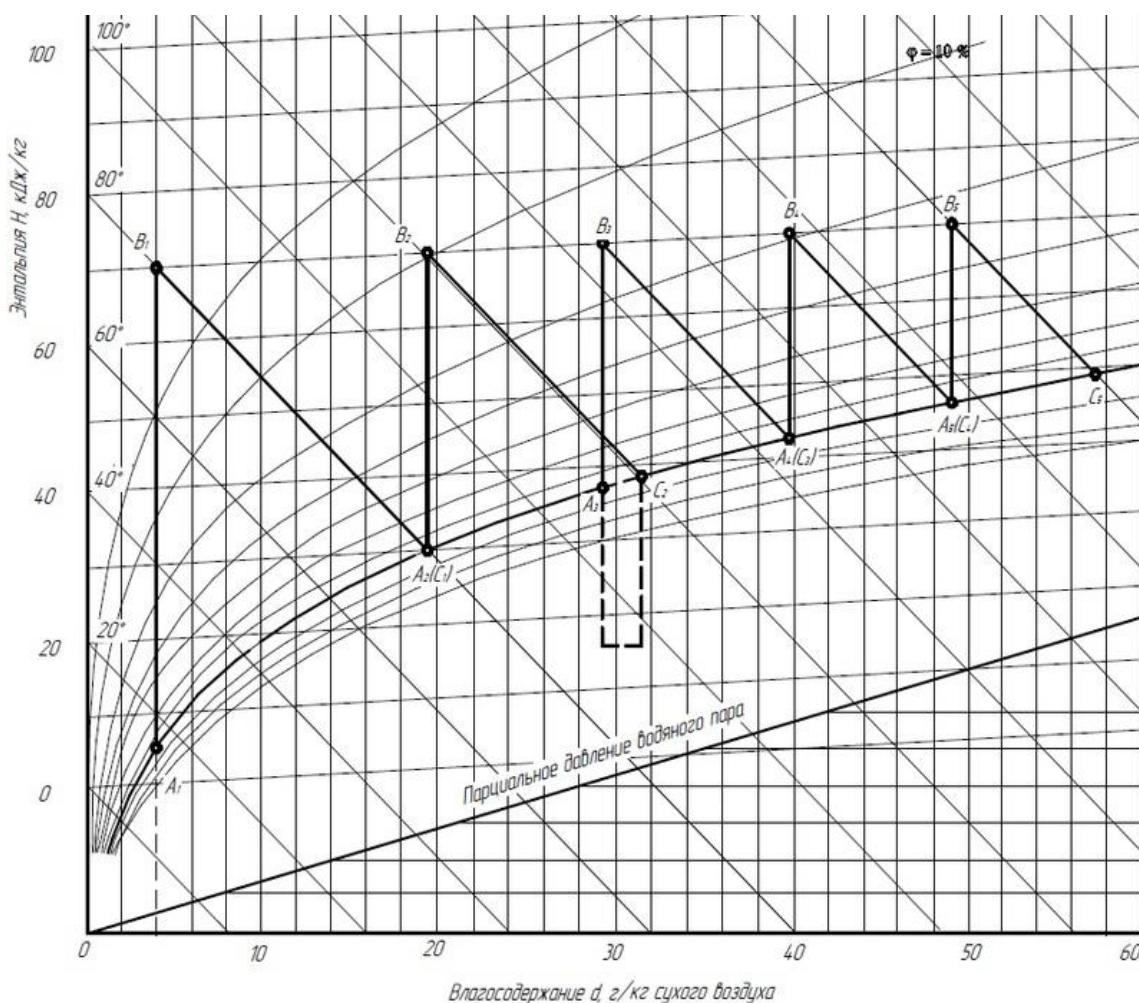
Рис. 2.18 H-d диаграмма тепловлажностного состояния воздуха при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха после 1 цикла сушки

Также построим по 5 циклов для нагрева сушильного агента до температуры 40 и 100°C, при однократном подмешивании 20, 30, 40 % свежего воздуха после 1 цикла сушки к части отработавшего агента сушки.

Подмешивание 10% свежего воздуха к отработавшему агенту сушки после 2 цикла

Нанесем на H-d диаграмме 5 циклов (1 и 2 цикл- исходные значения без подмешивания, после 2 цикла осуществляется подмешивание 10% свежего воздуха, система замыкается, и полученный агент сушки пропускается через

зерно еще 3 цикла) линий нагрева и испарения при температуре нагрева сушильного агента 70°C (см. пример на рисунке 2.19).



Точка A_3 - начальные параметры цикла при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха

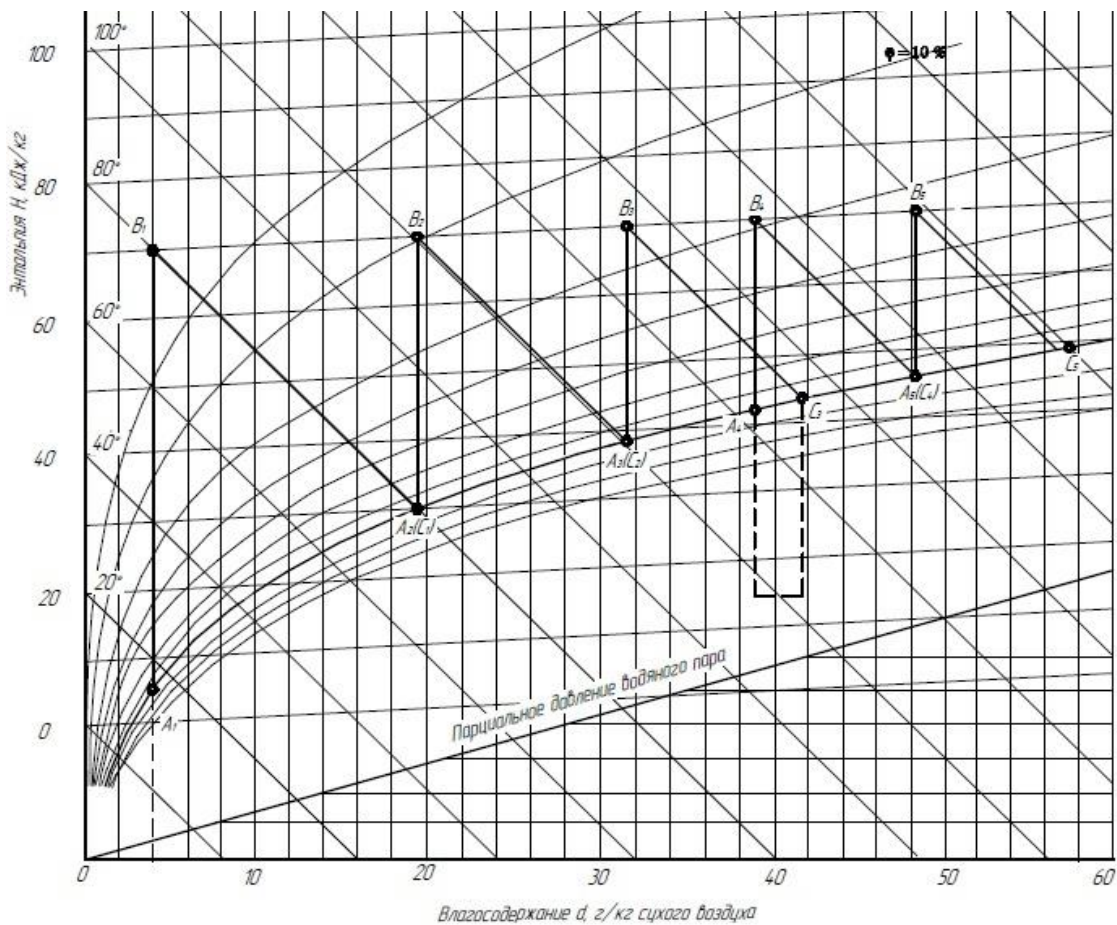
Рис. 2.19 H-d диаграмма тепловлажностного состояния воздуха при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха после 2 цикла сушки

Также построим по 5 циклов для нагрева сушильного агента до температуры 40 и 100°C, при однократном подмешивании 20, 30, 40 % свежего воздуха после 2 цикла сушки к части отработавшего агента.

Подмешивание 10% свежего воздуха к отработавшему агенту сушки после 3 цикла

Нанесем на H-d диаграмме 5 циклов (1,2,3 циклы - исходные значения без подмешивания, после 3 цикла осуществляется подмешивание 10% свежего

воздуха, система замыкается, и полученный агент сушки пропускается через зерно еще 2 цикла) линий нагрева и испарения при температуре нагрева сушильного агента 70°C (см. пример на рис. 2.20).



Точка A_4 - начальные параметры цикла при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха

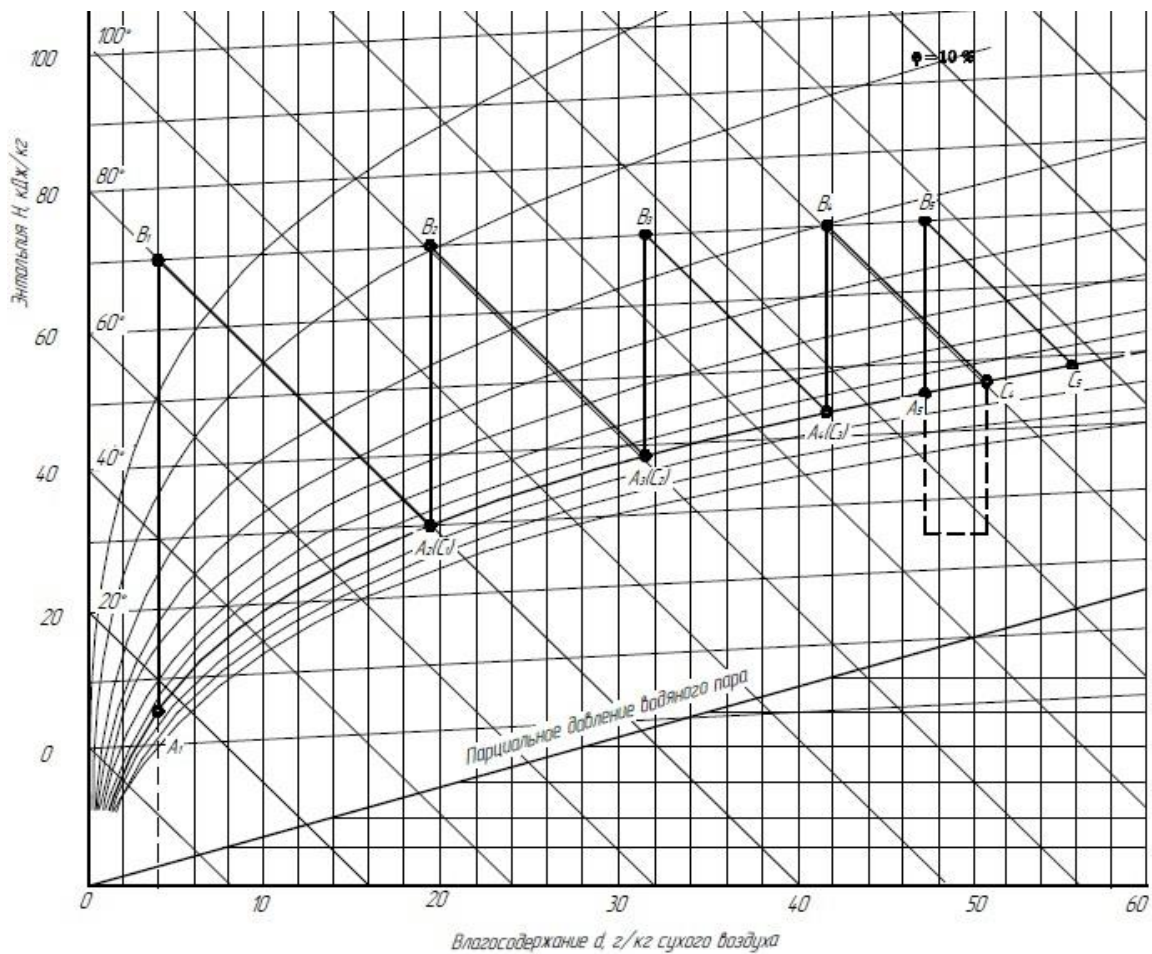
Рис.2.20 H-d диаграмма тепловлажностного состояния воздуха при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха после 3 цикла сушки

Также построим по 5 циклов для нагрева сушильного агента до температуры 40 и 100°C, при однократном подмешивании 20, 30, 40 % свежего воздуха после 3 цикла сушки к части отработавшего агента.

Подмешивание 10% свежего воздуха к отработавшему агенту сушки после 4 цикла

Нанесем на H-d диаграмме 5 циклов (1,2,3,4 циклы - исходные значения без подмешивания, после 4 цикла осуществляется подмешивание 10% свежего

воздуха, система замыкается, и полученный агент сушки пропускается через зерно еще 1 цикл) линий нагрева и испарения при температуре нагрева сушильного агента 70°C (см. пример на рис. 2.21).



Точка A_4 - начальные параметры цикла при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха

Рис. 2.21 H-d диаграмма тепловлажностного состояния воздуха при однократном подмешивании 10 % свежего воздуха после 4 цикла сушки

Также построим по 5 циклов для нагрева сушильного агента до температуры 40 и 100°C, при однократном подмешивании 20, 30, 40 % свежего воздуха после 4 цикла сушки к части отработавшего агента.

Результаты помешиваний всех видов представлены в приложении А.

2.5 Теоретическое обоснование целесообразности применения рециркуляции отработавшего агента сушки по условию конденсации влаги

Основываясь на статью «К вопросу обоснования эффективности рециркуляции агента сушки» [53] написанную М.С. Волхоновым и И.С. Зыриным, выделим два показателя: теплотехническую эффективность рециркуляции в % и температуру точки росы.

Теплотехническая эффективность рециркуляции показывает на сколько процентов тепловая мощность нагрева отработавшего агента сушки меньше тепловой мощности нагрева атмосферного воздуха. Для эффективности рециркуляции данная физическая величина должна быть положительной, в ином случае рециркуляции не имеет смысла.

В связи с тем, что рециркуляция агента сушки может осуществляться только при условии отсутствия конденсации влаги на поверхности материала, еще одним важным критерием эффективности является температура точки росы.

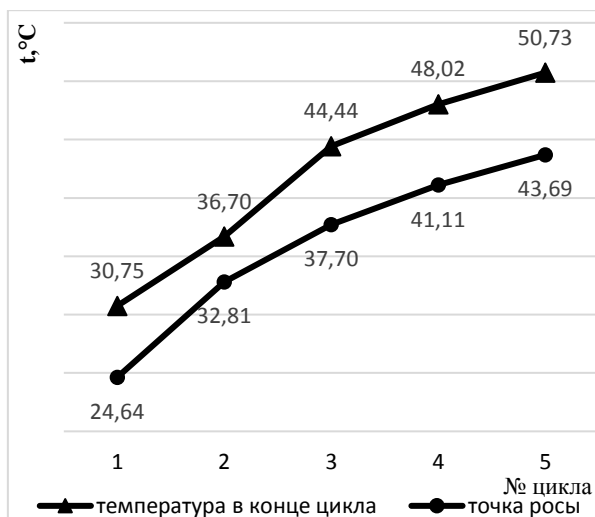
Температура точки росы [54], °С:

$$t_p = \frac{233,77 \ln Ph + 115,72}{16,57 - 233,77 \ln Ph}, \quad (2.16)$$

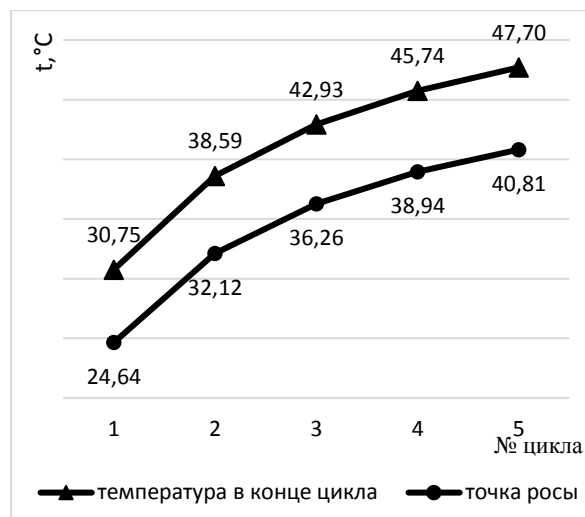
где Ph – парциальное давление насыщенного водяного пара, кПа.

Температура точки росы – это температура, при которой происходит конденсация водяных паров, содержащихся в воздухе. В рассматриваемом случае ссылаясь на параграф 2.3 теоретического расчета в качестве температуры t_d может быть рассмотрена температура агента в конце цикла сушки.

Проведенный анализ и расчет показателей указывает на то, что температура точки росы и температура агента в конце цикла сушки должны иметь различные значения и не пересекаться для эффективности рециркуляции. На рисунке 2.22, 2.23, 2.24 приведены расчетные зависимости температуры точки росы и температуры агента в конце цикла сушки при 70 °С и постоянном подмешивании 10 % свежего воздуха.

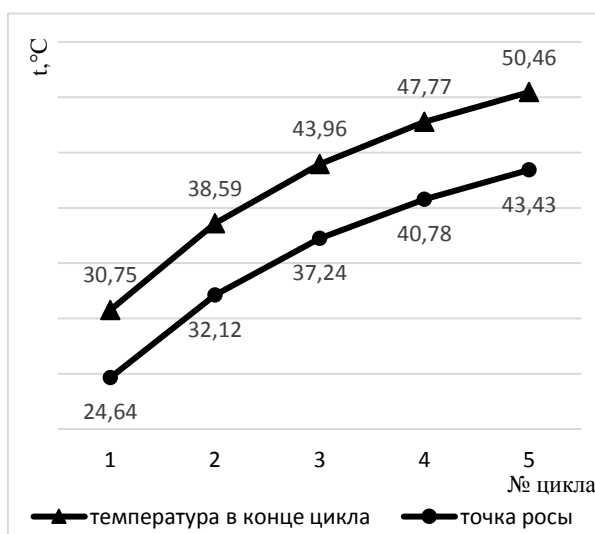


a

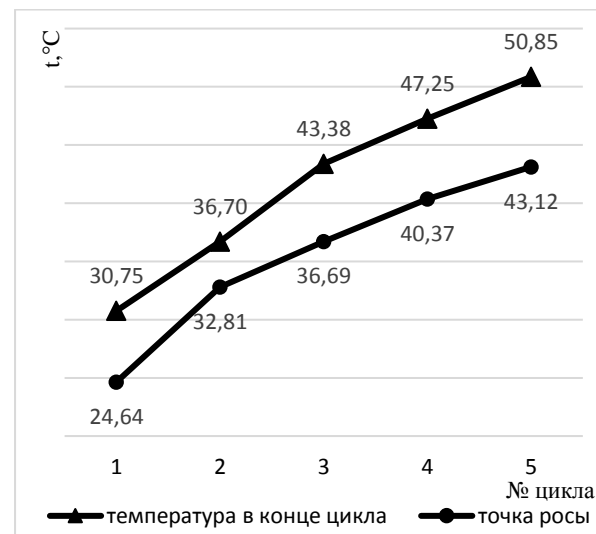


б

Рис. 2.22 Зависимость точки росы от температуры агента сушки в конце цикла сушки при 70°: *a*)- при закрытом клапане; *б*)- при постоянном подмешивании 10% свежего воздуха



a



б

Рис. 2.23 Зависимость точки росы от температуры агента сушки в конце цикла при 70° и подмешивании 10%: а)- после 1 цикла сушки; б)- после 2 цикла сушки

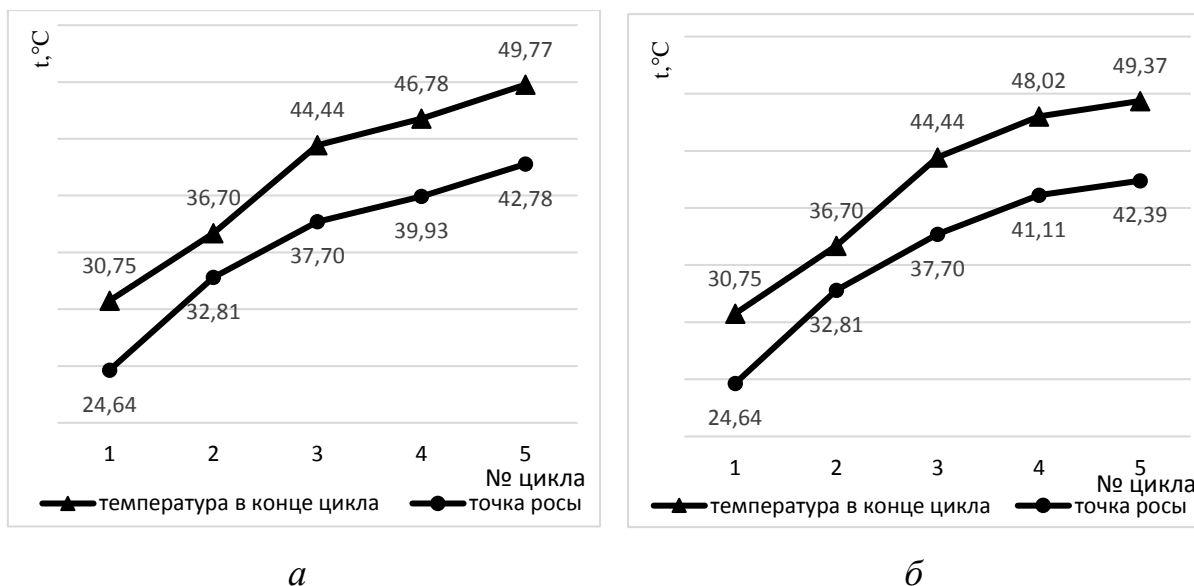


Рис. 2.24 Зависимость точки росы от температуры агента сушки в конце цикла при 70° и подмешивании 10 %: а)- после 3 цикла сушки; б)- после 4 цикла сушки

Результаты теоретического расчета применения рециркуляции отработавшего агента сушки по условию конденсации влаги представлены в приложении Б

Выводы по разделу:

1. Проведенный анализ технико-экономических показателей зерносушилок убеждает в целесообразности поиска обобщенной характеристики, для оценки эффективности передвижной зерновой сушилки предлагается ввести— «комплексный показатель совершенства конструкции зерновой сушилки», который учитывает как удельную металлоемкость, так и удельный расход теплоты.

2. Разработана конструкция, обеспечивающая быстрый доступ к зерну и к любой части сушилки за счет своих сдвижного зонта и облегченному подключению.

3. Теоретически доказано, что конструкция и режимы сушки обеспечивают повторное использование агента без опасности выделения влаги (конденсации) внутри сушилки при пятикратном использовании.

4. Контроль за кратностью использования сушильного агента следует осуществлять по относительной влажности агента сушки и его температуре на выходе из сушильной камеры с использованием H-d диаграммы тепловлажностного состояния воздуха.

5. Экономичность сушки и эффективность повторного использования агента с подмешиванием к его части свежего воздуха улучшается с увеличением температуры агента сушки и может достигать от 9,57 до 13,98%

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Программа научного исследования

В соответствии с поставленными задачами принята следующая программа исследования:

- подобрать оборудование и приборы, необходимые для проведения экспериментов по определению аэродинамических характеристик камере сукши и в системе рециркуляции аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов;
- изготовить и провести лабораторные исследования опытного образцасистемы рециркуляции агента сушки;
- проанализировать технико-экономические показатели опытного образца системы рециркуляции агента сукши аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

3.2 Методика научного исследования

3.3 Описание экспериментальных и производственных установок

В соответствии с принятой программой научного исследования и описанной научной установкой в разделе **«2.2 Конструкция и схема работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов»**, был создан следующий опытный образец (рис. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

В работах М.С. Волхонова [55, 83] установлено, что, исходя из условий равномерного движения материала по перфорированной грузонесущей перегородке её ширина не должна превышать 600 мм, конструктивно приняли 550 мм. Длина грузонесущей перфорированной перегородки 5050 мм, получена исходя из отношения к её ширине и производительности (вместимости) зерносушилки.

Исходя из размеров перфорированной перегородки, вместимости камеры сушки и допустимых размеров при перевозке габаритных грузов, были получены размеры зерносушилки, воздухораспределительных боковых каналов и центрального воздухораспределительного канала.

Размеры камеры сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов следующие: высота - 3000 мм (рис. 3.1), длина - 5000 мм, ширина – 2880 мм. Общая длина аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов 7000 мм, ширина составляет 7000 мм, угол наклона грузонесущей перфорированной перегородки 4 градуса с живым сечением 8%.

Внутренняя часть боковых воздухораспределительных каналов изготовлена из тканых сит с коэффициентом живого сечения 46%. Распределяющий воздухоподводящий патрубок, в который установлены поворотные заслонки, изготовлен из каркаса и водонепроницаемой ткани. Привод заслонок осуществляется за счет рычажного механизма. Для подачи агента сушки и отбора отработавшего агента сушки установлены промышленные вентиляторы среднего давления ВР 9-55 10.

Для подогрева агента сушки используется теплогенератор TBL 85-P с горелкой Baltur работающей на дизельном топливе.



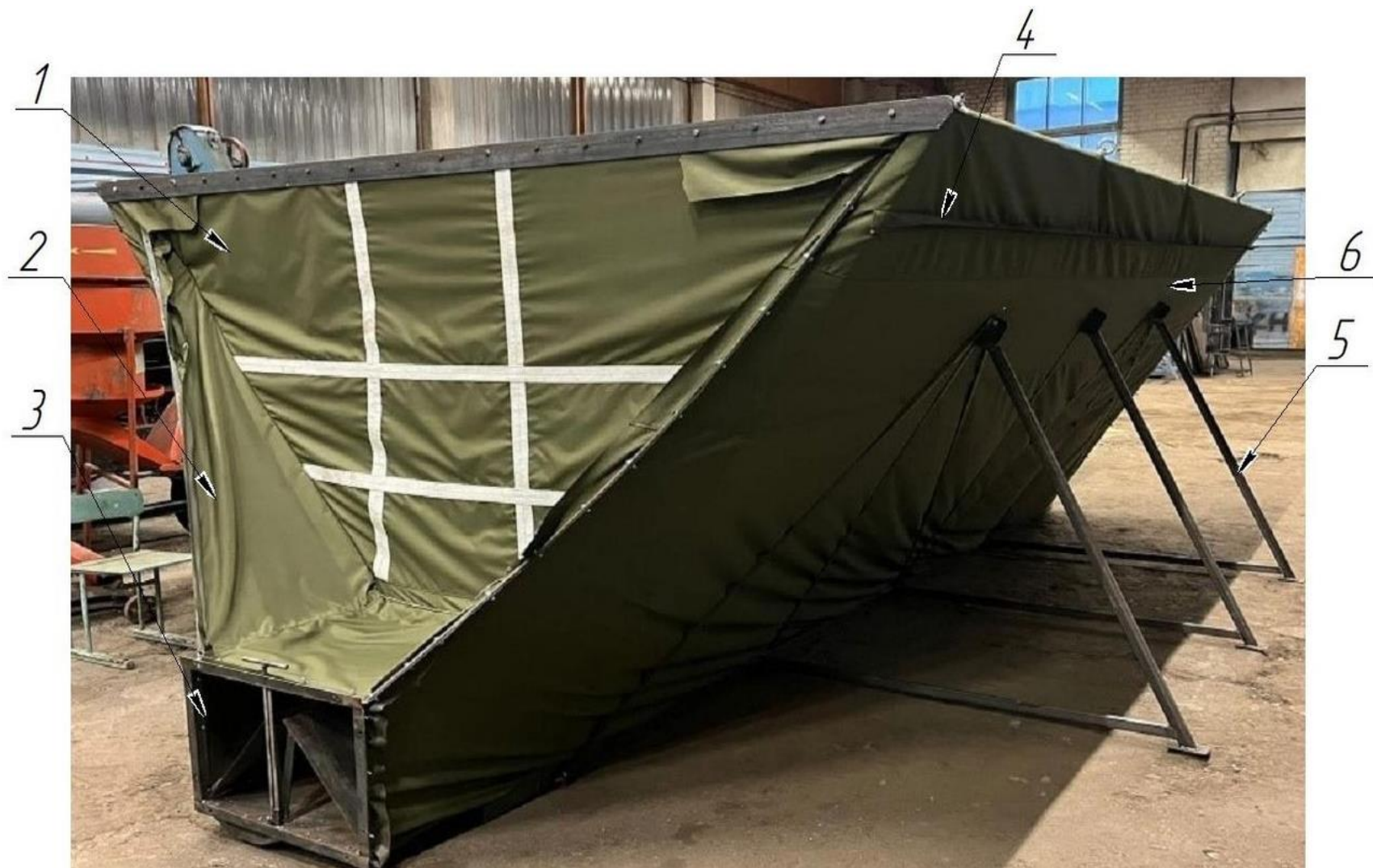
1 – неподвижная последняя секция сдвижного зонта; 2- окно для присоединения пылеуловителя; 3- горизонтальное звено сдвижного зонта; 4 – торцевая секция камеры сушки; 5 - выгрузное окно; 6 – грузонесущая перегородка; 7 – центральный воздушный короб аэрожелоба; 8 – трапециевидное звено каркаса камеры сушки; 9 – распределяющий воздухоподводящий патрубок с заслонками.

Рис. 3.1 Каркас аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.



1- пояс, изготовленный из ткани, не пропускающей воздух и влагу; 2 - сетчатая составляющая внутренней оболочки.

Рис. 3.2 Внутренняя оболочка камеры сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.



1 – торцевая (соединительная) часть внутренней оболочки; 2 – боковой воздушный карман; 3 - распределяющий воздухоподводящий патрубок с заслонками; 4 – крепление сдвижного зонта к внешней оболочке; 5 – боковые упоры для снижения нагрузки; 6 – внешняя оболочка камеры сушки.

Рис. 3.3 Внешняя оболочка камеры сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.



1 – теплогенератор; 2 – вентилятор для подачи агента сушки; 3 – оболочка сдвижного зонта; 4 – пылеуловитель; 5 – вентилятор аспиратор; 6 – воздушные патрубки; 7 – клапан-смеситель; 8 - боковой воздухоподводящий короб.

Рис. 3.4 – Опытный образец аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.

3.4 Измерительные приборы

Экспериментальная и производственная установки оснащены всеми необходимыми приборами и системами для проведения испытаний в соответствии с требованиями СТО АИСТ 2010 [26].

В процессе проведения экспериментальных исследований, согласно принятой программе, необходимо измерять и оценивать следующие величины:

- температуру: атмосферного воздуха, агента сушки, отработавшего агента сушки, поверхности зернового вороха;
- расходы: воздуха, агента сушки, отработавшего агента сушки, топлива;
- влажность зерна;
- производительность установки;
- мощность электроэнергии, потребляемую устройством.

Для измерения температуры атмосферного воздуха применялся ртутный термометр и ДТСхх5 с коммутационной головкой (рис.3.5), агента сушки, отработавшего агента сушки, электронный анемометр UNI-T UT362 (рис. 3.6, 3.7), а так же карманный анемометр с крыльчаткой и сенсором влажности Testo 410-2 (рис. 3.8), температуру зерна до и после сушки определяли с помощью пирометра MS6530 (рис. 3.10). Расход воздуха и агента сушки определяли косвенным методом с помощью многопредельного микроанометра с наклонной трубкой ММН-240 (рис. 3.15), расход отработавшего агента сушки определяли косвенным методом с помощью электронного анемометра с крыльчаткой UNI-T UT362 установленным в конфузор (рис. 3.6, 3.7), измерения проводились в соответствии с ГОСТ Р 55262-2012 [13] (СТО АИСТ 10.2-2010 [12])

Массу топлива, подаваемую топливным насосом высокого давления, определяли с помощью напольных весов (рис. 3.12) методом отсечек по 10 секунд каждая. Число отсечек принималось равным 7. Время определяли по

секундомеру TORNEO (рис. 3.11). Определение влажности зерна проводили при помощи влагомеров ФАУНА и FARMPOINT (рис. 3.13).

Потребляемая мощность электроэнергии замерялась токоизмерительными клещами косвенным методом (рис. 3.14).

Использованные измерительные приборы обеспечили заявленную точность измерений.



Рис. 3.5 – Измеритель-регулятор температуры 2 ТРМ1 + ДТСхх5 с коммутационной головкой



Рис. 3.6 Измерительные приборы: электронный анемометр UNI-T UT362 с конфузуром, вид сбоку, основание пирамиды 500*500 мм и высотой 500 мм, диаметр воздуховода 120 мм длиной 400 мм



Рис.3.7 Измерительные приборы: электронный анемометр UNI-T UT362 с конфузуром, вид снизу, основание пирамиды 500*500 мм и высотой 500 мм, диаметр воздуховода 120 мм длинна 400 мм



Рис.3.8 Измерительные приборы: карманный анемометр с крыльчаткой и сенсором влажности Testo 410-2



Рис. 3.9 Измерительные приборы: термоанемометр Testo 425



Рис. 3.10 Измерительные приборы: пирометр MS6530



Рис. 3.11 Измерительные приборы: секундомер TORNEO



Рис. 3.12 Измерительные приборы: напольные электронные весы для определения расхода топлива



а



б

Рис. 3.13 Измерительные приборы:

а) - влагомер ФАУНА; б) - влагомер Farmpoint-Digital



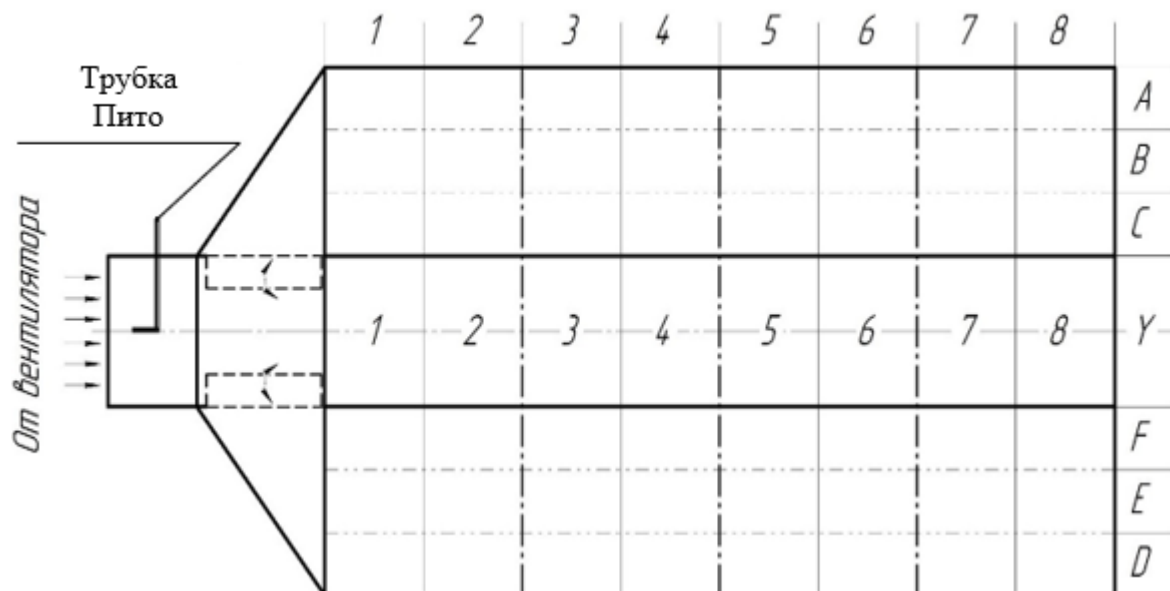
Рис. 3.14 Измерительные приборы: токоизмерительные клещи



Рис. 3.15 – Измерительные приборы: многопредельный микроманометр с наклонной трубкой ММН-240

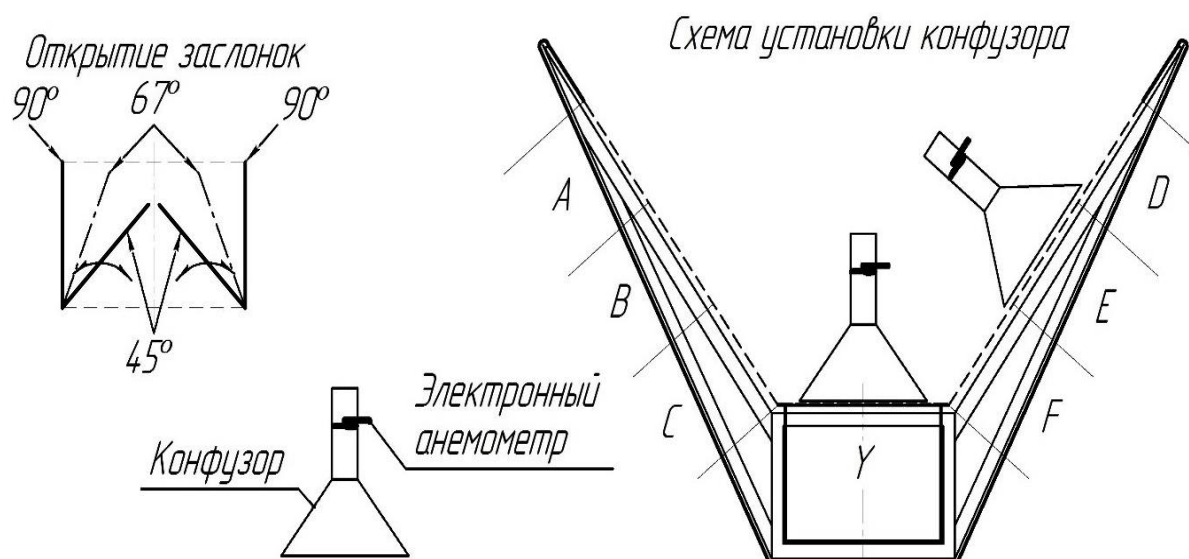
3.5 Методика лабораторного исследования определения аэродинамических характеристик в незагруженной камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

Для определения аэродинамических характеристик в камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов проведем исследование распределение потоков воздуха в зависимости от положения поворотных заслонок в распределяющем воздухоподводящем патрубке (рис. 3.15, 3.16). Опыты по определению аэродинамических характеристик проводились совместно с к.т.н. Смирновым И.А и к.т.н. Джаббаровым И.А.



A, B, C, Y, D, E, F – горизонтальные плоскости замеров; *1 – 8* – ячейки замеров расхода исходящего воздуха на поверхности тканевых сит боковых воздухоподводящих полостей и жесткой перфорированной грузонесущей перегородки

Рис. 3.16 – Схема расположения точек замера аэродинамических характеристик в камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.



A, B, C, Y, D, E, F – плоскости замеров.

Рис. 3.17 Схема расположения оборудования для замера аэродинамических характеристик и величины угла открытия залонки распределяющего воздухоподводящего патрубка.

На входе в распределяющий воздухоподводящий патрубок 3 (рис.3.3) установлены трубки Пито для определения расхода воздуха косвенным методом по многопредельному микроманометру с наклонной трубкой ММН-240 (рис.3.15), а на поверхности тканевых сит боковых воздухоподводящих полостей и жесткой перфорированной грузонесущей перегородки для определения расхода исходящего воздуха косвенным методом в ячейках 1 – 8 на плоскостях *A, B, C, Y, D, E, F* устанавливали конфузор с электронным анемометром UNI-T UT362 (рис. 3.6, 3.7).

В качестве основного фактора (рис. 3.18) было принято положение поворотных заслонок *X*, оно регулировалось по углу открытия заслонок – 90° заслонки зарыты, 45° заслонки полностью открыты и 67° среднее положение заслонок (рис. 3.17).

Выходной величиной (откликом) являлся: расход воздуха после прохождения тканевых сит Q_c , м³/ч, и перфорированной перегородки, Q_n , м³/ч, (снижение скорости потока воздуха); потребляемая мощность электроэнергии, $N_{эл.}$, кВт·ч.

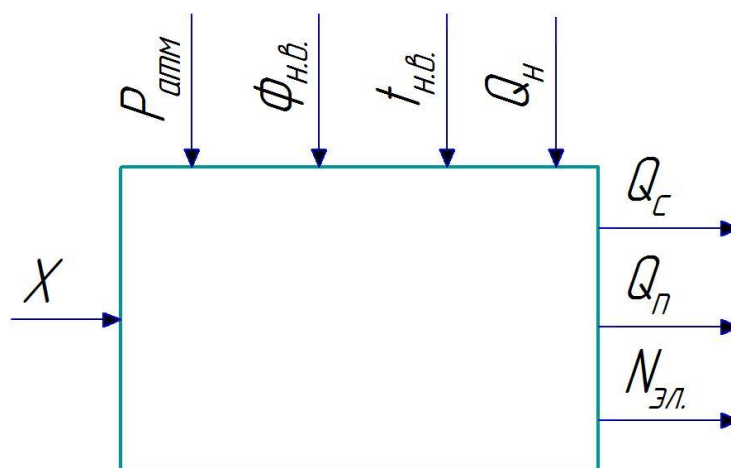


Рис. 3.18 Модель исследования по определению аэродинамических характеристик в камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

Контролируемые факторы: атмосферное давление воздуха $P_{атм}$; температура наружного воздуха $t_{н.в.}$, °С; влажность воздуха $\varphi_{н.в.}$, %; расход воздуха на входе в распределяющий воздухоподводящий патрубок, $Q_{н.}$, м³/ч, определялась косвенным методом с помощью многопредельного микроманометра с наклонной трубкой ММН-240 (рис.3.15).

Опыт будет проводиться следующим образом. Запускается вентилятор 2 для подачи воздуха (рис.3.4), после выхода на режим замеряется расход воздуха на входе в распределяющий воздухоподводящий патрубок 3 (рис. 3.3), определяли косвенным методом с помощью многопредельного микроманометра с наклонной трубкой ММН-240 (рис. 3.15), затем устанавливается необходимое положение заслонок в распределяющем воздухоподводящем патрубке (угол отрытия заслонок) (рис.3.17) , а именно: первое положение заслонок находится в закрытом состоянии и равно 90°, далее замеряется скорость исходящего воздуха в ячейках 1 – 8 на плоскости Y, устанавливая конфузор с электронным анемометром UNI-T UT362 (рис. 3.6, 3.7), и заносятся полученные данные в таблицу.

Следующим действием замеряется скорость исходящего воздуха на поверхности тканевых сит боковых воздухоподводящих полостей и жесткой перфорированной грузонесущей перегородки в ячейках при среднем положении заслонок 67° (рис. 3.17), 1 – 8 на плоскостях A, B, C, Y, D, E, F, устанавливая конфузор с электронным анемометром UNI-T UT362 (рис. 3.6, 3.7), процесс повторяли при положении заслонок в 45° - заслонки полностью открыты (рис. 3.17).

При каждом положении заслонок замеряли потребляемую мощность электроэнергии токоизмерительными клещами (рис.3.15) косвенным методом.

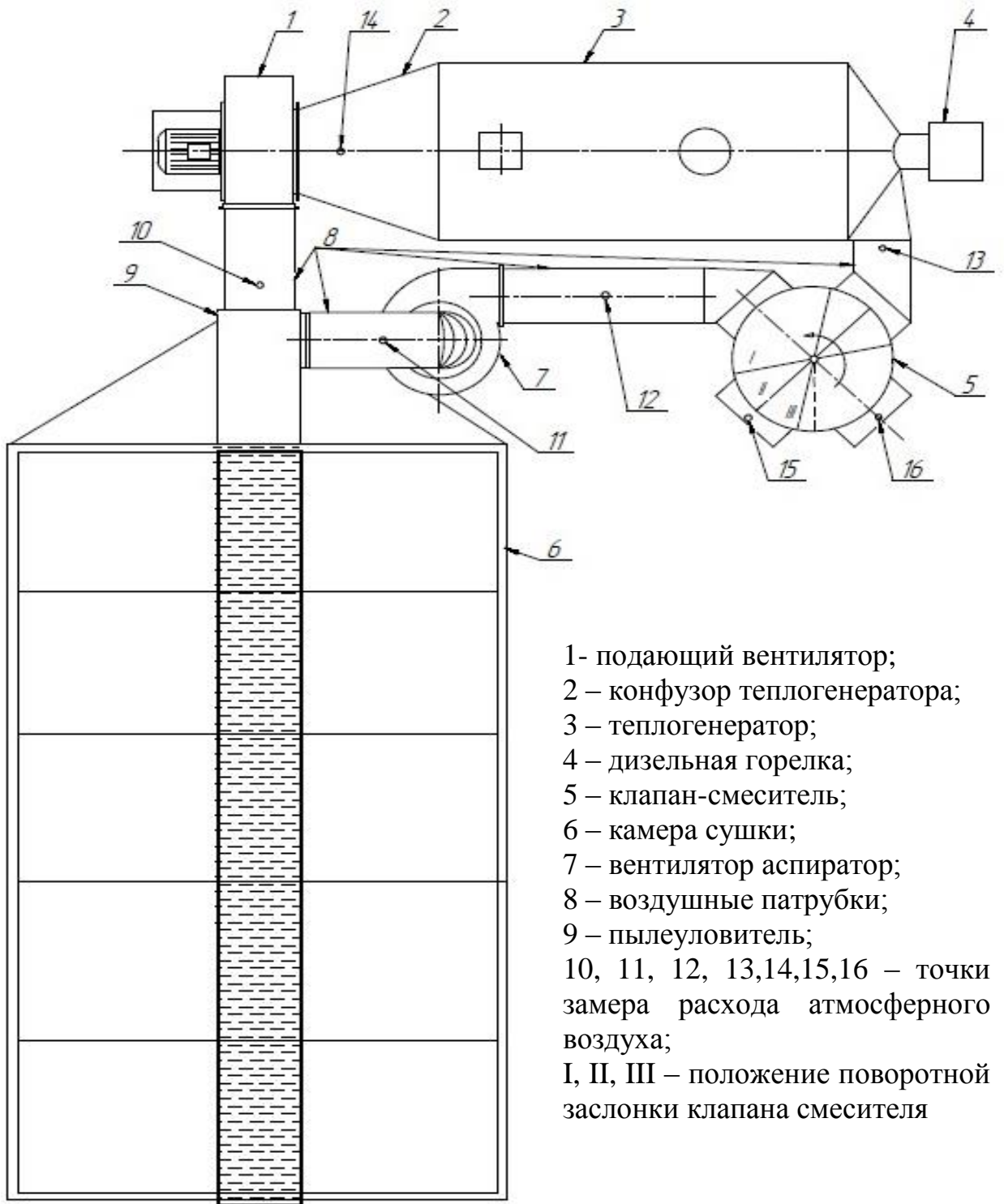
После проведения экспериментов подсчитываются средние значения полученных результатов, которые приведены в разделе 4.1 и приложении В

3.6 Методика проведения производственных испытаний системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов при полной загрузке камеры сушки

Во время проведения производственных испытаний с целью определения области рациональных значений основных технологических параметров разработанного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов будет проведена сушка и вентилирование березовой щепы, зернового вороха и семян трав на опытном поле ФГБОУ ВО Костромской ГСХА и в ОАО «Племзавод Каравaeво».

Выходной величиной (откликом) являлась: температура агента сушки внутри аэрожелоба, $t_{aэp.}$, °С; расход отработанного агента сушки после прохождения через материал, Q_k , м³/ч; температура отработанного агента сушки, $t_{o.a.c.}$, °С; влажность материала во время сушки, w_3^k , %; температура семян во время сушки, $t_{з.к.}$, °С; расход топлива, q_m , кг/ч; потребляемая мощность электроэнергии, $N_{эл.}$, кВт·ч.

Контролируемые факторы: атмосферное давление воздуха $P_{атм.}$; начальная влажность поступившей партии w_3^H , %; температура партии начальная $t_{з.н.}$, °С; температура наружного воздуха $t_{н.в.}$, °С; относительная влажность воздуха $\varphi_{н.в.}$, %; расход воздуха на входе в распределяющий воздухоподводящий патрубок, Q_n , м³/ч, определялась косвенным методом с помощью многопредельного микроманометра с наклонной трубкой ММН-240.



- 1- подающий вентилятор;
- 2 – конфузор теплогенератора;
- 3 – теплогенератор;
- 4 – дизельная горелка;
- 5 – клапан-смеситель;
- 6 – камера сушки;
- 7 – вентилятор аспиратор;
- 8 – воздушные патрубки;
- 9 – пылеуловитель;
- 10, 11, 12, 13,14,15,16 – точки замера расхода атмосферного воздуха;
- I, II, III – положение поворотной заслонки клапана смесителя

Рис. 3.19 – Схема расположения составляющих системы рециркуляции аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

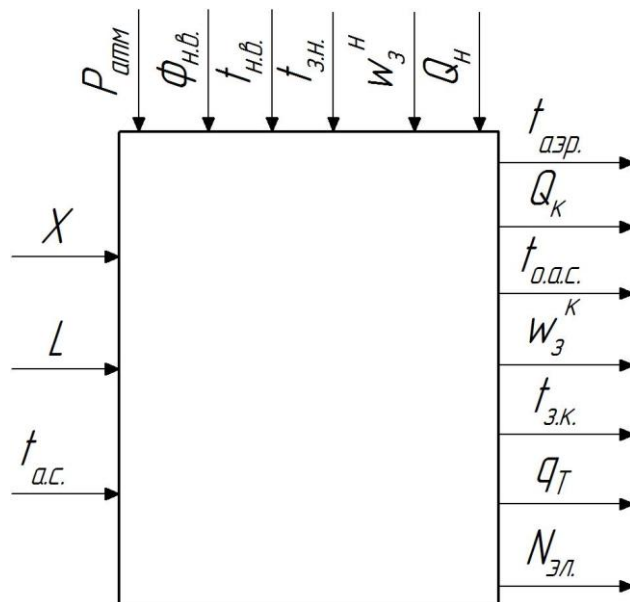


Рис. 3.20 – Моделирование процесса сушки зернового вороха в производственных условиях на аэродинамическом устройстве для сушки сыпучих материалов

В связи с необходимостью измерений равномерности распределения воздушного потока в системе рециркуляции аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов исследования будем проводить в два этапа.

1 этап - исследование распределения потоков воздуха в составляющих работающей системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов в точках 10-16 (рис.3.19), в зависимости от положения поворотной заслонки клапана-смесителя.

В качестве основного фактора принято положение поворотной заслонки клапана-смесителя L (рис. 3.20), оно регулируется по точкам I – заслонка закрыта (полная рециркуляция отработавшего агента сушки), II – среднее положение (50% -я рециркуляция), III – заслонка открыта (полная замена агента сушки). Для сравнения эффективности системы также проведем эксперимент без включенной системы рециркуляции с открытым зонтом.

Опыт будет проводиться следующим образом: запускаются вентиляторы 2, 5 и теплогенератор 1 (рис.3.4), исходя из теоретических расчетов проводимых для системы рециркуляции отработавшего агента

сушки, температуру агента сушки установим на уровне 70°С для максимальной эффективности и экономичности процесса. заслонки в распределяющем воздухоподводящем патрубке устанавливаем в полностью открытое положение – режим вентилирования (рис.3.17). После выхода на режим, устанавливается необходимое положение заслонок клапана-смесителя (рис. 3.19) описанное выше, далее замеряем скорости и напоры воздушных потоков согласно схемам замера, в воздухоподводящих патрубках и воздуховодах, в точках 1 – 3 (рис. 3.19), установлены трубки для определения расхода воздуха косвенным методом по многопредельному микроанометру с наклонной трубкой ММН-240 (рис. 3.15). В точках 4, 5 (рис. 3.19) измерения расхода воздуха проводили с помощью термоанемометра Testo 425 (рис. 3.9). В точках 6,7 (рис. 3.19) измерения расхода воздуха проводили с помощью электронным анемометром Testo 410-2 (рис. 3.10) Площадь поверхности материала составляет 15 м².

После проведения опытов проведем пересчет полученных данных в расходы воздуха и занесем их в таблицу.

2 этап - исследование распределения воздушных потоков по поверхности материала в камере сушки работающей системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов в точках I^* ... I_2^* в соответствии со схемой (рис. 3.22) в зависимости от положения поворотной заслонки клапана-смесителя.

В качестве основного фактора принято положение поворотной заслонки клапана-смесителя (рис. 3.19), оно регулируется по точкам I – заслонка закрыта (полная рециркуляция отработавшего агента сушки), II – среднее положение (50% -я рециркуляция), III – заслонка открыта (полная замена агента сушки). Для сравнения эффективности системы также проведем эксперимент без включенной системы рециркуляции с открытым зонтом.

Опыт будет проводиться следующим образом: запускаются вентиляторы 2, 5 и теплогенератор 1 (рис.3.4), исходя из теоретических расчетов проводимых для системы рециркуляции отработавшего агента

сушки, температуру агента сушки установим на уровне 70°C для максимальной эффективности и экономичности процесса. заслонки в распределяющем воздухоподводящем патрубке устанавливаем в полностью открытое положение – режим вентилирования (рис.3.17). После выхода на режим, устанавливается необходимое положение заслонок клапана-смесителя (рис. 3.19) описанное выше, далее замеряем скорости и напоры воздушных потоков в камере сушки при этом на поверхности материала (березовой щепы, зернового вороха и семян трав) для определения расхода исходящего воздуха в точках 1*... 12* в соответствии со схемой (рис. 3.22) установим конфузор с электронным анемометром UNI-T UT362 (рис. 3.6, 3.7). Конфузор пирамидальной формы с основанием 500*500 мм и высотой 500 мм, к которому закреплен воздуховод диаметром 120 мм и длиной 400 мм, внутри установлена крыльчатка электронного анемометра UNI-T UT362 (рис. 3.6, 3.7). Площадь поверхности вороха составляет 15 м².

Периодичность замеров будет составлять каждые 5 часов.

После проведения опытов проведем пересчет полученных данных в расходы воздуха и занесем их в таблицу.

Для определения равномерности прогрева березовой щепы, зернового вороха и семян трав в точках 1*... 12* в соответствии со схемой (рис. 3.22) замерим температуру поверхности электронным измерителем температуры в точках (рис.3.10), проведем измерения температуры агента сушки (рис. 3.5, 3.10). Также в точках 1*... 12* произведем отбор проб березовой щепы, зернового вороха и семян трав для измерения влажности на поверхности материала (рис 3.19). Измерения проводим через каждые 3 часа.

После проведения опытов проведем пересчет полученных данных и занесем их в таблицу.

После проведения экспериментов подсчитываем средние значения полученных результатов, которые приведены в таблицах приложения Д.

Основные статистические характеристики будут рассчитаны для расхода агента сушки после прохождения через материал, по методике,

приведенной в работе авторов Волхонова М.С., Зудина С.Ю., Зимина И.Б., Зырина И.С. [85].

Дисперсия S рассчитывалась по следующей зависимости [85]:

$$S = \frac{\sum(Y_i - Y_{cp})^2}{n - 1}, \quad (3.1)$$

где Y_i – i -й элемент выборки;

Y_{cp} – среднее арифметическое;

n – количество повторностей.

Среднеквадратическое отклонение σ рассчитывалось по следующей формуле [85]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - Y_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (3.2)$$

Коэффициент вариации ν рассчитывался по следующей формуле [85]:

$$\nu = \frac{S}{Y_{cp}} \cdot 100, \quad (3.3)$$

где S – среднеквадратическое отклонение.

Гарантийная ошибка m_D рассчитывались по следующей формуле [85], при числе повторностей опыта $n < 20$:

$$m_D = \pm \frac{S \cdot t_{табл}}{\sqrt{n - 1}}, \quad (3.4)$$

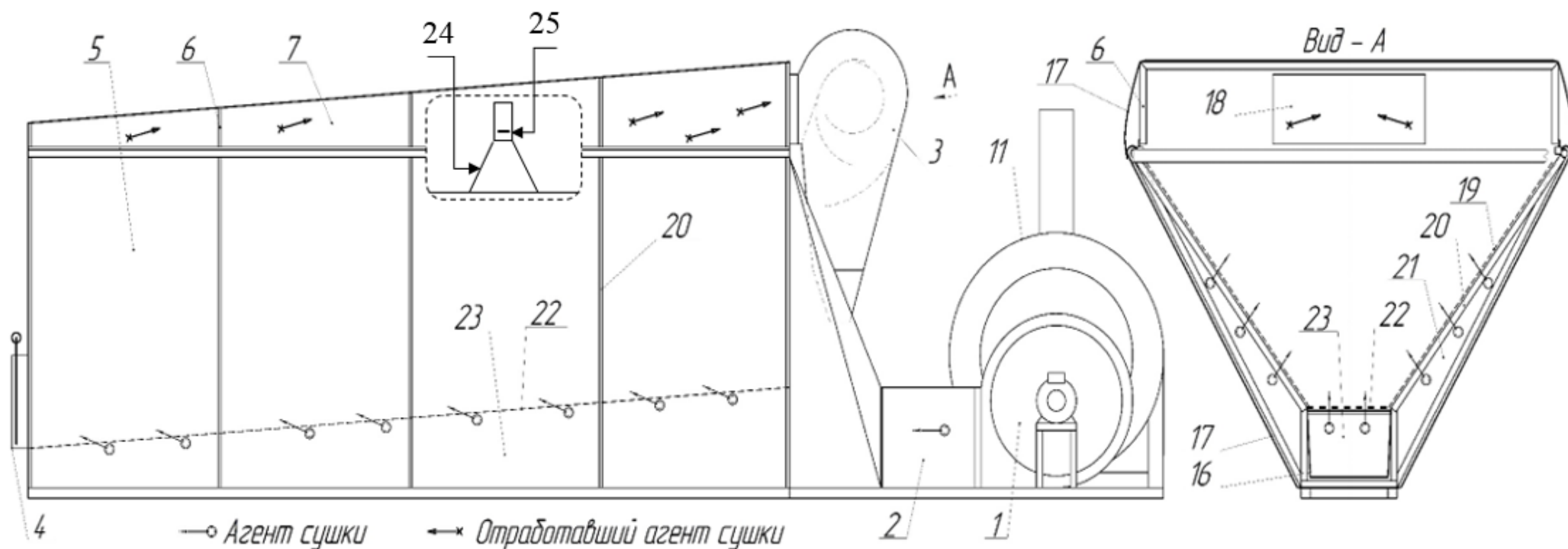
где $t_{табл}$ – табличный критерий Стьюдента.

Относительная гарантийная ошибка $m_D^{отн}$ рассчитывалась по следующей формуле [84]:

$$m_D^{отн} = \frac{m_D}{Y_{cp}} \cdot 100, \quad (3.5)$$

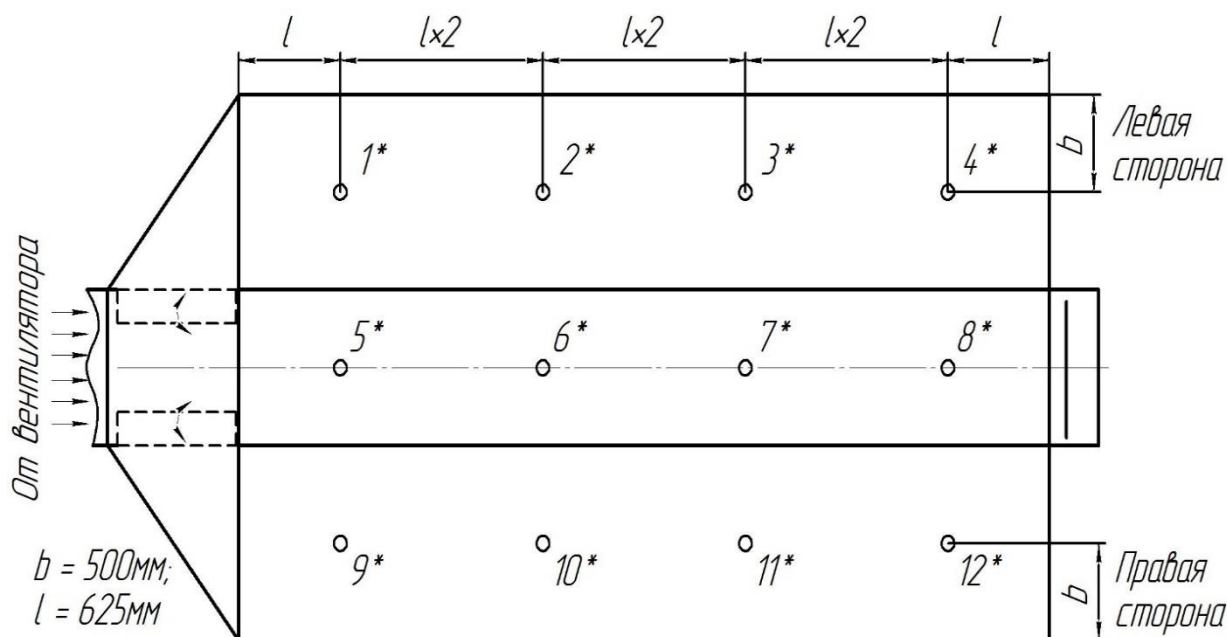
где m_D – гарантийная ошибка, %.

Результаты расчета представлены в приложении Б.



1 – вентилятор, 2 – воздухоподводящий патрубок, 3 – пылеулавливающее устройство, 4 – выпускной лоток, 5 – камера сушки аэрожелобного типа, 6 – металлический каркас, 7 – сдвижной зонт, 11 – топочный блок, 16 – стенки центрального воздухораспределительного канала, 17 – воздухонепроницаемая и водоотталкивающая ткань, 18 – отверстие для подключения пылеулавливающего устройства, 19 – боковые стенки из ткани для сит, 20 – металлический каркас камеры сушки, 21 – боковые воздухоподводящие полости, 22 – жесткая перфорированная грузонесущая перегородка, 23 – центральный воздухораспределительный канал; 24 – конфузор; 25 – электронный анемометр.

Рис. 3.21 – Конструктивно-технологическая схема зерносушилки с системой рециркуляции агента сушки (вид сбоку)



1* – 12* – точки замера влажности и расхода отработавшего агента сушки на поверхности материала

Рис. 3.22 – Схема точек замера влажности и расхода отработавшего агента сушки на поверхности материала заполненной камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучего материала

3.7 Методика автоматического управления заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

Основной проблемой при разработке автоматической системы управления является сложность измерения влажности агента сушки на входе в камеру сушки, большинство приемлемых по стоимости датчиков измерения относительной влажности рассчитаны на работу при температуре до 125°C , в то время как температура агента сушки на выходе из теплогенератора в определенные моменты времени может превышать данное значение. Это может повлечь выход из строя измерительных элементов и в целом снижает надежность работы всей системы.

Обзор существующих высокотемпературных датчиков измерения относительной влажности показал, что средняя стоимость изделий составляет 8000 – 9000\$, максимальная рабочая температура которых составляет 170 – 180°C. С целью значительного удешевления изделия было принято решение измерения относительной влажности агента сушки на выходе из теплогенератора косвенным способом.

Измерение относительной влажности агента сушки косвенным методом заключается в математическом расчете относительной влажности по h_d -диаграмме состояния влажного воздуха с учетом текущих значений относительной влажности и температуры агента сушки на входе в теплогенератор и температуры агента сушки на выходе из теплогенератора.

Поддержание требуемого значения относительной влажности агента сушки осуществляется путем установки заслонки клапана-смесителя в положение, определяемое блоком управления, описанным в разделе 2. Кроме установки заслонки в требуемое положение, необходимо также ее удержание на месте. Данным условиям отвечают электрические сервоприводы, в основе которых заложен принцип пропорционального управления.

Для поддержания оптимальных параметров сушки и обеспечения минимальных трудозатрат оператора, существует необходимость в создании автоматического управления заслонкой клапана-смесителя входящего в систему рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.

За основу взята «автоматизированная система управления технологическим процессом» - далее АСУ ТП, так как в настоящее время она является наиболее передовой в автоматическом управлении.

Все АСУ ТП созданы для того, чтобы облегчить работу персонала, осуществляющего контроль за протеканием различных технологических процессов – в частности это сбор оперативных параметров и контроль за нахождением их в зоне уставок с немедленной сигнализацией при выходе за пределы.

Данный принцип значительно облегчает поиск и разбор причин возникновения той или иной аварийной ситуации. Также некоторые АСУ ТП позволяют управлять исполнительными механизмами.

Автоматическое управление заслонкой клапана - смесителя системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов - подобие АСУ ТП (рис.3.23) состоящая из: шкафа, ПР200 программируемого реле с дисплеем, компьютера с программным обеспечением SimpLight, электроприводом без возвратной пружины Belimo GM 24, ПВТ110 промышленного датчика - преобразователя влажности и температуры воздуха.



Рис. 3.23 Принцип работы автоматизированного управления клапаном-смесителем системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов.



Рис. 3.24 Оборудование для сборки автоматизированного управления клапаном-смесителем системы рециркуляции: электропривод без возвратной пружины Belimo GM 24



Рис. 3.25 Оборудование для сборки автоматизированного управления клапаном-смесителем системы рециркуляции: ПВТ110 промышленный датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха



SCADA SIMP Light

СКАДА Симп Лайт

Программное обеспечение для построения
систем управления и диспетчеризации
различных объектов

Рис. 3.26 Оборудование для сборки автоматизированного управления клапаном-смесителем системы рециркуляции: лицензионное ПО



Рис. 3.27 Оборудование для сборки автоматизированного управления клапаном-смесителем системы рециркуляции: PR200 программируемое реле с дисплеем.



Рис. 3.28 Комплектующие автоматизированного управления клапаном-смесителем системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов в сборе

Все АСУ ТП являются многоуровневыми системами. Верхний уровень представляет собой SCADA систему, в электронном управлении заслонкой клапана смесителя — это программный продукт SimpLight, представляющий программный комплекс, который устанавливается обычно на несколько компьютеров. Серверы баз данных, автоматизированные рабочие места оперативного персонала – далее АРМ, представляют собой непосредственно сам сервер со SCADA. На серверах хранится вся собираемая информация с привязкой к дате и времени, АРМы (может быть и один АРМ) отображают мнемосхему контролируемого объекта и текущие оперативные параметры, а сервер SCADA занимается сбором данных с подключенных контроллеров объекта. При автоматическом управлении заслонкой клапана -смесителя системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для

сушки сыпучих материалов, ноутбук включает в себя сервер баз данных, АРМ и сервер SCADA.

На среднем уровне АСУ ТП расположены контроллеры управления. Их основная задача – это управление по заданной программе исполнительными механизмами, сбор данных с различных контрольных датчиков и передача этих данных на верхний уровень АСУ ТП.

В системе автоматического управления клапаном – смесителем роль контроллера выполняет программируемое реле ПР200, оно передает в SCADA значение температуры и влажности, текущее задаваемое значение угла открытия заслонки. Из SCADA программируемое реле получает заданное значение влажности, которое необходимо поддерживать. Обмен данными с верхним уровнем, а также получение значений температуры и влажности с датчика осуществляется по интерфейсу RS485 в протоколе Modbus RTU.

Управление электроприводом клапана-смесителя осуществляется аналоговым сигналом 2...10 В.

Для поддержания заданного значения и обмена данными для программируемого реле написана программа в среде программирования OWEN Logic на языке FBD. Основой программы является ПИД-регулятор. На нижнем уровне, его называют полевым уровнем любой АСУ ТП, также находятся различные измерительные датчики и исполнительные механизмы. В системе автоматического управления заслонкой клапана-смесителя находятся ПВТ110 промышленный датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха, и электропривод без возвратной пружины Belimo GM 24.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты лабораторного исследования определения аэродинамических характеристик в камере сушки зерносушилки

Согласно методике, изложенной в разделе 3.5, был проведён однофакторный эксперимент, результаты представлены в таблице 4.1.

Температура наружного воздуха $t_{н.в.}$ находилась в пределах 20,5...22,5°C, атмосферное давление $P_{атм} = 101,4$ кПа, влажность воздуха, $\varphi, = 89\%$. Потребляемая мощность электроэнергии, $N_{эл}$, составила 7,6 кВт·ч на режиме 90° – заслонки полностью закрыты, 7,1 кВт·ч на режиме 45° – заслонки открыты полностью, расход воздуха на входе в распределяющий воздухоподводящий патрубок, Q_n , – 25452 м³/ч.

Графическое отображение полученных данных расхода воздуха в зависимости от положения заслонок было выполнено в редакторе электронных таблиц MS Excel и представлены на рисунках 4.1 – 4.3.

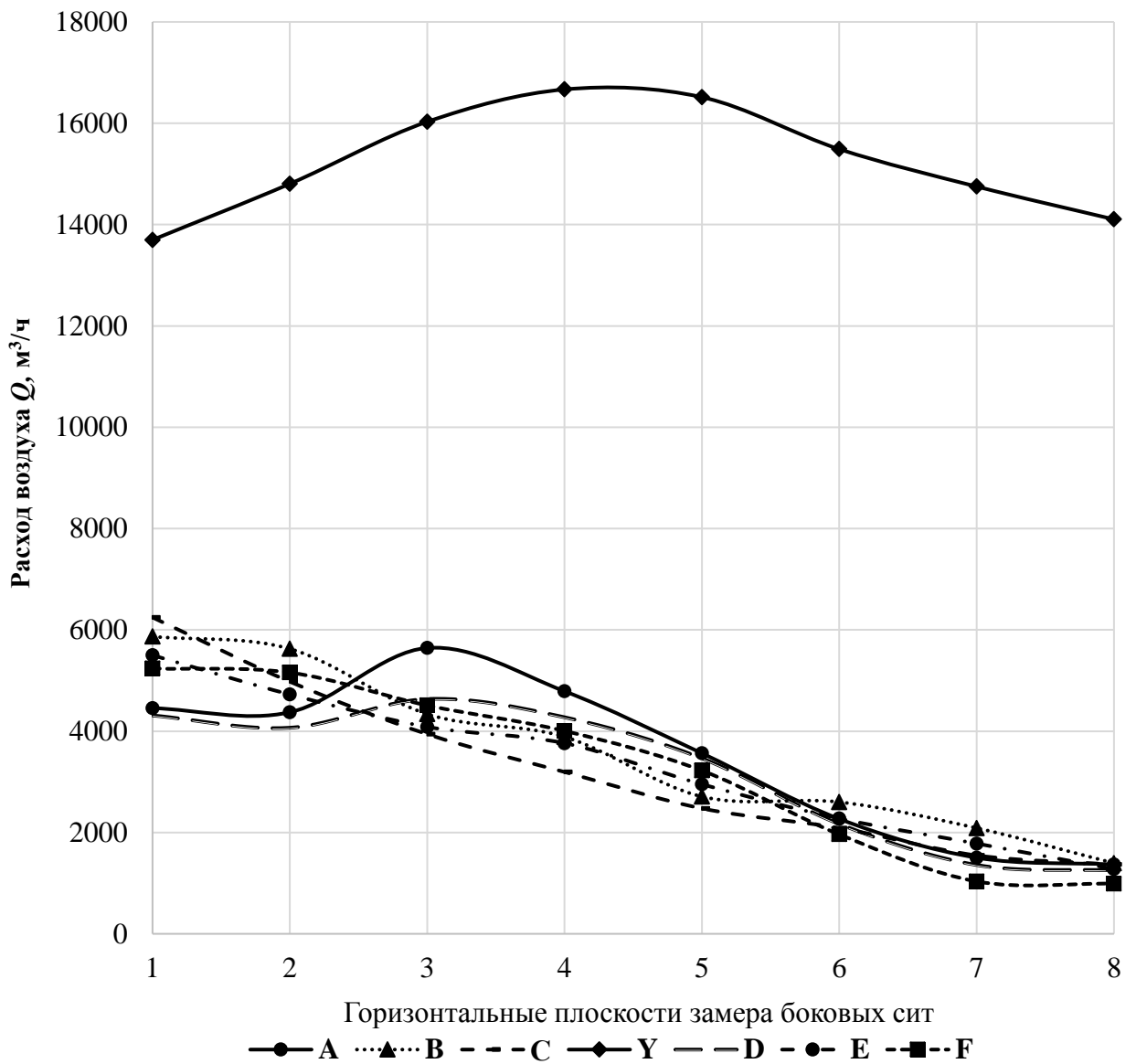
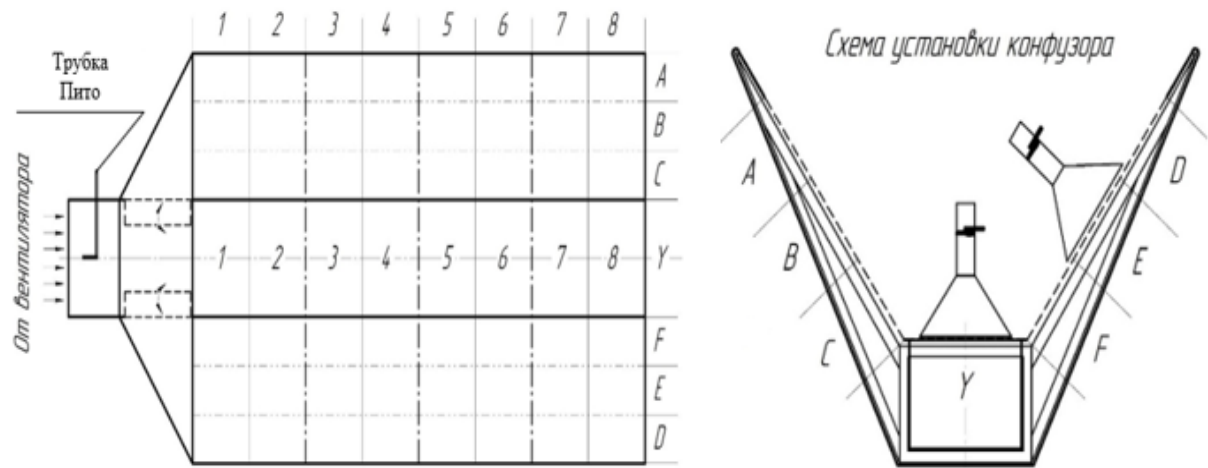


Рисунок 4.1 – Расход исходящего воздуха на поверхности тканевых сит боковых воздухоподводящих полостей и жесткой перфорированной грузонесущей перегородки при полностью открытых заслонках

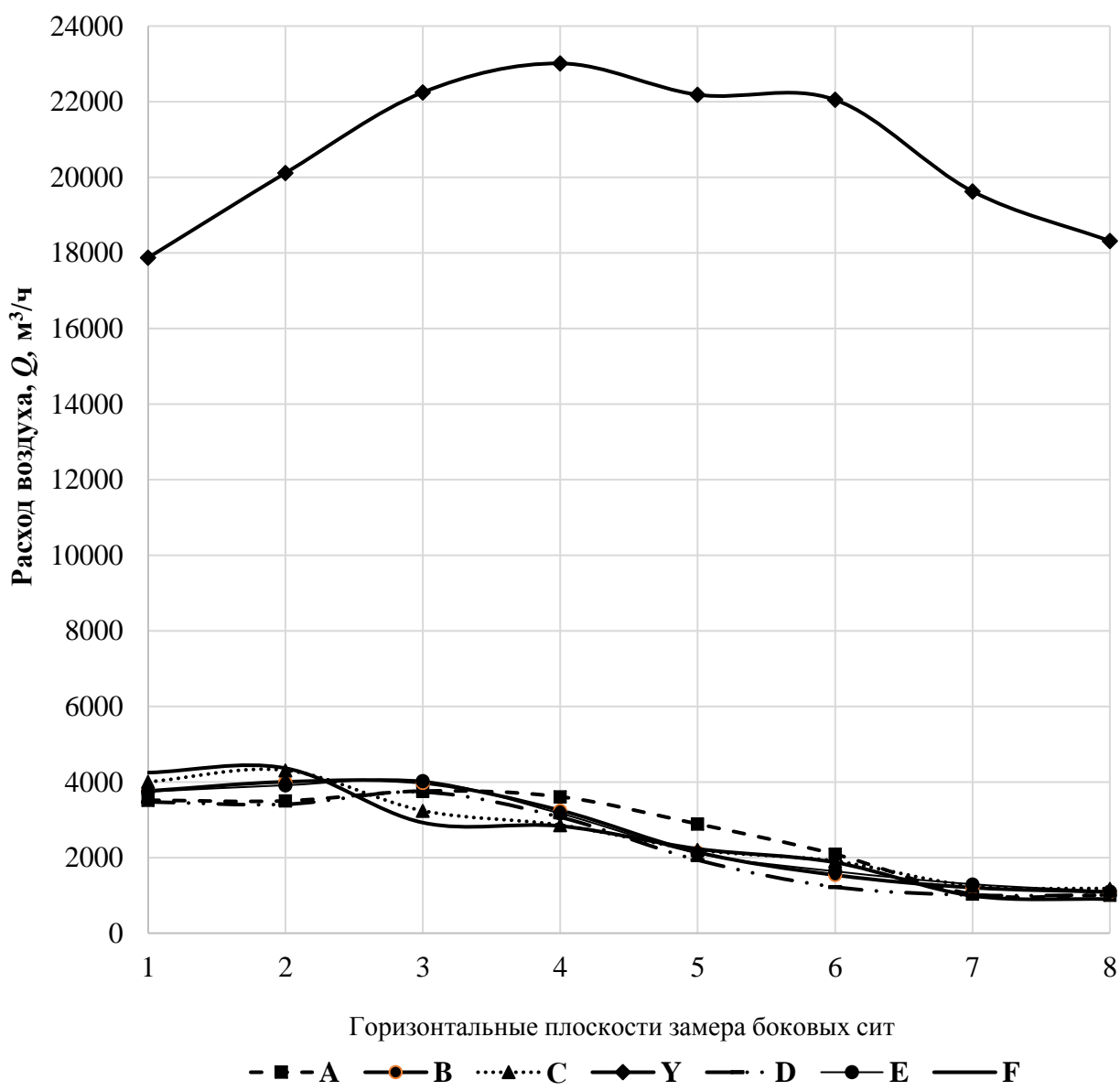
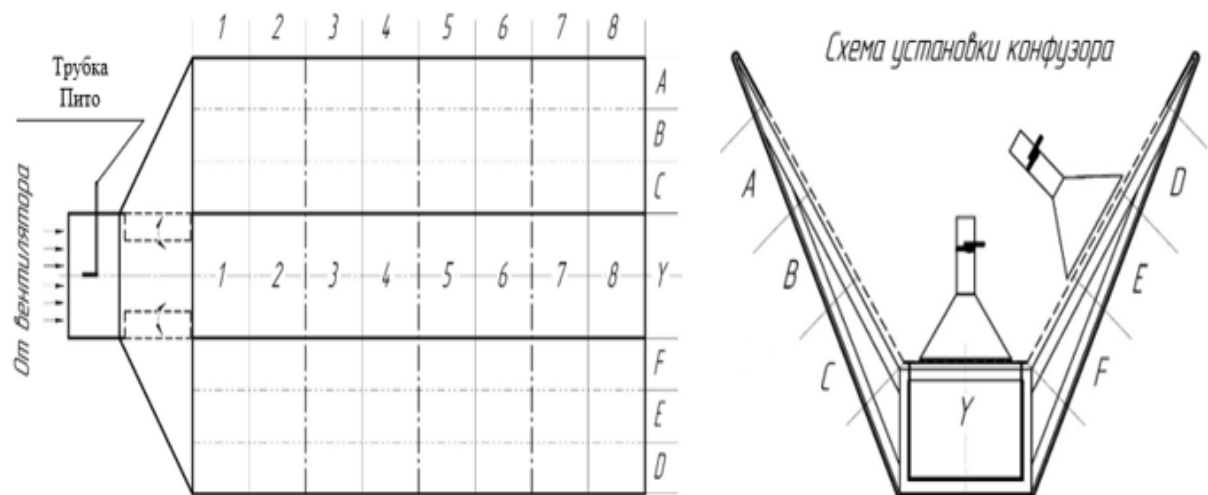
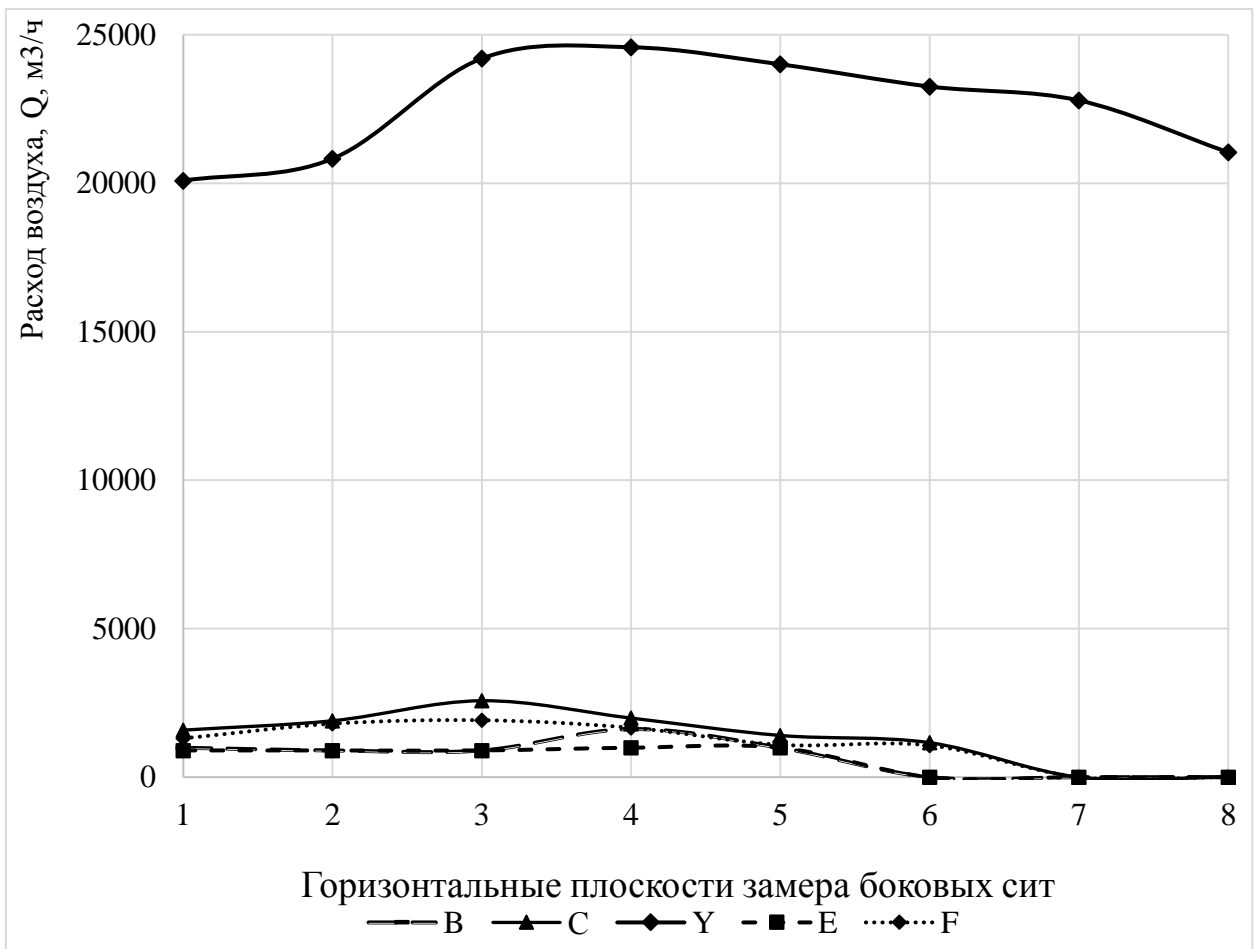
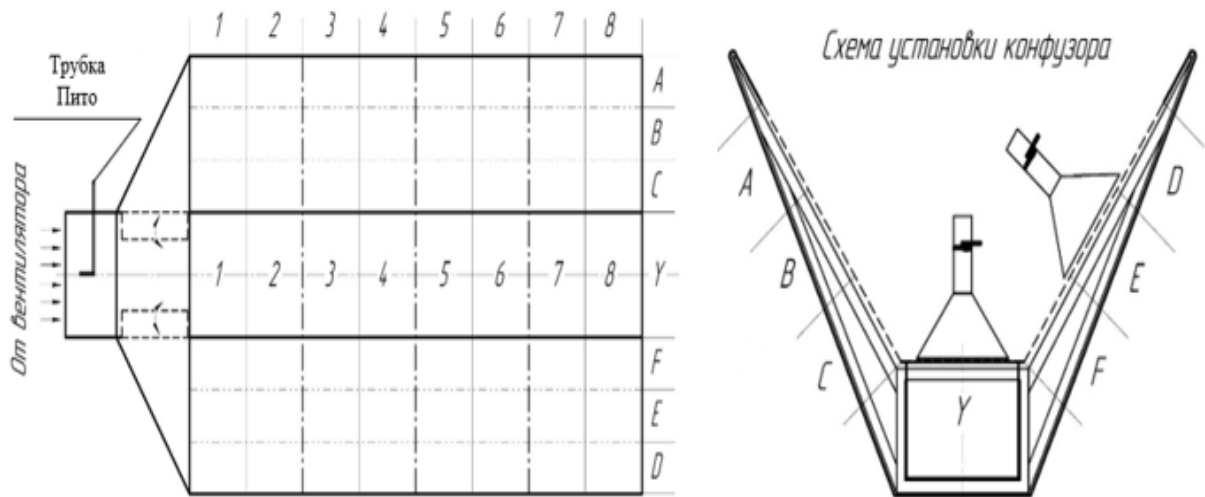


Рисунок 4.2 – Расход исходящего воздуха на поверхности тканевых сит боковых воздухоподводящих полостей и жесткой перфорированной грузонесущей перегородки при среднем положении заслонок



Плоскости замера A и D не показаны по причине нулевых значений расхода воздуха

Рисунок 4.3 – Расход исходящего воздуха на поверхности тканевых сит боковых воздухоподводящих полостей и жесткой перфорированной грузонесущей перегородки при среднем положении заслонок

Из полученных графиков представленных на рисунках 4.1 и 4.2 видно, что расхода воздуха из жесткой перфорированной грузонесущей перегородки (плоскость - Y) при открытых заслонках выше чем из боковых воздухоподводящих полостей, это связано с высоким живым сечением тканевых сит, что приводит к резкому снижению скорости воздуха в месте замера, по причине выхода воздуха по пути наименьшего сопротивления.

Из всех полученных графиков видно, что расход воздуха в средней части жесткой перфорированной грузонесущей перегородки (плоскость - Y) выше чем в начале и в конце, это связано с падением скорости воздуха в результате эжекции в начале грузонесущей перегородки и падением скорости воздуха в конце перегородки из-за отсутствия зернового вороха на грузонесущей перегородке.

При этом из рисунков 4.1 и 4.2 видно, что подсоса воздуха в начале боковых воздухоподводящих полостей нет, а падение скорости ближе к выгрузному отверстию связано с высоким живым сечением тканевых сит и отсутствием зернового вороха в камере сушки.

4.2 Результаты производственных испытаний зерносушилки при вентилировании щепы

В соответствии с принятой программой производственные испытания проведены на опытном образце аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов (рис. 3.3), установленном на опытном поле ФГБОУ ВО Костромской ГСХА, при этом камеру сушки заполнили березовой щепой средней фракции 4×10 мм с начальной средней влажностью 28% (рис. 4.5), при этом исследовалась равномерность распределения воздушного потока через материал без системы рециркуляции и с работающей системой рециркуляции отработавшего агента сушки при разных положениях поворотной заслонки.

Выходной величиной (откликом) являлся: расход атмосферного воздуха, $Q_{н}$, м³/ч (в точках 4, 7 в зависимости от положения заслонки); расход агента сушки $Q_{a.c.}$, м³/ч (в точках 1, 5); расход воздуха после прохождения через материал, $Q_{к}$, м³/ч, (снижение скорости потока воздуха); расход отработавшего агента сушки $Q_{o.a.c.}$, м³/ч (в точках 2, 3, 4, 6).



Рис.4.4 – Транспортировка опытного образца на опытное поле ФГБОУ ВО Костромской ГСХА



Рис. 4.5 Загрузка щепы и заполненная березовой щепой камера сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

Контролируемые факторы: температура наружного воздуха $t_{н.в.}$, составила -8 °С; влажность воздуха $\varphi_{н.в.}$, 95%; влажность материала w_3^H , 28%; температура материала $t_{з.н.}$, -5 °С; влажность отработавшего агента сушки 99,3%.

После проведения экспериментов подсчитывались средние значения полученных результатов, которые приведены в Приложении Д

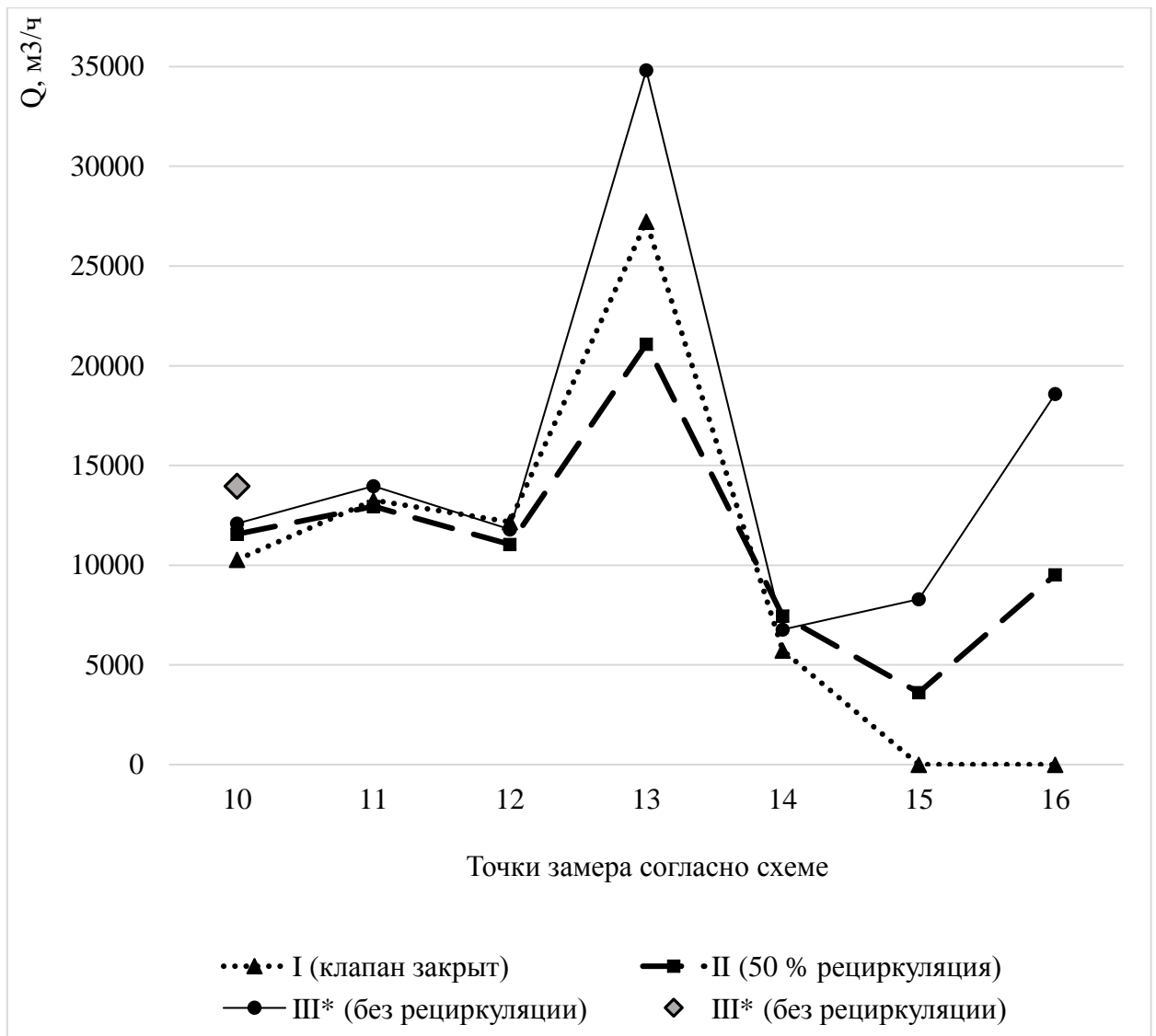


Рис. 4.6 - Аэродинамические характеристики в воздуховодах работающей системы рециркуляции отработавшего агента сушки в зависимости от положения поворотной заслонки клапана смесителя и без системы

В точках 15 и 16 при положении поворотной заслонки клапана – смесителя I (закрыт) на рисунке приведены нулевые значения, так как система замкнута воздух не поступает и не выходит.

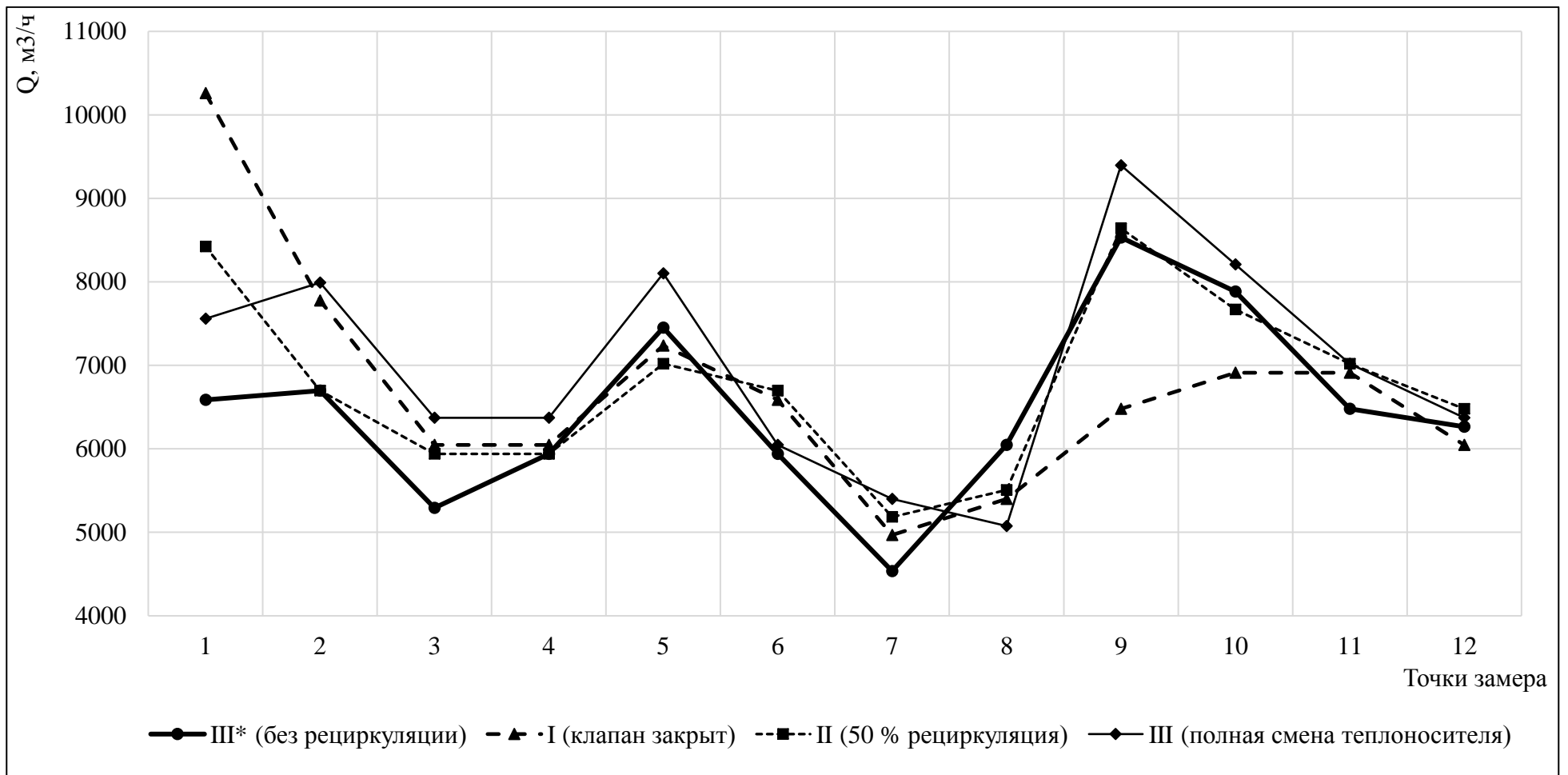


Рис. 4.7 - Изменение расхода воздуха прошедшего через березовую щепу в 12 точках, расположенных по всей площади поверхности материала

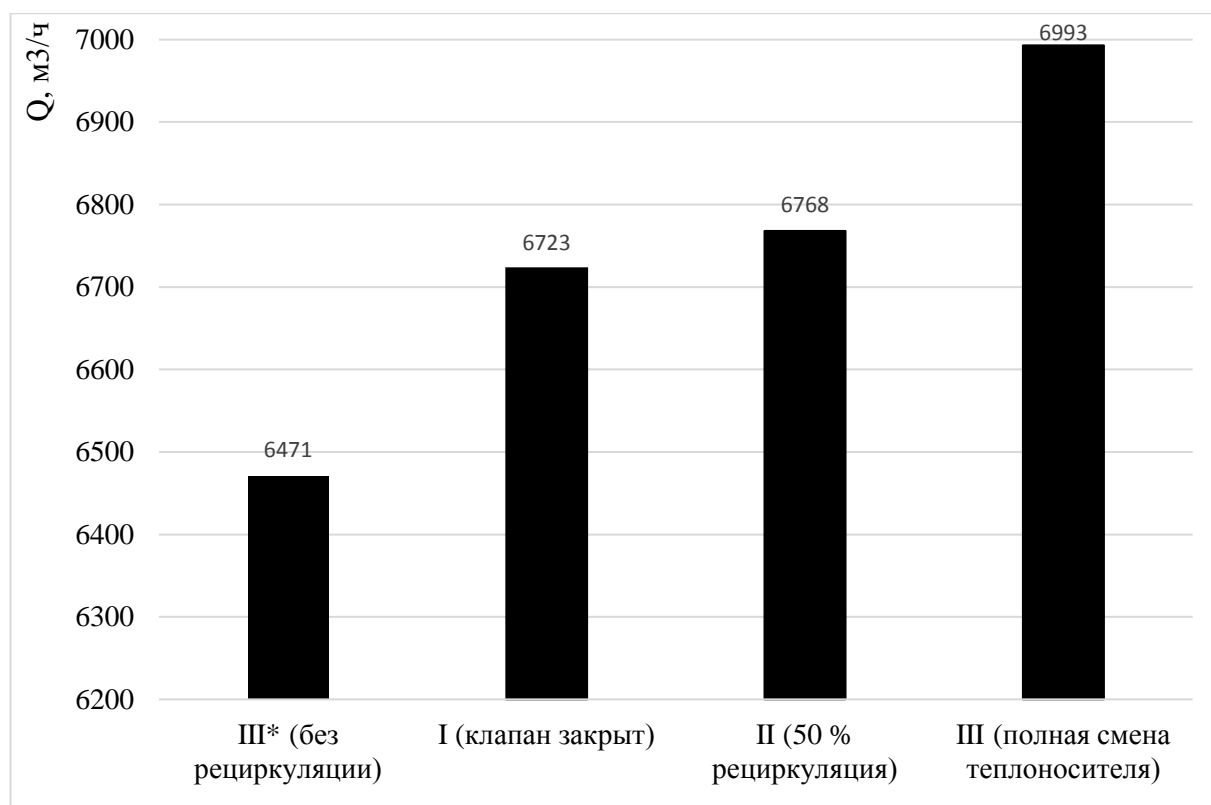


Рис. 4.8 - Сравнение средних значений расходов воздуха без системы рециркуляции и с системой при разных положениях поворотной заслонки клапана - смесителя

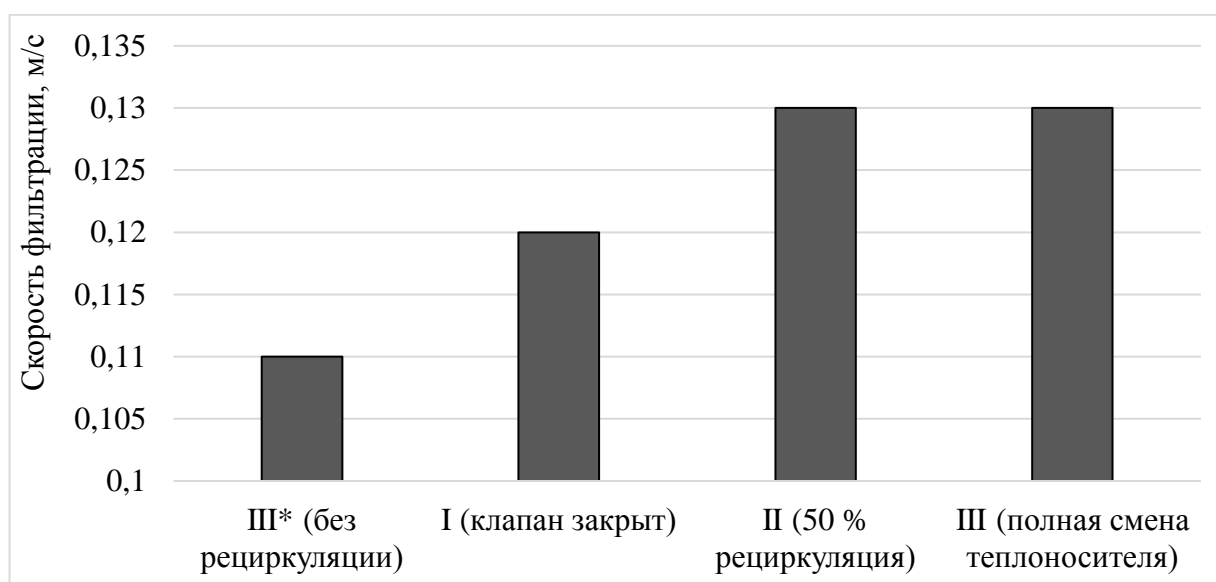


Рис. 4.9 - Сравнение значений скорости фильтрации без системы рециркуляции отработавшего агента сушки и с системой при разных положениях поворотной заслонки клапана смесителя

Анализируя полученные данные испытаний на березовой щепе можно сделать вывод о том, что использование системы рециркуляции отработавшего агента сушки оказывает положительный эффект на расход воздуха и скорость фильтрации через материал, тем самым увеличивается скорость сушки, при этом решается проблема запыления рабочей зоны.

При положении заслонки клапана - смесителя I (закрыт), средние значения расхода воздуха выше на 3,89%, скорость фильтрации улучшится на 9,09%. При положении заслонки клапана - смесителя II (50 % рециркуляция), средние значения расхода воздуха выше на 4,59%, скорость фильтрации улучшится на 18,18%. Наилучшие показатели при положении заслонки клапана – смесителя III (полная смена теплоносителя), средние значения расхода воздуха выше на 8%, скорость фильтрации остается на том же уровне 18,18%.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

5.1 Реализация результатов исследований и их экономическая эффективность

Повышение экономической эффективности возможно за счет уменьшения травмируемости зерна и повышения его качества, интенсификации сушки зернового вороха. Сравнение произведено по двум вариантам [81] Первый вариант предусматривает экономическую оценку процесса сушки зерна в металлической зерносушилке, без дополнительного подвода воздуха в боковых стенках и без системы рециркуляции агента сушки. Второй вариант обуславливает оценку эффективности обработки зерна в тканево-каркасной камере сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов с системой рециркуляции отработавшего агента сушки и с подводом воздуха в боковые стенки, изготовленные из тканевых сит с увеличенным живым сечением.

Испытания опытного образца аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов в сборе с системой рециркуляции отработавшего агента сушки проведены в структурном подразделении Костромской ГСХА «Опытное поле». Внедрение в производство будет произведено на ОАО «Племзавод Караваяево»

Суммарные капитальные вложения в новом варианте определяем по формуле [82]:

$$C_k = C_{пд} + C_{ид} + C_{мр}, \quad (5.1)$$

где $C_{пд}$ – стоимость покупных деталей, руб.;

$C_{ид}$ – стоимость деталей, руб.;

$C_{мр}$ – стоимость монтажных работ, руб.

Стоимость покупных деталей представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Стоимость покупных деталей

Наименование деталей	Кол-во	Стоимость единицы, руб.	Всего, руб.
Болт 12 X 80	30	14,7	441
Болт 8 X 50	60	5,7	342
Гайка оц. М12	30	13,1	393
Гайка М 8	60	6	360
Шайба 12Л	30	8	240
Шайба 8Л	60	4,5	270
Итого			2046

Стоимость изготовленных деталей [82]:

$$C_{ид} = C_m + C_p, \quad (5.2)$$

где C_m – стоимость материала, руб;

C_p – стоимость работ, руб.

Стоимость покупных материалов представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Стоимость покупных материалов

Наименование материала	Кол-во, ед.	Стоимость, руб./ед.	Всего, руб.
Ткань Оксфорд 600 D PU, м.	75	213	15975
Ткань капроновая для сит 24,7 пч 150/122 265 мкм, м.	16	726	11616
Тесьма 5 см (2,5 т.), м.	96	40	3840
Тесьма 2 см (1 т.), м.	36	30	1080
Нитки 50 К, шт.	10	35	350

Уголок 25×25, м.	6	175	1050
Уголок 40×40, м.	20	310	6200
Уголок 50×50, м.	1,5	490	735
Уголок 75×75, м.	6	715	4290
Труба профильная (прямо.) 40×20 мм, м	30	155	4650
Труба профильная (прямо.) 40×25 мм, м	22	185	4070
Труба профильная (квадр.) 60×60 мм, м	12	360	4320
Труба профильная (квадр.) 25×25 мм, м	10	128	1280
Труба круглая мет. D 32 мм, м	30	412	12360
Полоса 25×4 мм, м	12	68	816
Лист, оцинкованный толщина 0,4 мм, 1250х2500 мм	4	544	2176
Итого			74808

Стоимость работ [82]:

$$C_{\text{РИ}} = t \cdot T_{\text{ч}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{о}}, \quad (5.3)$$

где t – время работы, ч.;

$T_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка, руб/ч.;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат, $k_{\text{д}}=1,6$;

$k_{\text{о}}$ – коэффициент отчислений в социальные фонды, $k_{\text{о}}=1,302$.

Раскройные работы:

$$C_{\text{Р,Р}} = 56 \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 1,302 = 17498,90 \text{ руб.}$$

Швейные работы:

$$C_{\text{ШВ,Р}} = 176 \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 1,302 = 54996,50 \text{ руб.}$$

Слесарные работы:

$$C_{\text{СЛ.Р}}=56 \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 1,302=17498,90 \text{ руб.}$$

Сварочные работы:

$$C_{\text{СВ.Р}}=24 \cdot 250 \cdot 1,6 \cdot 1,302=12499,20 \text{ руб.}$$

Общая стоимость работ:

$$C_{\text{Р}}=102493,50 \text{ руб.}$$

Стоимость изготовления деталей:

$$C_{\text{ИД}}=74808+102493,50=177301,5 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажных работ [82]:

$$C_{\text{МР}}=8 \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 1,302=2499,90 \text{ руб.}$$

Стоимость изготовления устройства:

$$C_{\text{иу}}=2046+177301,5+2499,90=181847,4 \text{ руб.}$$

Определение эксплуатационных издержек на обслуживание в проектном и базовом вариантах [82]:

$$И_{\text{Э}}=З_{\text{П}}+А+Р+З_{\text{Э}}+З_{\text{Т}}+З_{\text{ПР}}, \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{п}}$ - затраты на оплату труда обслуживающего персонала по новой технологии, руб.;

A – отчисления на амортизацию, руб.;

P – отчисления на ремонт и техническое обслуживание, руб.;

$Z_{\text{э}}$ - затраты на электроэнергию, руб.;

$Z_{\text{т}}$ - затраты на топливо, руб.;

$Z_{\text{пр}}$ – прочие затраты, руб.

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала [38]:

$$Z_{\text{п}} = t \cdot \tau \cdot k_{\text{д}} \cdot K_{\text{о}}, \quad (5.5)$$

где t – время работы, час.;

τ – часовая тарифная ставка обслуживающего персонала, руб./ч.;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат.;

$K_{\text{о}}$ - коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

Расчёт производительности проводили по формуле [84]:

$$W = \frac{M}{T}, \quad (5.6)$$

где W – производительность устройства, т/ч.;

M – масса зернового вороха, т.;

T – затраченное время на сушку зернового вороха, ч.

Переведем массу зернового вороха в плановые тонны по формуле:

$$M_{\text{пл}} = M_{\text{ф}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{\text{в}}, \quad (5.7)$$

где $M_{\text{пл}}$ – масса сырого вороха в плановом исчислении, пл.т.;

M_{Φ} – масса сырого вороха, поступившего на сушку, т.;

K_K – коэффициент пересчёта в плановые тонны в зависимости от культуры, принимаем $K_K = 1$;

K_B – коэффициент пересчёта в плановые тонны в зависимости от влажности зерна, принимаем $K_B = 1,25$;

$$M_{пл} = 30 \cdot 1 \cdot 1,25 = 37,5.$$

Найдём производительность установки:

$$W = \frac{37,5}{24} = 1,56 \text{ пл.т/ч.}$$

Время работы сушилki [82]:

$$t = \frac{B_3}{W_n}, \quad (5.8)$$

где W_n - паспортная производительность, пл.т/час;

B_3 - объем сушки зерна исходной влажности при одной загрузке, пл.т;

Проектный вариант: $t_{\Pi} = \frac{12,5}{1,56} = 8$ часов.

Базовый вариант: $t_B = \frac{12,5}{1,25} = 10$ часов.

Проектный вариант: $Z_{\Pi\Pi} = 8 \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 1,302 = 2499,84$ руб.

Базовый вариант: $Z_{\Pi B} = 10 \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 1,302 = 3124,8$ руб.

Отчисления на амортизацию [82]:

$$A = \frac{K_n \cdot a}{N \cdot 100\%}, \quad (5.9)$$

где, a - коэффициент отчислений на амортизацию;

K_n - балансовая стоимость устройства с дополнительным оборудованием, руб.;

N – количество загрузок в год, ед.

Дополнительное оборудование:

Промышленные вентиляторы среднего давления ВР 9-55 №10 (2 шт.) – 548000 руб. (1 шт. – 274000 руб.)

Топочный блок RIR ТБ-0,75 ТО косвенного нагрева (Теплообменник) + горелка дизельная Baltur TBL 85P – 675000 руб.

Золоуловитель ЗУ 1-2 (горизонтальный циклон) – 58000 руб.

Клапан-смеситель – 72500 руб.

Электропривод без возвратной пружины Velimo GM 24 – 25000 руб.

ПВТ110 промышленный датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха – 14700 руб.

ПР200 программируемое реле с дисплеем – 14340 руб.

Проектный вариант:

$$K_{H2}^{PP} = 181847,4 + 548000 + 675000 + 58000 + 72500 + 25000 + 14700 + 14340 = 1589387,4 \text{ руб.}$$

$$A_{II} = \frac{1589387,4 \cdot 8}{5 \cdot 100} = 25430,2 \text{ руб.}$$

Базовый вариант:

$$K_H^{БАЗ} = 1950000 \text{ руб.}$$

$$A_B = \frac{1950000 \cdot 8}{5 \cdot 100} = 31200 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт и техническое обслуживание [82]:

$$P = \frac{K_H \cdot r}{100\%}, \quad (5.10)$$

где r - отчисления на техническое обслуживание и ремонт сушилки.

$$\text{Проектный вариант: } P_{II} = \frac{1589387,4 \cdot 5}{100} = 79469,37 \text{ руб.}$$

$$\text{Базовый вариант: } P_B = \frac{1950000 \cdot 5}{100} = 97500 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию [82]:

$$Z_{\text{Э}} = t \cdot N_{\text{пр}} \cdot \text{Ц}_{\text{Э}}, \quad (5.11)$$

где t – время работы сушилки на одной загрузке, ч;

$N_{\text{пр}}$ - потребляемая мощность привода, кВт;

$\text{Ц}_{\text{Э}}$ - цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч (10 руб./кВт·ч);

$$\text{Проектный вариант: } Z_{\text{ЭII}} = 8 \cdot 33 \cdot 10 = 2640 \text{ руб.}$$

$$\text{Базовый вариант: } Z_{\text{ЭБ}} = 10 \cdot 36 \cdot 10 = 3600 \text{ руб.}$$

Затраты на топливо [82]:

$$Z_T = \frac{C_T \cdot Z_{Б,Н} \cdot M_B}{Q_{уд}}, \quad (5.12)$$

где M_B - количество влаги, испаряемой из зернового вороха, кг;

$Z_{Б,Н}$ - удельный расход теплоты в сушилке, на испарение одного килограмма влаги в базовом и новом вариантах, кДж/кг_{исп.вл.};

C_T - Цена 1кг. дизельного топлива, руб.;

$Q_{уд}$ - теплотворная способность топлива, МДж/кг.

Количество влаги, испаряемой при сушке из зерна [81]:

$$M_B = m_B \frac{\omega_H - \omega_K}{100 - \omega_K}, \quad (5.13)$$

где m_B - масса высушиваемого материала, пл.т;

ω_H - влажность зерна до сушки, %;

ω_K - влажность зерна после сушки, %.

$$M_B = 12,5 \cdot \frac{20-14}{100-14} = 0,87 \text{ пл. т.}$$

$$\text{Проектный вариант: } Z_{ТП} = \frac{62 \cdot 7200 \cdot 0,87}{42,7} = 9095,27 \text{ руб.}$$

$$\text{Базовый вариант: } Z_{ТБ} = \frac{62 \cdot 9500 \cdot 0,87}{42,7} = 12000,7 \text{ руб.}$$

Прочие затраты [82]:

$$Z_{ПР} = 8\%(Z_n + A + P + Z_3 + Z_T), \quad (5.14)$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{ПРП}} = 0,08 \cdot (2499,84 + 25430,2 + 79469,37 + 2640 + 9095,27) = 9530,77 \text{ руб.}$$

Базовый вариант:

$$Z_{\text{ПРБ}} = 0,08 \cdot (3124,9 + 31200 + 97500 + 3600 + 12000,7) = 11794,05 \text{ руб.}$$

Таким образом, эксплуатационные издержки составят:

Проектный вариант:

$$I_{\text{ЭП}}^{\text{пр}} = 2499,84 + 25430,2 + 79469,37 + 2640 + 9095,27 + 9530,77 \\ = 128665,45 \text{ руб.}$$

Базовый вариант:

$$I_{\text{ЭП}}^{\text{баз}} = 3124,9 + 31200 + 97500 + 3600 + 12000,7 + 11794,05 = 159219,65 \\ \text{руб.}$$

Определим удельную экономию на 1 партию зерна [82]:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = I_{\text{ЭП}}^{\text{баз}} - I_{\text{ЭП}}^{\text{пр}} + C_{\text{ДП}}, \quad (5.15)$$

где $C_{\text{ДП}}$ – стоимость дополнительной продукции.

$$C_{\text{ДП}} = (B_3 \cdot K_{\text{вс}}^{\text{пр}} - B_3 \cdot K_{\text{вс}}^{\text{баз}}) \cdot C_{\text{зер}}, \quad (5.16)$$

где B_3 – полная загрузка 1 партии зерна

$B_3 = 12,5$ пл. тонн (объем полной загрузки устройства);

$K_{вс}^{np}$ - проектная всхожесть семян;

$K_{вс}^{баз}$ - базовая всхожесть семян;

Всхожесть: $K_{вс}^{np} = 0,80$ $K_{вс}^{баз} = 0,76$

$C_{зер}$ – цена семян пшеницы за 1,25 пл. т.

Цена за 1,25 пл. т. пшеницы = 14200руб.

Всхожесть была определена в лаборатории Костромской ГСХА

$$C_{дп} = (12,5 \cdot 0,8 - 12,5 \cdot 0,76) \cdot 14200 = 7100 \text{руб.},$$

$$\mathcal{E}_{y\partial} = (159219,65 - 128665,45) + 7100 = 37654,2 \text{руб.}$$

Определим годовую экономию [82]:

$$\Gamma_{\text{г}} = \mathcal{E}_{y\partial} \cdot N, \quad (5.17)$$

где N – количество циклов работы в год.

$$\Gamma_{\text{г}} = 37654,2 \cdot 5 = 188271 \text{руб.}$$

Срок окупаемости определится как отношение затрат на модернизацию к годовой экономии [82]:

$$T = \frac{C_{иу}}{\Gamma_{\text{г}}}, \quad (5.18)$$

$$T = \frac{1589387,4}{188271} = 8,44 \text{ года}$$

Таблица 6.3 – Эффективность модернизированной сушилки

Показатели	Базовый	Проектный
Затраты на сушку 1 партии, руб.	159219,65	128665,45
в т.ч. затраты на оплату труда персонала	3124,9	2499,84
- затраты на амортизацию	31200	25430,2
- затраты на ТО и ремонт сушилки	97500	79469,37
- затраты на электроэнергию	3600	2640
- затраты на топливо	12000,7	9095,27
Продолжительность сушки, ч.	10	8
Производительность сушилки, пл.т./ч.	1,25	1,56
Годовая экономия, руб.	-	188271
Срок окупаемости, год.	-	8,44

5.2 Энергетический анализ эффективности применения передвижной сушилки с системой рециркуляции агента сушки

Исходя из теоретического обоснования и теплового расчета основных параметров системы рециркуляции агента сушки проведем энергетический анализ эффективности применения передвижной сушилки с системой рециркуляции агента сушки.

Рассчитаем массу влаги, испаряемую из 1 тонны зерна:

$$M_{в} = M_{з} \frac{w_{н} - w_{к}}{100 - w_{н}}, \quad (5.19)$$

где: $M_{з}$ - масса зерна, кг;

$w_{н}$ - начальная влажность зерна, %;

$w_{к}$ - конечная влажность зерна, %;

$$M_e = 1000 \frac{20-14}{100-14} = 69,77 \text{ кг}$$

Определим необходимый удельный расход энергии для испарения влаги:

$$Ei \text{ уд.} = Ei \text{ уд.} \cdot M_e, \quad (5.20)$$

где: $Ei \text{ уд.}$ и – энергозатраты на испарение, МДж/кг. исп.

$$Ei \text{ уд.} \cdot u_1 = 3.5 \cdot 3 = 325,5 \text{ МДж/кг. исп}$$

$$Ei \text{ уд.} \cdot u_4 = 2.2 \cdot 69,77 = 153,49 \text{ МДж/кг. исп}$$

$$Ei \text{ уд.} \cdot u_{1-4} = 325,5 - 153,49 = 172,01 \text{ МДж/кг. исп}$$

Количество топлива:

$$N_m = \frac{Ei \text{ уд.} \cdot u_{1-4}}{Q}, \quad (5.21)$$

где: Q – удельная теплота сгорания топлива, $Q = 42,7$ МДж;

$$N_m = \frac{172,01}{42,7} = 4,03 \text{ кг}$$

Определим сумму сэкономленных денежных средств

$$\Sigma = N_m \cdot P,$$

где: P – цена топлива, $P = 62$ руб.;

$$\Sigma u = 3,33 \cdot 62 = 206,46 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитываем удельный расход энергозатрат на привод вентилятора и получаем сумму сэкономленных средств

$$\Sigma \text{ пр. в} = 33,3 \text{ руб.}$$

Рассчитаем общую сумму сэкономленных денежных средств на 1 тонну высушенного материала

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ общ} &= \Sigma u + \Sigma \text{ пр. в} & (5.22) \\ \Sigma \text{ общ} &= 206,46 + 33,3 = 239,76 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Годовую экономию определяли по формуле:

$$E^{год} = E_{общ} \cdot T_{год}, \quad (5.23)$$

где $T_{год}$ – годовой объем продукции по новой технологии, тонн. Принимаем $T_{год} = 500$ т./год, т.к. производительность сушилки 1,25 т./ч., а годовая зональная сезонная нагрузка работы сушилок составляет 400 час.

$$E^{год} = 239,76 \cdot 500 = 119880 \text{ руб.}$$

5.2.1 Выводы по разделу

Проведённый анализ экономической эффективности опытного образца тканево-каркасной зерносушилки с системой рециркуляции агента сушки и с подводом воздуха в боковые стенки, изготовленные из тканевых сит с увеличенным живым сечением, позволяет понять на сколько перспективной является её изготовление и внедрение. Денежные средства, которые необходимы для её изготовления камеры сушки без дополнительного оборудования составляют 181,8тыс. руб. Годовая экономия составит 188 тыс. руб. Очевидно, что

данная разработка, снижает затраты при послеуборочной обработке зернового вороха, а также повышает его качество.

В итоге за счет применения системы рециркуляции возможно добиться дополнительной экономии денежных средств, что в сумме с годовой экономией, рассчитанной в разделе 5.1, составит 308151 рублей.

В результате получим срок окупаемости 5,15 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложена обобщенная характеристика, для оценки эффективности передвижной зерновой сушилки – «комплексный показатель совершенства конструкции зерновой сушилки», учитывающий удельную металлоемкость конструкции и удельный расход теплоты.

2. Теоретически определены оптимальные конструктивно-технологические параметры системы рециркуляции отработавшего агента сушки и проведен тепловой расчет. Теоретически доказано: конструкция и режимы сушки обеспечивают повторное использование агента без опасности выделения влаги (конденсации) внутри сушилки при пятикратном использовании; экономичность и эффективность повторного использования агента с подмешиванием к его части свежего воздуха улучшается с увеличением температуры агента сушки и может достигать от 9,57 до 13,98%

3. Изготовлен опытный образец зерносушилки с системой рециркуляции отработавшего агента сушки, который подтвержден патентом №2777996 на изобретение. Конструкция, обеспечивает быстрый доступ к зерну за счет сдвижного зонтика камеры сушки, а также быстрый доступ к любой составляющей сушилки и облегченному их подключению.

4. В результате производственных испытаний было проверено сравнение эффективности вентилирования березовой щепы без системы рециркуляции отработавшего агента и при ее работе. Протестированы режимы работы системы рециркуляции агента сушки:

- положение заслонки клапана - смесителя I (закрыт), средние значения расхода воздуха увеличилось на 3,89%, скорость фильтрации улучшилась на 9,09%;

- положении заслонки клапана - смесителя II (50 % рециркуляция), средние значения расхода воздуха увеличилось на 4,59%, скорость фильтрации улучшилась на 18,18%;

- наилучшие показатели при положении заслонки клапана – смесителя III (полная смена теплоносителя), средние значения расхода воздуха увеличилось на 8%, скорость фильтрации остается на том же уровне, что и при положении II - 18,18%.

5. Экономической анализ эффективности опытного образца передвижной зерносушилки с системой рециркуляции агента сушки, показал что на ее изготовление, приобретение дополнительного оборудования и внедрения необходимо порядка 1,5 млн. руб., что дешевле базового аналога на 360 тыс. руб. и эффективнее по производительности на 24,8%. Сравнение технических характеристик показало, что затраты топлива в 2,5 раза ниже в сравнении с базовым аналогом. Годовая экономия составит 308 тыс. рублей, а срок окупаемости равен 5,15 года.

Рекомендации производству. Применять разработанную систему рециркуляции агента сушки передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов, сельскохозяйственным предприятиям при сушке, вентилировании и временном хранении различного материала такого как зерновой ворох, семена трав и др.

Перспективы дальнейшего развития темы. Необходимо усовершенствование клапана-смесителя системы рециркуляции агента сушки путем внедрения рекуперативного теплообменника, что позволит уменьшить затраты на подогрев свежего воздуха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Птицин С.Д. Зерносушилки. – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы [Текст], Москва 1962 –3 с.
2. Конвейерные зерносушилки: назначение, преимущества, особенности работы URL: <https://zernosushka.ru/konveernaya-sushilka/> (дата обращения 14.08.2020).
3. А.И. Бурков, Н.Л. Конышев, О.П. Рошин. Машины для послеуборочной обработки семян трав [Текст]. НИИСХ Северо-Востока, 2003. 46-47 с.
4. Классификация зерносушилок, их принцип, устройства и назначение. URL: [//suplicio.ru/zernosushenie/165-52-classification-of-dryers.html#h3](https://suplicio.ru/zernosushenie/165-52-classification-of-dryers.html#h3) (дата обращения 14.08.2020)
5. Типы зерносушилок. Шахтные зерносушилки. URL: <https://agrosplus.ru/stati/tipy-zernosushilok/> (дата обращения 14.08.2020)
6. Шахтная сушилка: какие у неё минусы. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5e82c672bb31c2679c6e7d8e/shahtnaia-sushilka-kakie-u-nee-minusy-5ea11be298c2d801bbb1952b> (дата обращения 14.08.2020)
7. Сравнительный анализ конструкций бункерных зерносушилок зарубежного и отечественного производства URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyu-analiz-konstruktsiy-bunkernyh-zernosushilok-zarubezhnogo-i-otechestvennogo-proizvodstva> (дата обращения 14.08.2020)
8. Достоинства и недостатки типов зерносушилок URL: <https://smolensk.sdexpert.ru/news/project/dostoinstva-i-nedostatki-tipov-zernosushilok/> (дата обращения 14.08.2020)
9. Конвейерные зерносушилки: назначение, преимущества, особенности работы URL: <https://zernosushka.ru/konveernaya-sushilka/> (дата обращения 14.08.2020)

10. Колонковые зерносушилки: характеристики, назначение, особенности работы URL: <https://zernosushka.ru/kolonkovaya-sushilka/> (дата обращения 14.08.2020)
11. Барабанная зерносушилка: характеристики, назначение, особенности работы URL: <https://zernosushka.ru/barabannaya-sushilka/> (дата обращения 14.08.2020)
12. Информация о проведении конференции в г. Анапа Краснодарского края 11-15 июня 2012. URL: <http://www.drying-committee.ru/dl.php?f=203> (дата обращения 14.08.2020)
13. Зерносушилки Месмар (Италия) URL: <http://krasselmash.ru/zernosushilki-месмар-италия> (дата обращения 14.08.2020)
14. Зерносушилки АТМ. URL: <https://steh.info/agregaty/posleuborochnaya-tehnika/zernosushilki/zernosushilki-atm.html> (дата обращения 14.08.2020).
15. Зерносушилка К4-УСА. URL: <https://www.prosushka.ru/1902-zernosushilka-k4-usa.html> (дата обращения 14.08.2020)
16. Зерносушилка мобильная рециркуляционная тип GTR. URL: http://riela-sib.ru/catalog/zernosushilki_riela/zernosushilka_mobilnaya-recirkulyacionnaya_tip_gtr.html (дата обращения 14.08.2020)
17. Прямоточная мобильная сушилка RIELA, тип GDT. URL: <http://rielasib.ru/images/files/1281433887.pdf> (дата обращения 14.08.2020)
18. Сушилка зерна передвижная СЗП 32. URL: <http://www.yarapc.ru/catalog/selhoztehnika/sushilki/sushilka-zerna-peredvizhnaya-szp-32/> (дата обращения 14.08.2020)
19. Сушилка СПК 2,5 (фермерская). URL: <http://www.sushilka32b.ru/production/oborudovanie-dlya-posleuborochnoyobrabotkizerna/sushilka-spk-25-fermerskaya/index.html> (дата обращения 14.08.2020)
20. Мобильные зерносушилки Turbodan. URL: <https://svmagrotech.com/production/zernosushilka/zernosushilka-mobilnaya/> (дата обращения 14.08.2020)

21. Енохович А.С. Справочник по физике и технике: Учеб. Пособие для учащихся. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.; Просвещение, 1989.- 120 с.
22. Мобильная зерносушилка «Гулливер 12». URL: <http://www.stankostroy12rus.ru/zs3.html> (дата обращения 14.08.2020)
23. Сушилка мобильная семенная СМС 8. URL: https://agrovektor.ru/physical_product/250693_sushilka_mobilnaya_semennaya_sms_8.html (дата обращения 14.08.2020)
24. В.Я. Гольпяпин Анализ технического уровня современных передвижных зерносушилок // Техника и оборудование для села №5, 2018. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34996135> (дата обращения 14.08.2020)
25. Agrex PRT. URL: <http://zernosushilka-agrex-prt200me.agro-store.com/> (дата обращения 14.08.2020)
26. Стандарты отрасли // Сушильные машины и установки сельскохозяйственного назначения // ОСТ 1010.1-2002
27. Мобильные зерносушилки МЕРУ М150К М300М RK URL: <https://krasnoyarsk.tiu.ru/p445317510-mobilnye-zernosushilki-mepu.html>
28. Мобильная зерносушилка Меру М150К М300М RK URL: https://krasnoyarsk.tiu.ru/p6807290-mobilnaya-zernosushilka-mepu.html?_openstat=tiu_prosale%3B%20Взernosushilki%3B%20Мобильная%20+%20зерносушилка+Меру+М150К-М300М+RK%3Btag (дата обращения 14.08.2020)
29. Riela gdt 300/24/3 URL: <https://ehkskavator.ru/item/214163>, (дата обращения 14.08.2020)
30. В продаже зерносушилка порционного типа RIELA GDT 1500 (ГЕРМАНИЯ) URL:<https://agroservers.ru/b/v-prodazhe-zernosushilka-porcionnogo-tipa-riela-gdt-1500-germa-65737.htm>, (дата обращения 14.08.2020)
31. Мобильная зерносушилка Agrex URL:<https://www.baitekmechanery.ru/dryers/869/2940/> (дата обращения 14.08.2020)
32. Мобильная зерносушилка Fratelli Pedrotti Basic 55 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnaya-zernosushilka-fratelli-pedrotti-basic-55-943747.htm>, (дата обращения 14.08.2020)

33. Мобильная Зерносушилка Fratelli Pedrotti Basic 120 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnaya-zernosushilka-fratelli-pedrotti-basic-120-1217272.htm>, (дата обращения 14.08.2020)
34. Мобильная зерносушилка Fratelli Pedrotti 40м3 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnaya-zernosushilka-fratelli-pedrotti-40m3-1187150.htm> (дата обращения 14.08.2020)
35. Мобильная зерносушилка Fratelli Pedrotti 50м3 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnaya-zernosushilka-fratelli-pedrotti-50m3-972290.htm> (дата обращения 14.08.2020)
36. Мобильная зерносушилка Fratelli Pedrotti 57м3 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnaya-zernosushilka-fratelli-pedrotti-57m3-972316.htm> (дата обращения 14.08.2020)
37. Мобильные зерносушилки Fratelli Pedrotti XL 550 URL: <https://agroservers.ru/b/mobilnye-zernosushilki-fratelli-pedrotti-xl-550-b-u-s-minima-1108055.htm> (дата обращения 14.08.2020)
38. Мобильная зерносушилка Fratelli Pedrotti 19м3 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnaya-zernosushilka-fratelli-pedrotti-19m3-972279.htm> (дата обращения 14.08.2020)
39. Мобильные зерносушилки Fratelli Pedrotti XL 550 URL:<https://agroservers.ru/b/mobilnye-zernosushilki-fratelli-pedrotti-xl-550-b-u-s-minima-1108055.htm> (дата обращения 14.08.2020)
40. Зерносушилки Месмар (Италия) URL:<http://krasselmash.ru/zernosushilki-mesmar-italiya> (дата обращения 14.08.2020)
41. Прайс лист Месмар URL: https://www.agrobase.ru/organizations/manufacture/pdmanufacturer_d89ff621-eb29-4fef-88ee-7ec9ca3bbec6/price-list, (дата обращения 14.08.2020)
42. Мобильные зерносушилки прицепы URL:<http://atagos.com.ua/product/zernosushilki-pritseru/> (дата обращения 14.08.2020)
43. Зерносушилка АТМ. Обзор мобильных зерносушилок <https://dzen.ru/a/X8T8iE-jATsjO7SJ> (дата обращения 14.08.2020)

44. Мобильная зерносушилка АТМ 75 С URL: <https://kostroma.tiu.ru/p443222612-mobilnaya-zernosushilka-atm.html> (дата обращения 14.08.2020)
45. Мобильная зерносушилка Гулливер 12 URL: <https://barnaul.flagma.ru/mobilnaya-zernosushilka-gulliver-12-o4341878.html> (дата обращения 14.08.2020)
46. Сушилка фермерская колонковая СПК-2,5 URL: <https://www.b2b-center.ru/catalog/tovari/sushilka-fermerskaia-kolonkovaia-spk-2-5-4570847/> (дата обращения 14.08.2020)
47. Приказ от 18 декабря 2018 года N 257 URL: <http://docs.cntd.ru/document/550329514> (дата обращения 14.08.2020)
48. Конвективный способ сушки семян URL: https://studwood.ru/1800475/agropromyshlennost/konvektivnyu_sposob_sushki_semyan (дата обращения 14.08.2020)
49. Виды сушки зерна URL: <http://agro-s.com/vidy-sushki-zerna> (дата обращения 14.08.2020)
50. Технология сушки семенного зерна URL: https://studwood.ru/1800473/agropromyshlennost/tehnologiya_sushki_semennogo_zerna (дата обращения 14.08.2020)
51. Сушка зерна – важнейший технологический процесс в сельском хозяйстве URL: <https://zernokorm.biz/sushka-zerna-vazhnejshij-technologicheskij-process-v-selskom-hozyajstve> (дата обращения 14.08.2020)
52. Энергосбережение в технологиях послеуборочной обработки зерна и семян URL: <https://belagromech.by/news/energoberezhenie-v-tehnologiyah-posleuborochnoj-obrabotki-zerna-i-semyan/> (дата обращения 14.08.2020)
53. Процесс сушки. Конвективная и кондуктивная сушка URL: <https://proiz-teh.ru/sushka.html> (дата обращения 14.08.2020)
54. В. Сорочинский. Снижение расхода топлива в прямоточных зерносушилках URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/7_11/07_2011_51-52.pdf (дата обращения 14.08.2020)

55. Волхонов М.С. обоснование и совершенствование процессов и устройств для послеуборочной обработки зерна: дис. д-ра техн. Наук: - ко-строма; КГСХА, 2008.-480
56. Волхонов М.С., Зимин И.Б., Смирнов И.А., повышение эффективности функционирования зерносушилки аэрожелобного типа в энергосберегающем режиме ее работы путем автоматизации системы рециркуляции отработавшего агента сушки.
57. Патент 20005968 способ сушки зерна в сушильных установках шахтного типа.
58. Щепилов Н.Я. Проектирование поточных линий и зерноочистительно-сушильных комплексов / Н.Я. Щепилов Великие Луки: Издательский центр ВГСХА. 1999.-180с.
59. Блохин П.В. Эффективность охлаждения зерна пшеницы на аэрогравитационном транспортере. //Теория и техника сушки зерна.: Сб науч. тр. ВНИИЗ. - М., 1970. - Вып. 70. - С. 209-216.
60. Гжегож Висневски. Использование плоских солнечных коллекторов в сушильных процессах сельскохозяйственного производства. //Сельскохозяйственная наука Северо-Востока европейской части России. Том 4.: Сб. науч. тр. НИИСХ Северо-Востока. - Ки-ров, 1995. - С. 94-99.
61. Голубкович А.В., Чижиков А.Г. К обоснованию технических средств для предварительного подогрева и подсушки зерна повышенной влажности //Сб. науч. тр. /ВИМ, Москва, 1980. - Том 86. - С. 36-46.
62. Голубкович А.В., Чижиков А.Г. Сушка высоковлажных семян и зерна. - М.: Росагропромиздат, 1991. - 174 с., ил.
63. Гришин М.А., Атаназевич В.И., Семёнов Ю.Г. Установки для сушки пищевых продуктов. - М.: ВО Агропромиздат, 1989. - 216 с., ил.
64. Захарченко И.В. Послеуборочная обработка семян в Нечерноземной зоне. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 263 с., ил.
65. Малин Н.И. Справочник по сушке зерна. - М.: Агропромиздат, 1986. - 159 с.

66. Мальтри В., Пётке Э., Шнайдер Б. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения. Машиностроение, 1979. - 530 с., ил.
67. Машковцев М.Ф. Реконструкция типовых зерноочистительно-сушильных комплексов. //Сельскохозяйственная наука Северо-Востока европейской части России. Том 4.: Сб. науч. тр. НИИСХ Северо-Востока. - Киров, 1995. - С. 73-84.
68. Мильман И.Э., Шевцов В.В., Есаков Ю.В. Оптимизация конвейерных зерносушилок. //Актуальные вопросы послеуборочной обработки и хранения зерна.: Сб. науч. тр. ВИМ. - М., 1973. - С.114-115.
69. Окунь Г.С., Чижиков А.Г. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна.-М.: ВНИИТЭИагропром, 1987.-56с., ил.
70. Птицын С.Д. Зерносушилки 2-е изд. испр. и доп. - М.: Машиностроение, 1968. - 214 с., ил.
71. Птицын С.Д., Третьякова Т.В., Окунь Г.С. Изменение сыпучести и натурального веса зерна при сушке. //Теория и техника сушки зерна.: Сб науч. тр. ВНИИЗ. - М., 1970. - Вып. 70. - С. 105-108.
72. Раецкис П.Ю. Палабинскис Я.Г. Энергосберегающая технология сушки зерна. //Тр. ЛСХА. /Латв. с.-х. акад., 1988. - Вып. 250. - С. 94-97.
73. Соседов Н.И., Шухнова Н.В. Современные проблемы теории и техники сушки зерна. //Теория и техника сушки зерна.: Сб науч. тр. ВНИИЗ. - М., 1970. - Вып. 70. - С. 36-42.
74. Спиридонова М.Г. Сушка высоковлажных семян подсолнечника комбинированным методом. //Актуальные вопросы послеуборочной обработки и хранения зерна.: Сб. науч. тр. ВИМ. - М., 1973 - С. 118-120.
75. Сушка зерна. /К.И. Куценко, В.И. Атаназевич, В.И. Пешкова, С.И. Кириченко. //Актуальные вопросы послеуборочной обработки и хранения зерна.: Сб. науч. тр. ВИМ. - М., 1973 - С. 117-118.
76. Чижиков А.Г. Технологические основы и перспективы развития технических средств сушки зерна в сельском хозяйстве //Сб. науч. тр. /ВИМ. - М., 1980. - Том 86. - С. 26-36.

77. Яговкин П.В., Гушин С.Д. Основные направления реконструкции зернотоков. //Совершенствование технологий и технических средств механизации в полеводстве и животноводстве: Сб. науч. тр. НИИСХ Северо-Востока. - Киров, 1993. - С. 29-31.

78. Hansen R. C., Berri M. A., Keener H. M., Gustafson R. J. Current Grain Drying Practices in Ohio. //Applied Engineering in Agriculture, - 1996. - № 12. - S. 65-69.

79. Maltry W. Grain drying //Yearbook –/KTBL. LAV. VDI-MEG, 1997. - № 9. - S. 157-160.

80. Munzing K., Aktuelle Fragen zur Trocknung von Weizen //Die Muhle und Mischfuttertechnik, 1996. - № 133. - S. 233-234.

81. Экономика и организация предприятий АПК: нормативно-справочные материалы / Под ред. Т.М. Васильковой, М.М. Максимова. – Кострома : КГСХА, 2012 – 430с.

82. Экономическое обоснование проектных решений в агроинженерии: Методические рекомендации по выполнению экономической части выпускных квалификационных работ для студентов по направлению подготовки «Агроинженерия» очной и заочной форм обучения / сост. Н.А. Середа, Т.И. Павлушина. — Кострома: КГСХА, 2014. — 99 с.

83. Volkhonov, M., Smirnov, I., Maksimov, I. (2019). Design and study of equipment for accepting and drying soya seeds with high moisture content. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 3, Issue 11 (99). P. 70-78; doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169167>; URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/169167/171343> (дата обращения 14.08.2020)

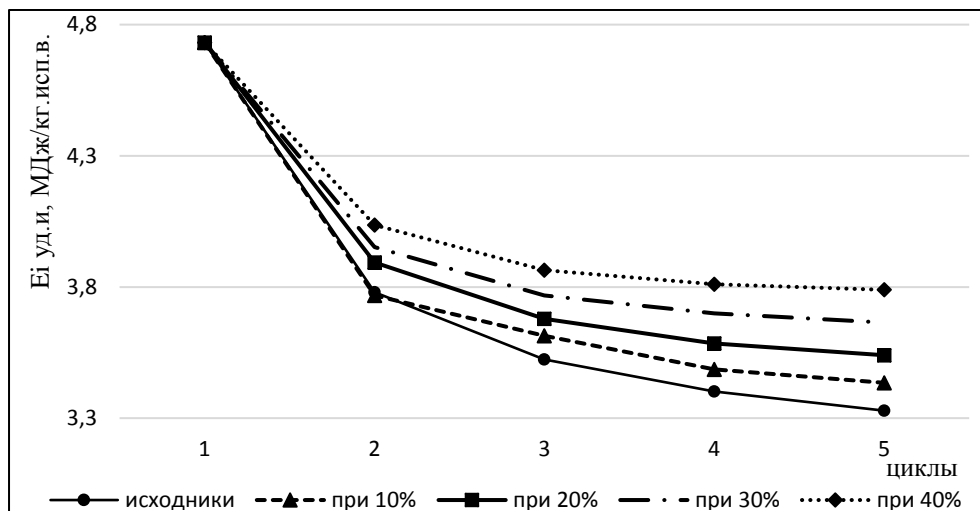
84. ГОСТ Р 55262-2012 Сушильные машины и установки сельскохозяйственного назначения. Методы испытаний.

85. Основные понятия о математическом планировании многофакторных экспериментов, обработке экспериментальных данных и случайных процессах / сост. М.С Волхонов, С.Ю. Зудин, И.Б. Зимин, И.С. Зырин. – Кострома: КГСХА, 2011. – 80 с.

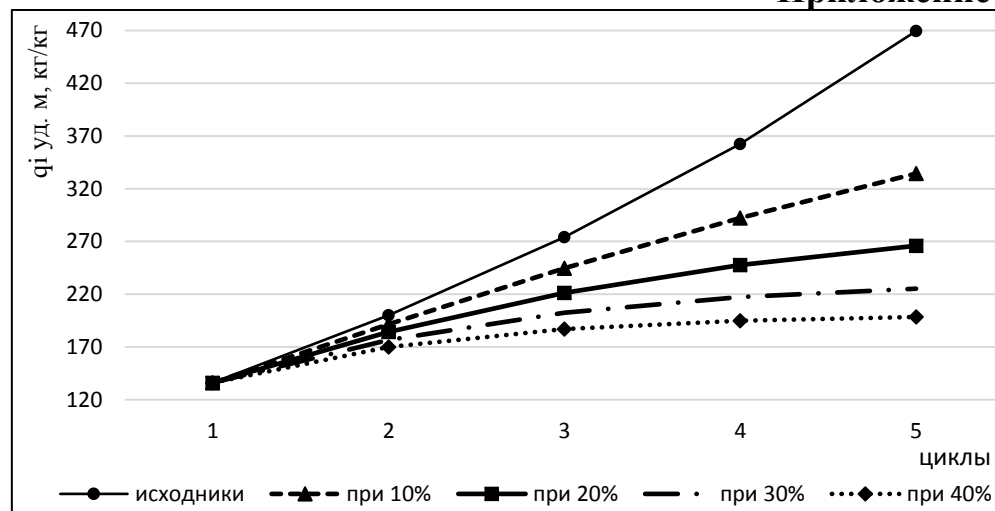
86. Пат. 2777996 RU, МПК F26B Волхонов М.С., Смирнов И.А., Коваленко Р.М. Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов / [Текст] /заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования Костромская государственная сельхоз академия, заявл.11.06.2021, опубл. 12.02.2022

87. Пат. 2671464 RU, МПК А 01 F 25/08. Устройство для вентилирования и транспортирования зернового вороха. [Текст] / Волхонов М.С., Смирнов И.А., Сочкова Е.С., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования Костромская государственная сельхоз академия, заявл.05.12.2017, опубл. 31.10.2018

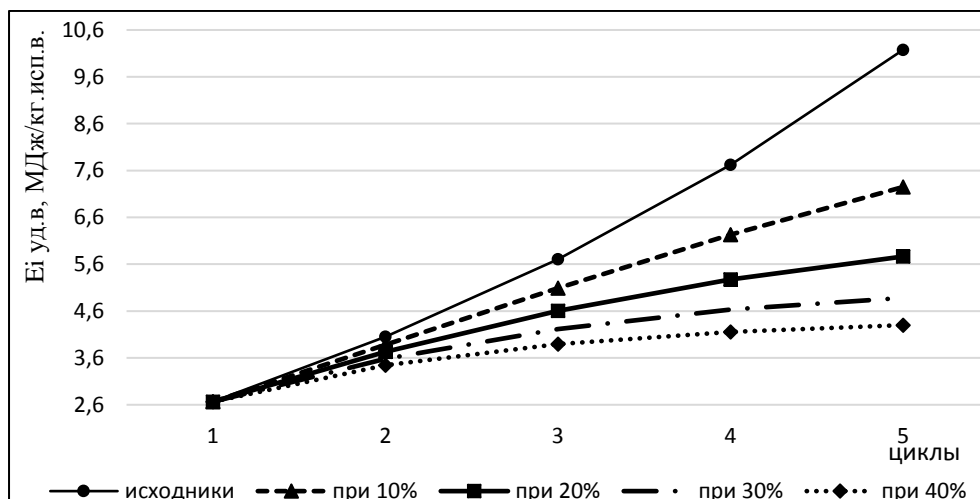
88. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. – Введ. 01.09.2012. – М.: Стандартиформ, 2012.



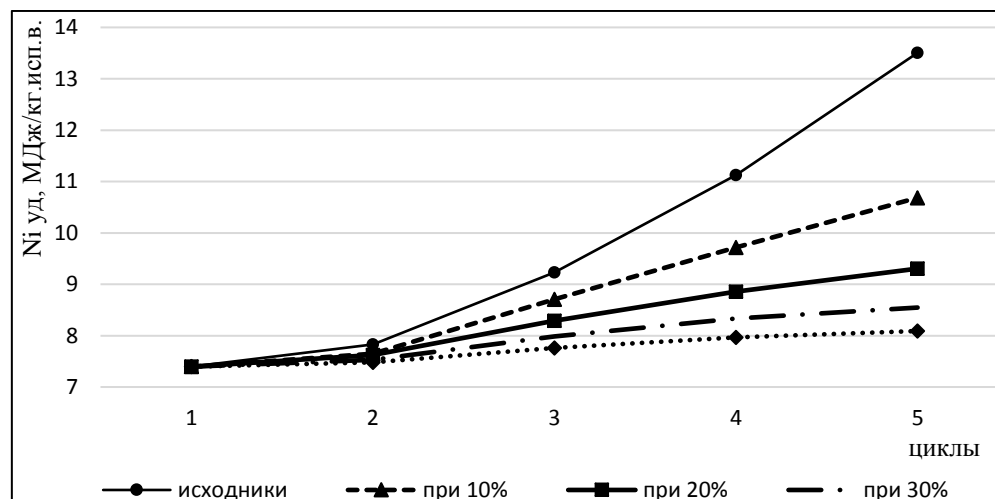
a



б



в



з

Рис. А1 - Графические зависимости постоянного подмешивания отработавшего агента при 40 °С на каждый цикл сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; з – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

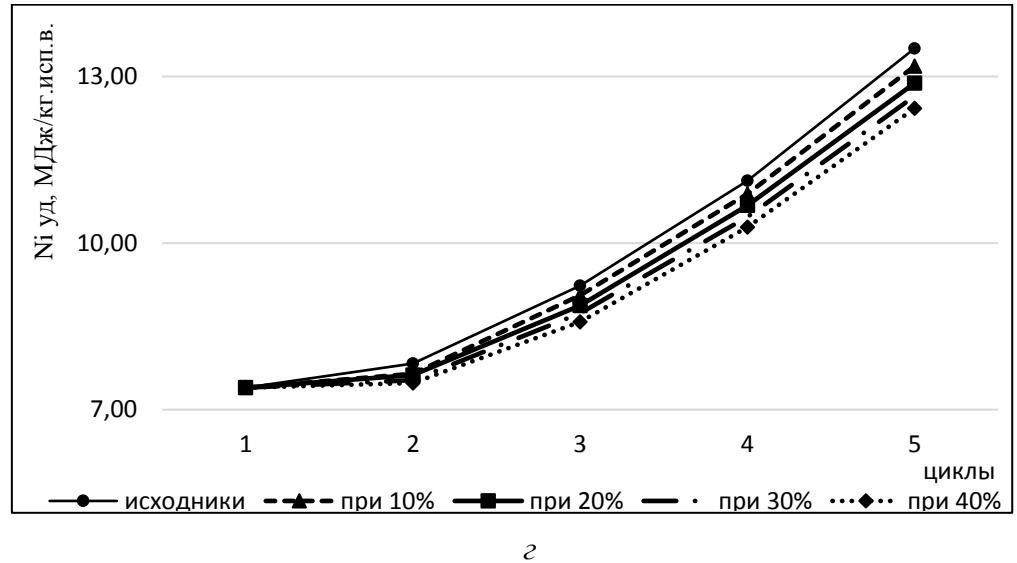
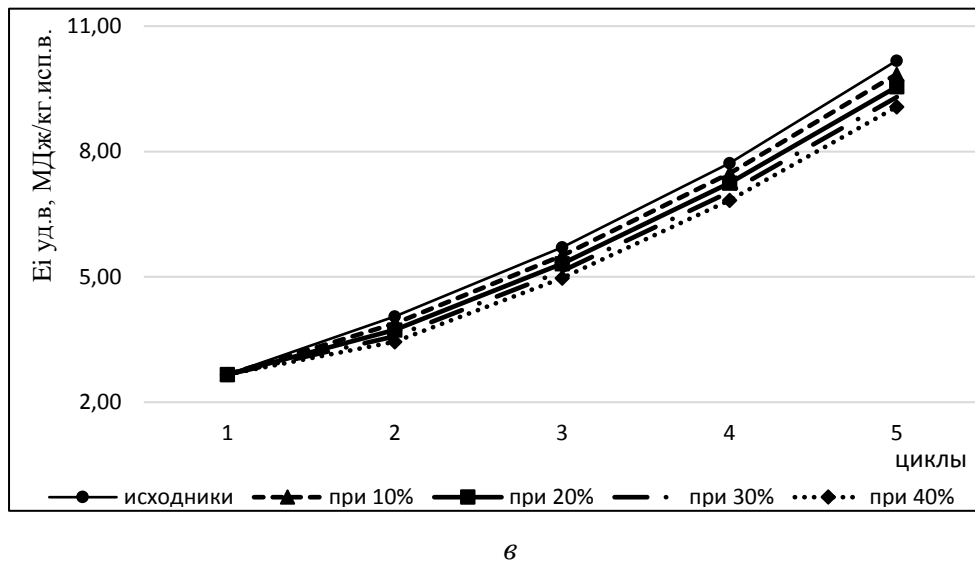
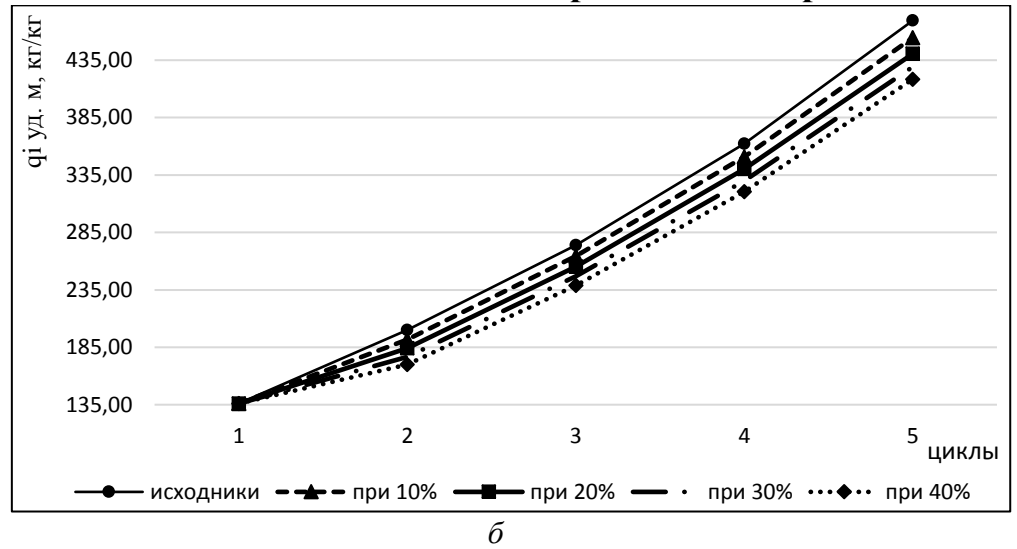
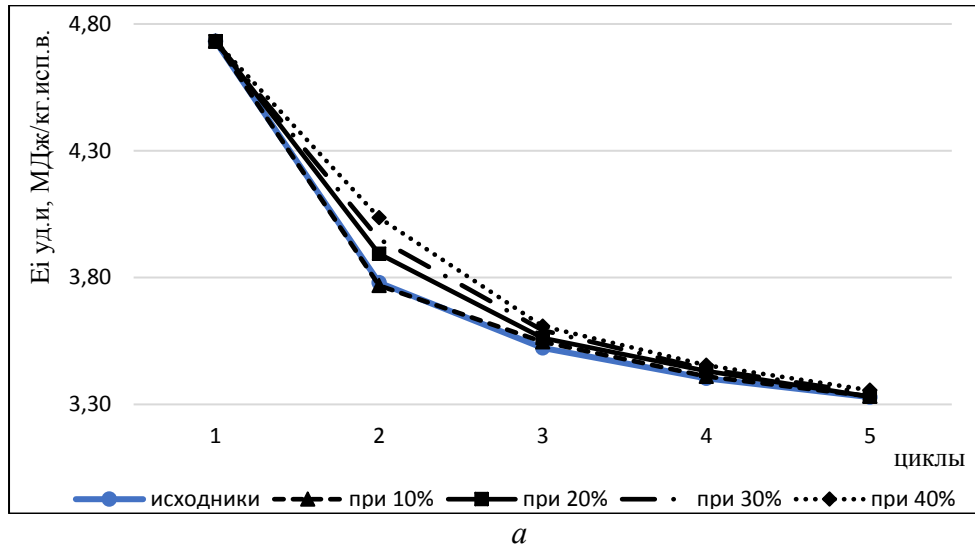


Рис. А2 - Графические зависимости однократного подмешивания обработавшего агента при 40 °С после 1 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

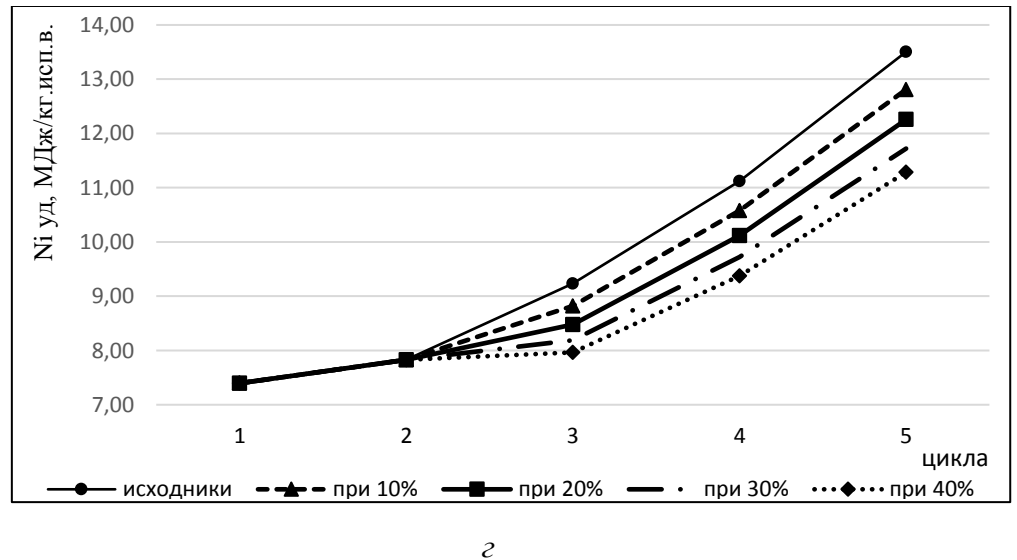
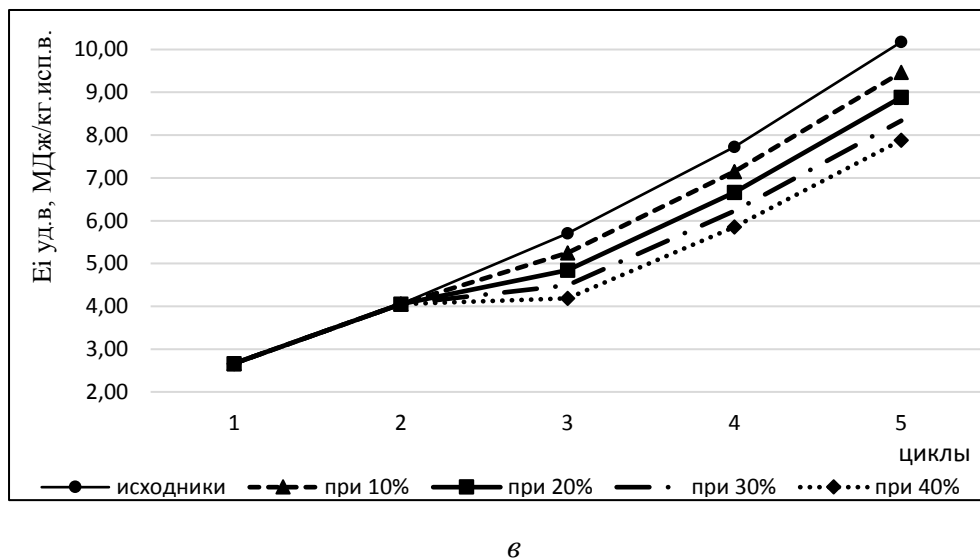
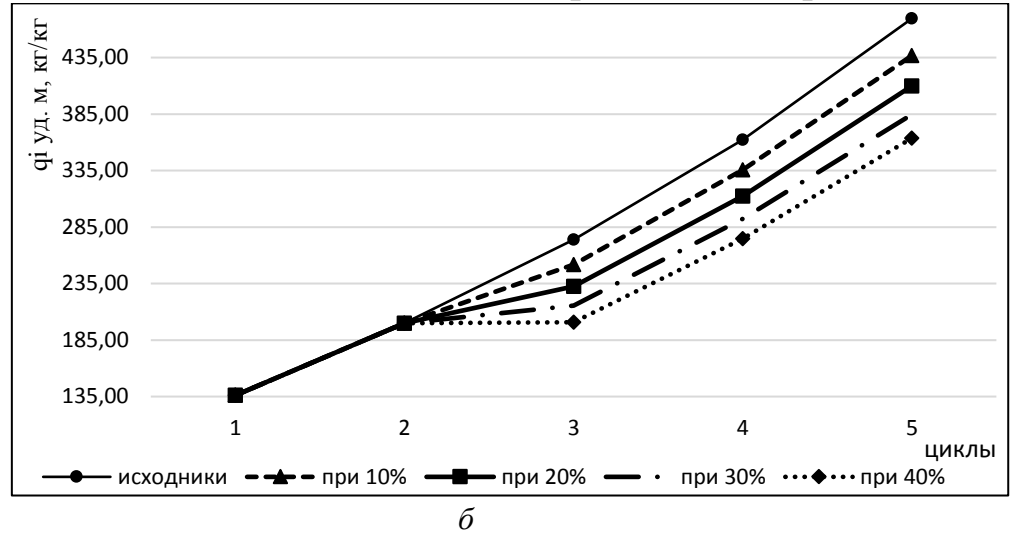
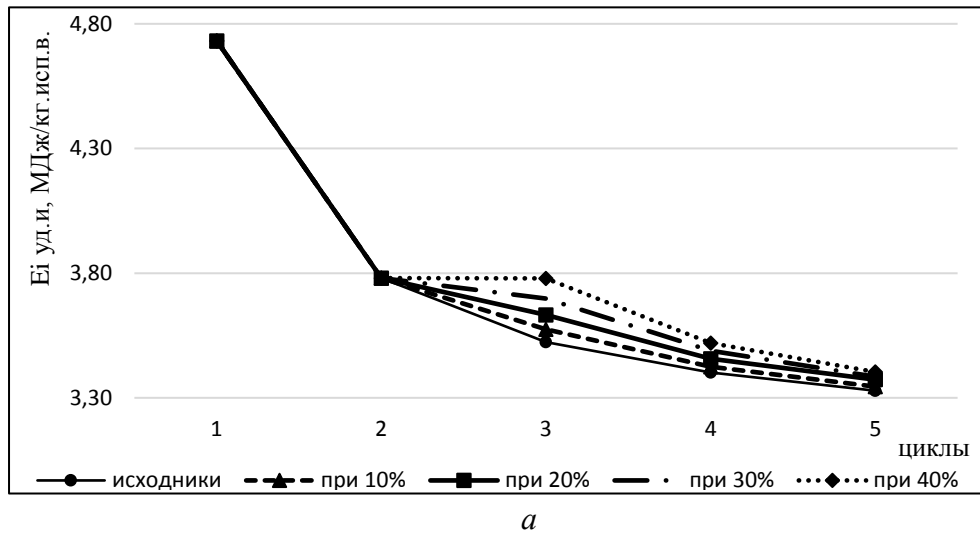


Рис. А3 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 40 °С после 2 цикла сушки между: *а* - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; *б* – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; *в* –удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; *г* – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

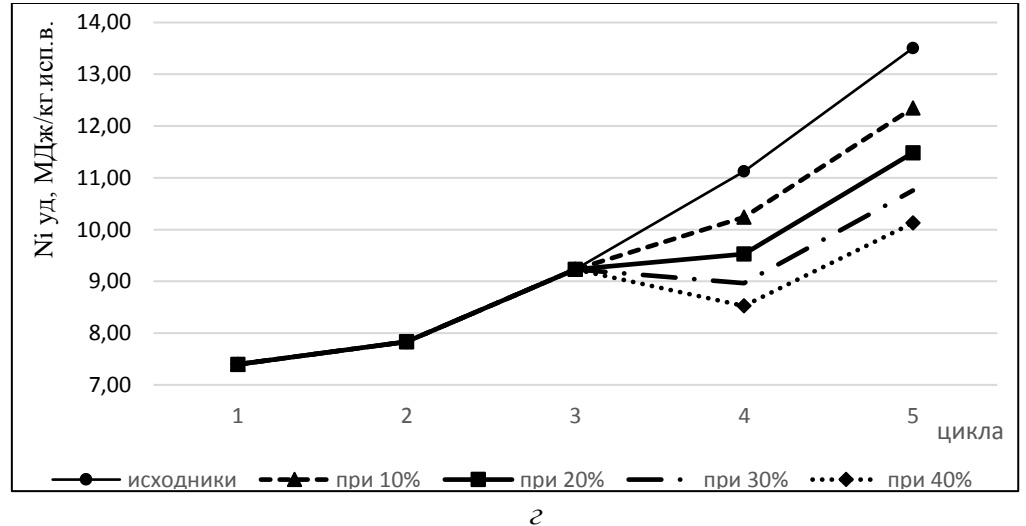
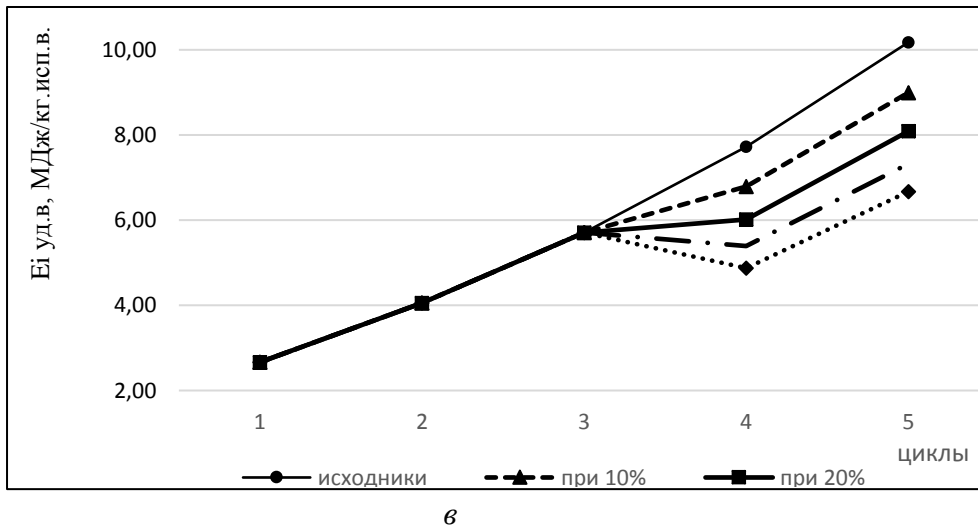
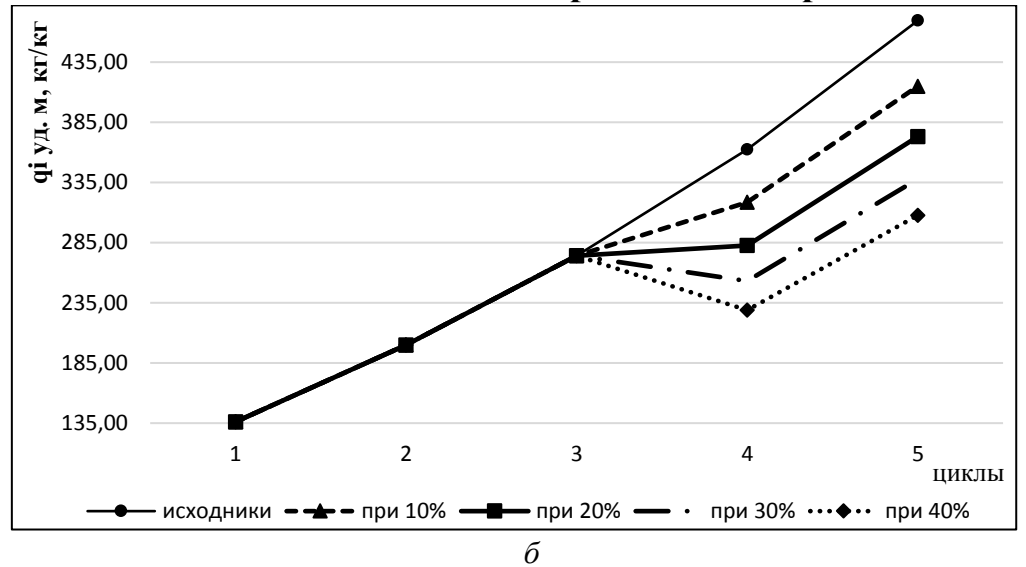
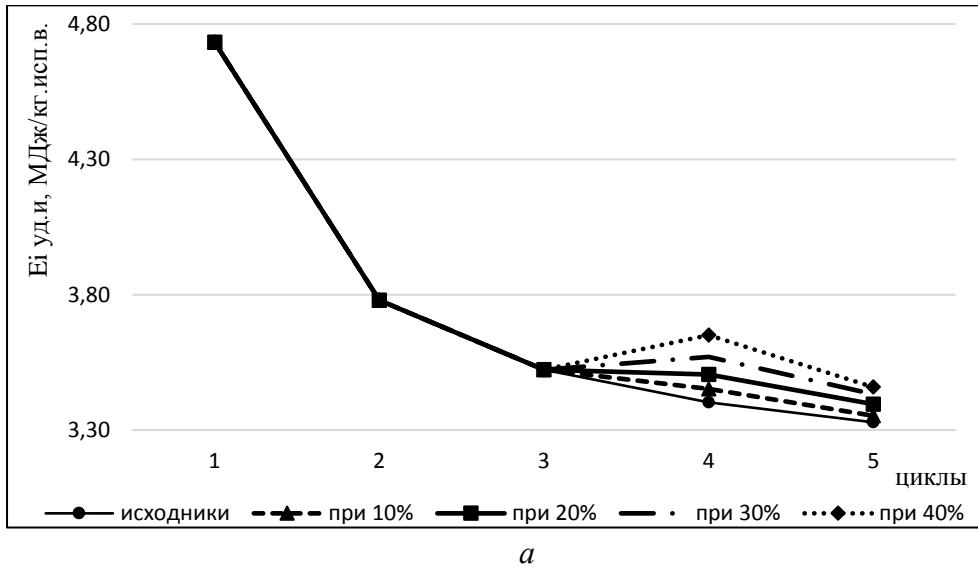


Рис. А4 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 40 °С после 3 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

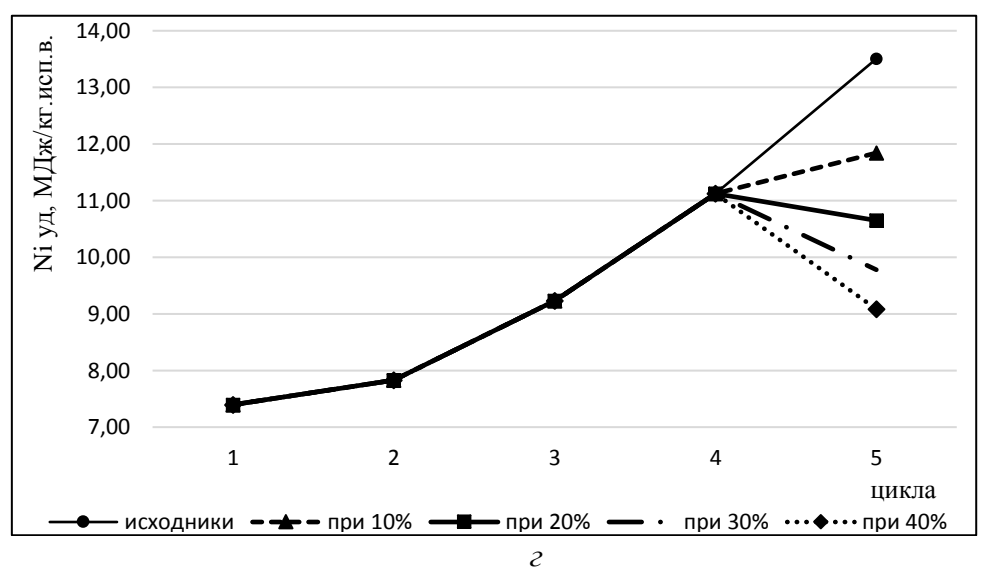
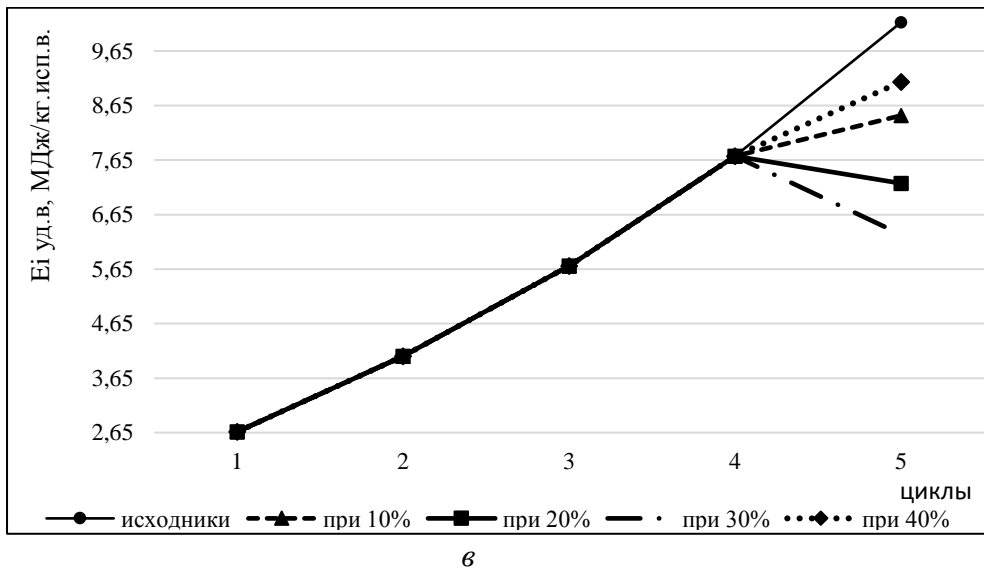
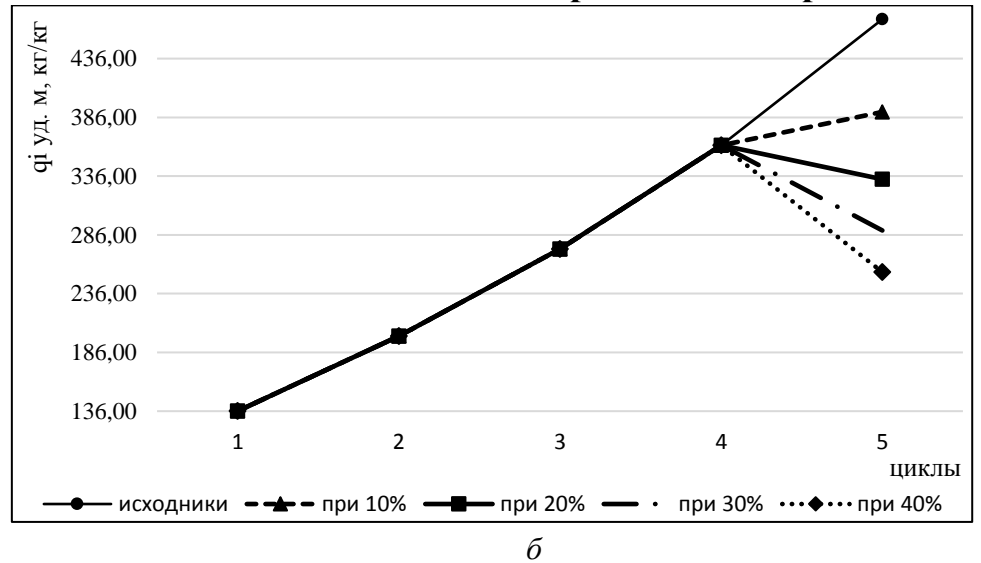
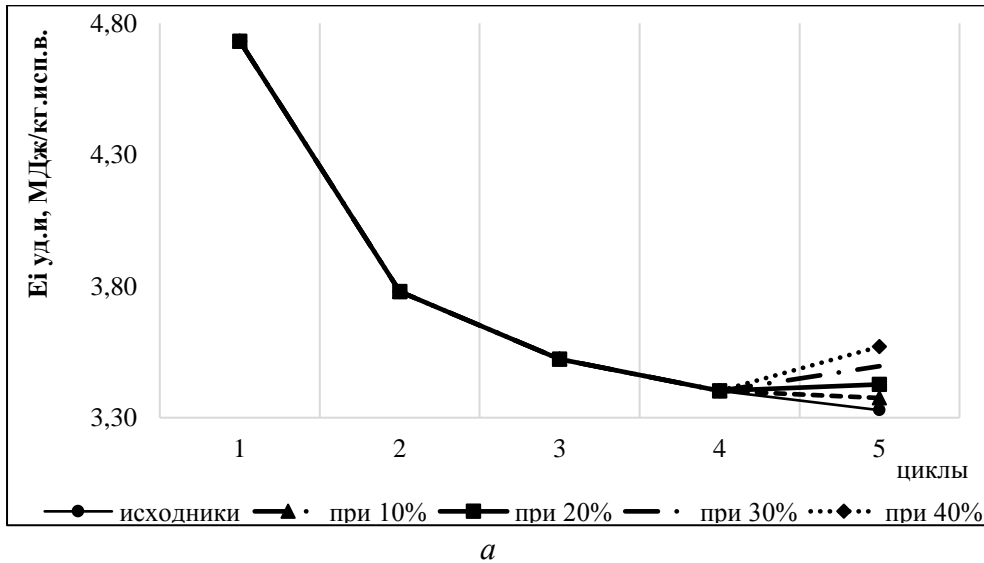
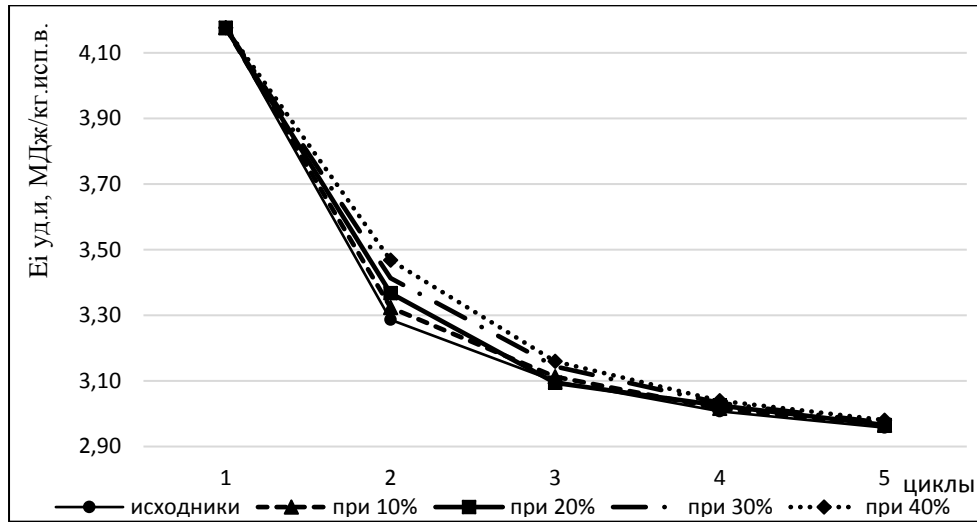
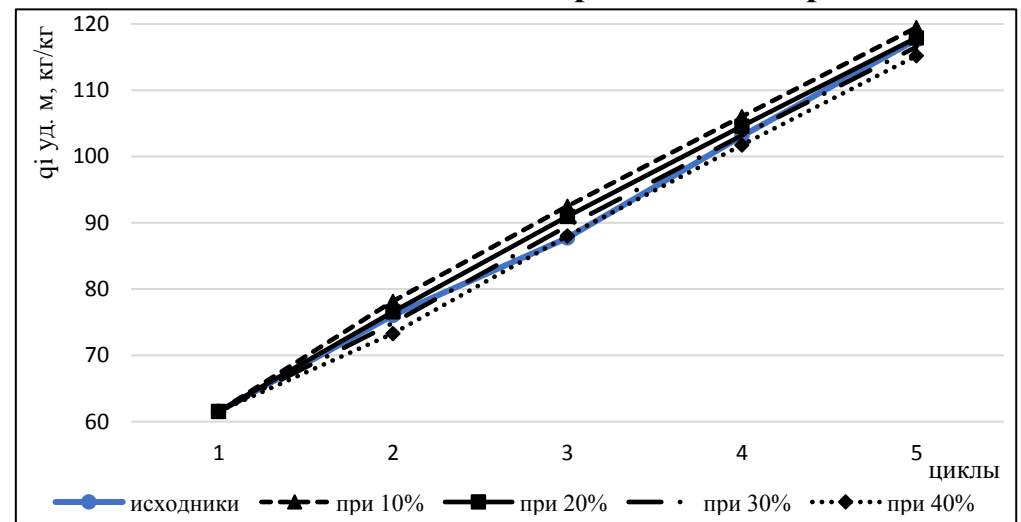


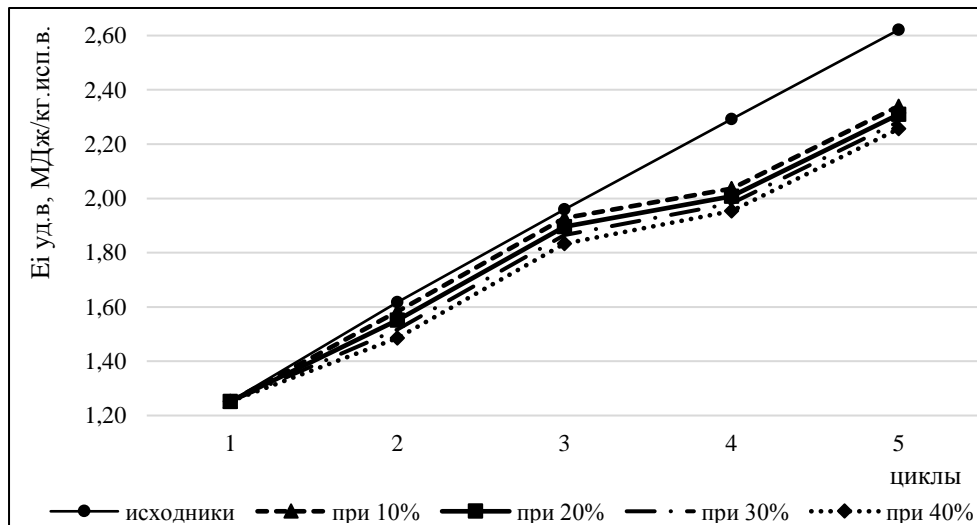
Рис. А5 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 40 °С после 4 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в –удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента



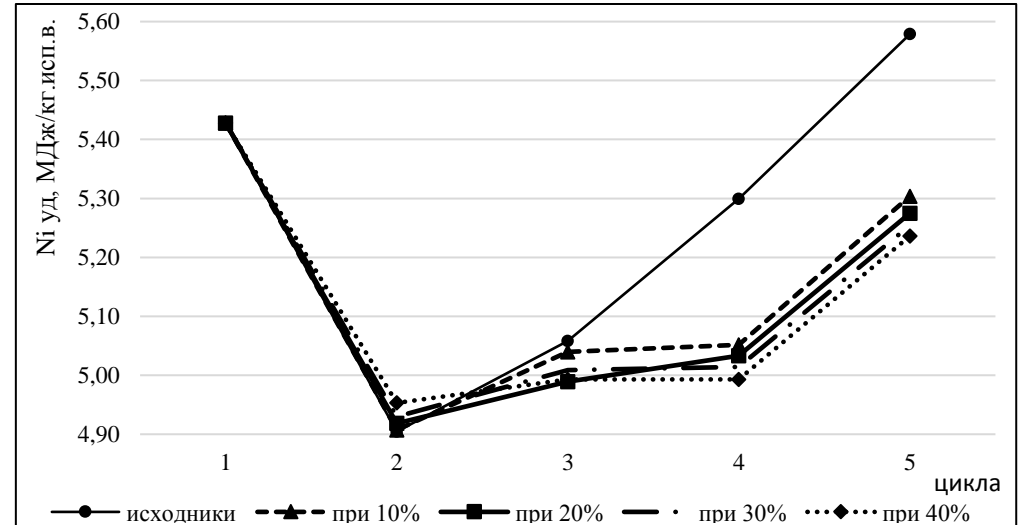
а



б



в



г

Рис. А6- Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 70 °С после 1 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в –удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

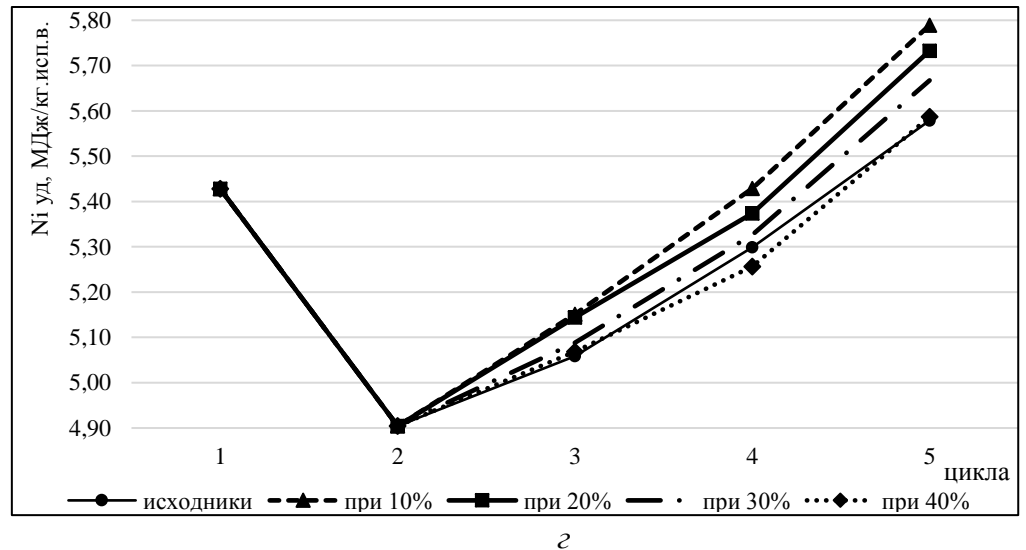
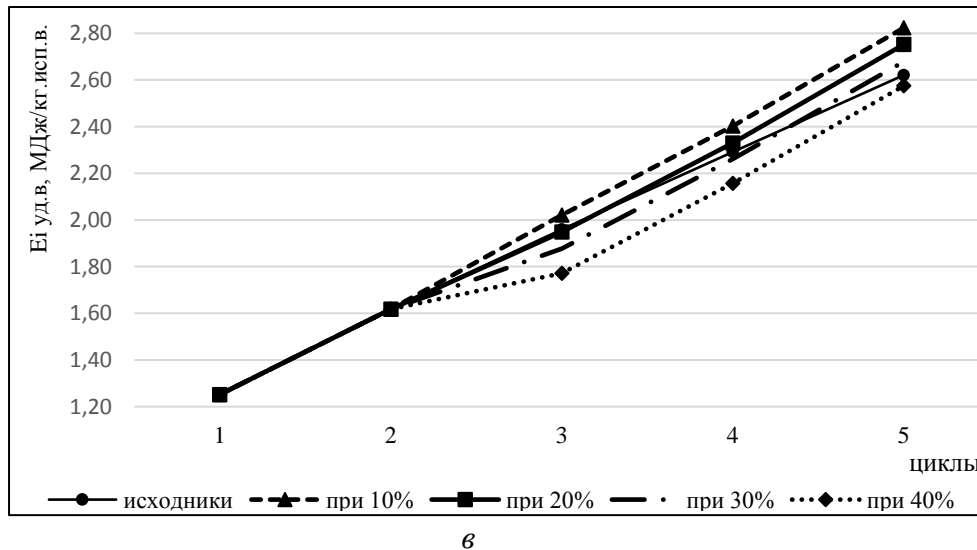
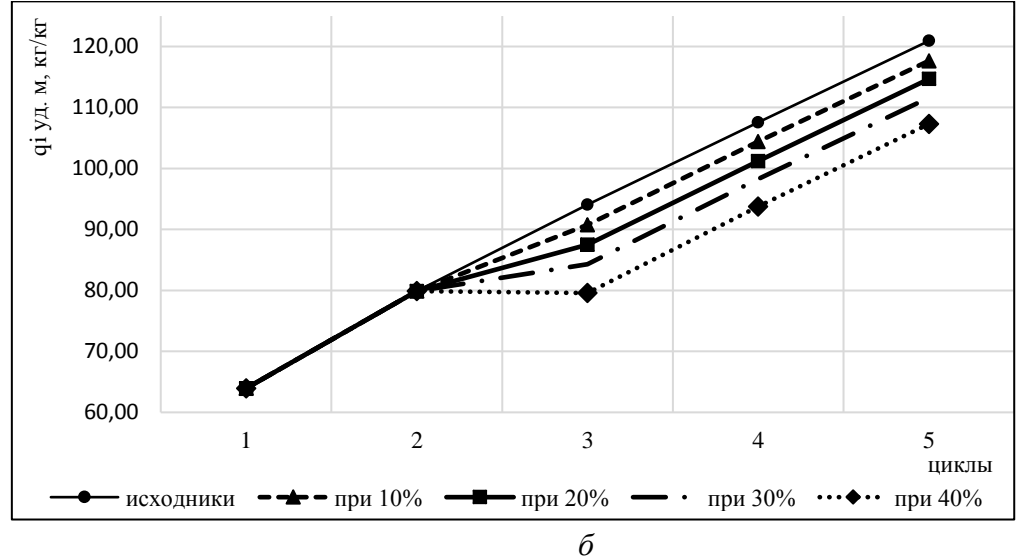
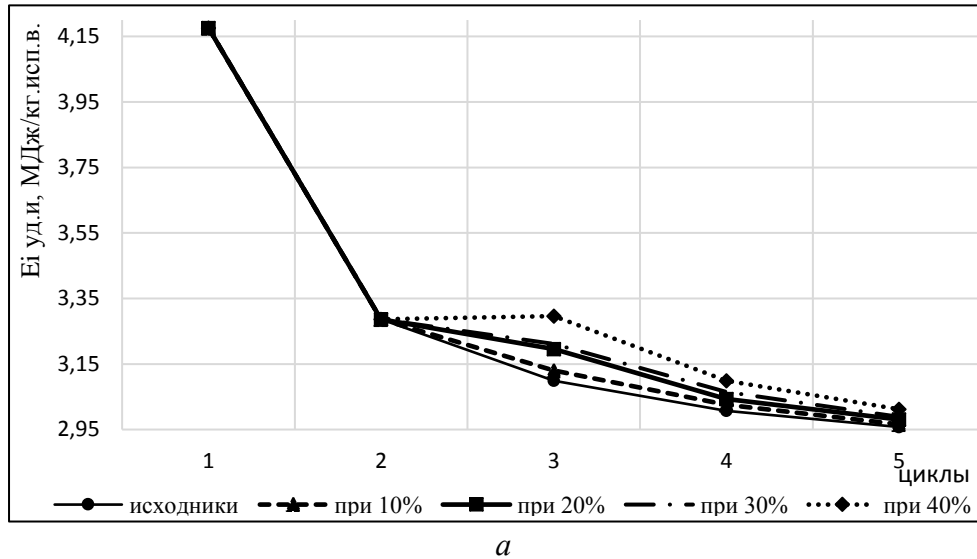
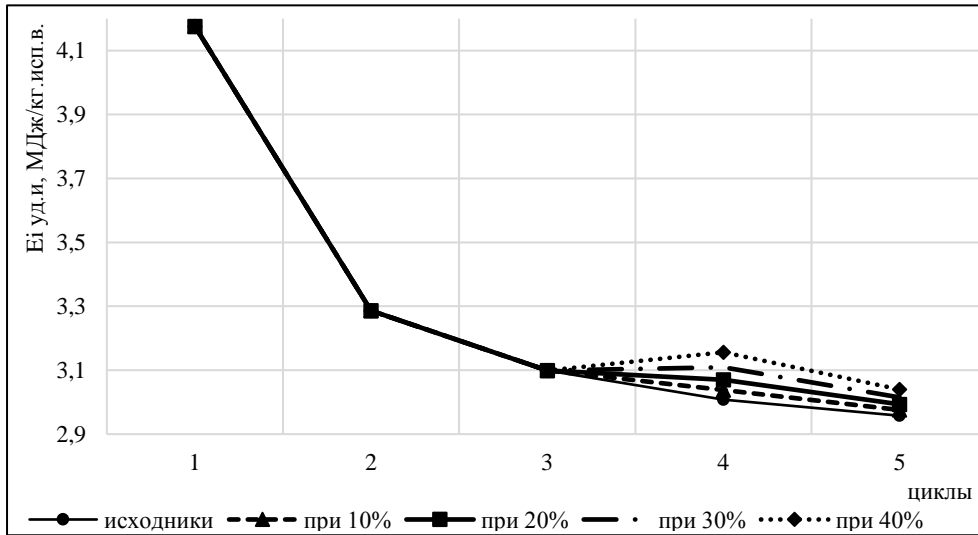
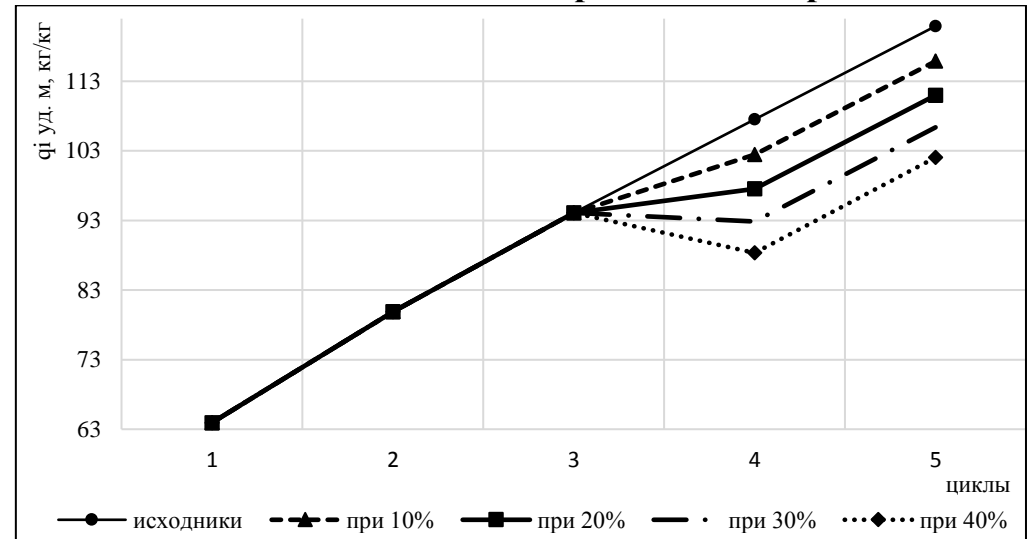


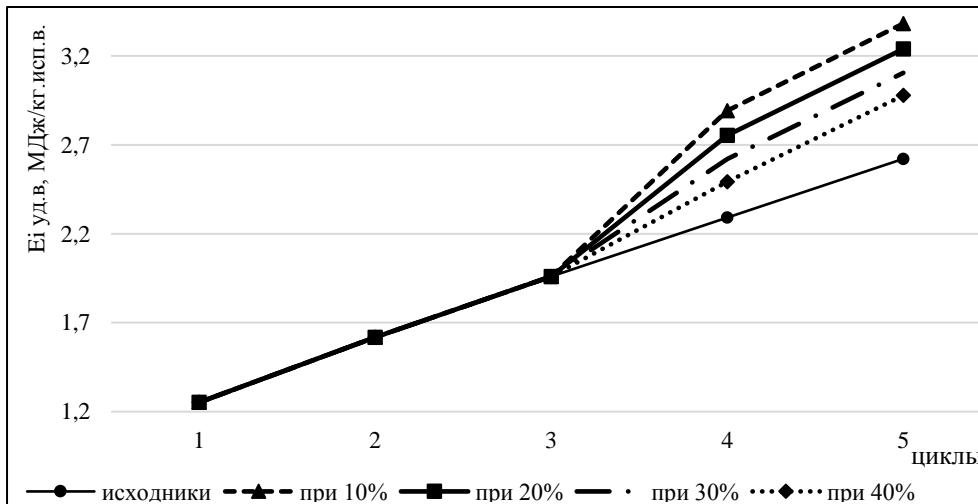
Рис. А7 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 70 °С после 2 цикла сушки между: *а* - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; *б* – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; *в* – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; *г* – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента



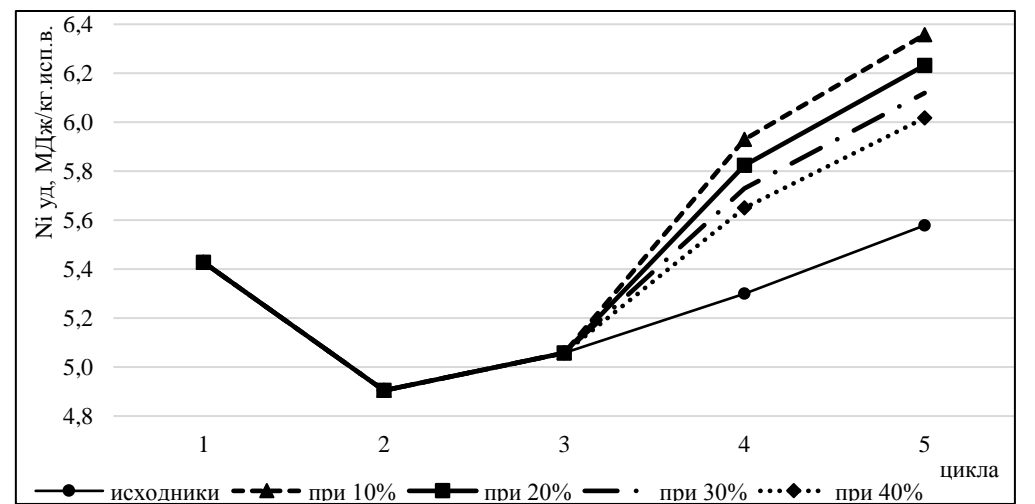
а



б



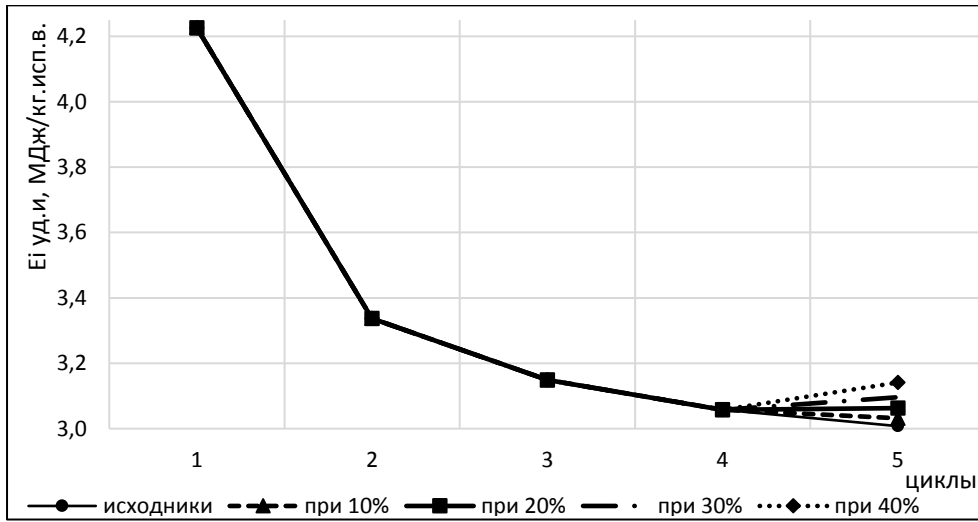
в



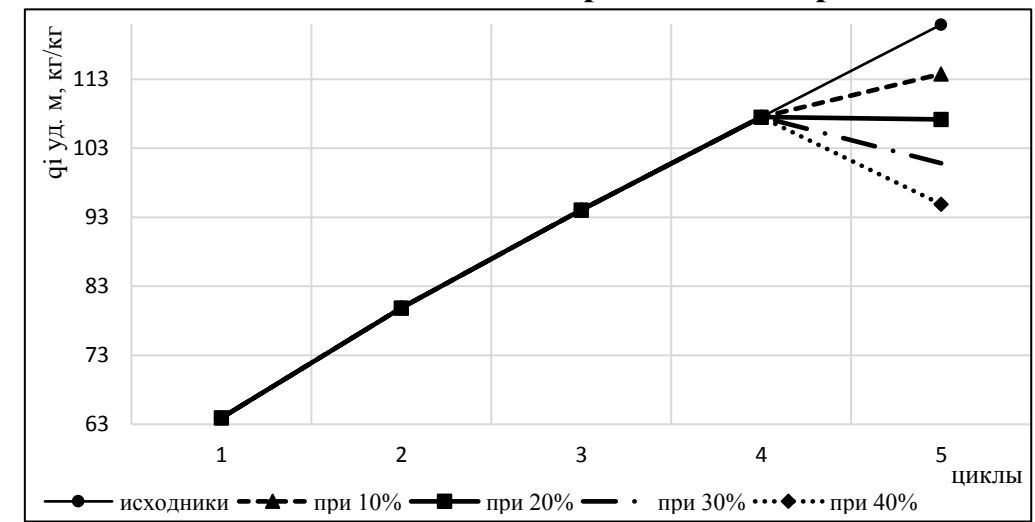
г

Рис. А8 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 70 °С после 3 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

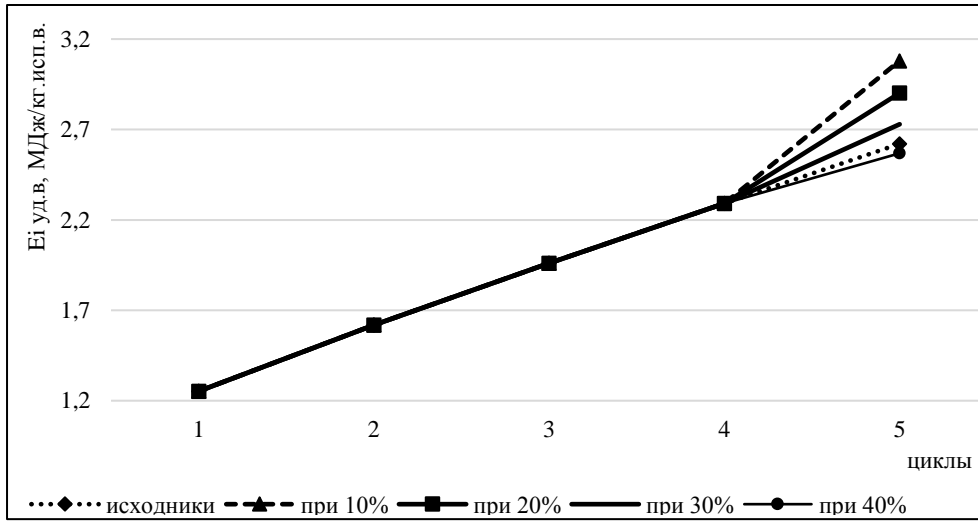
Продолжение приложения А



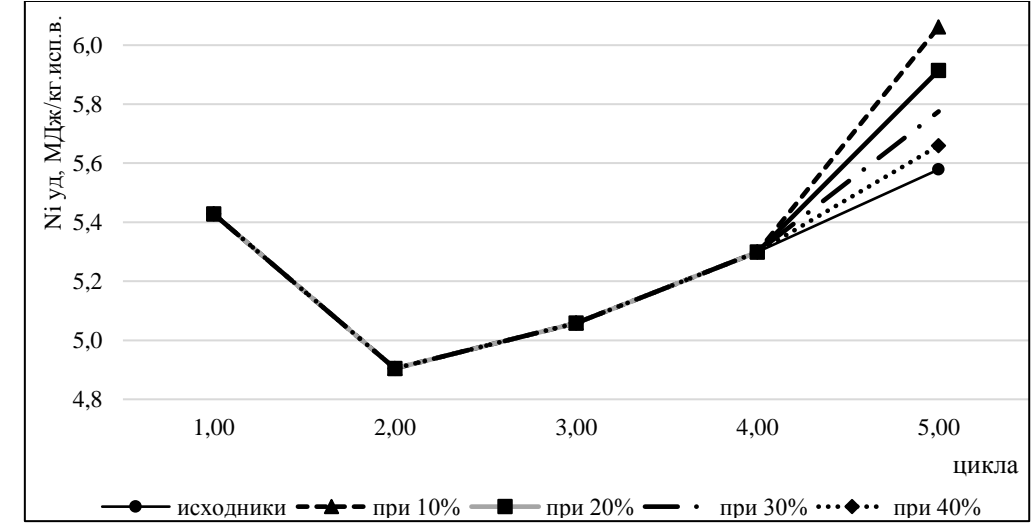
а



б

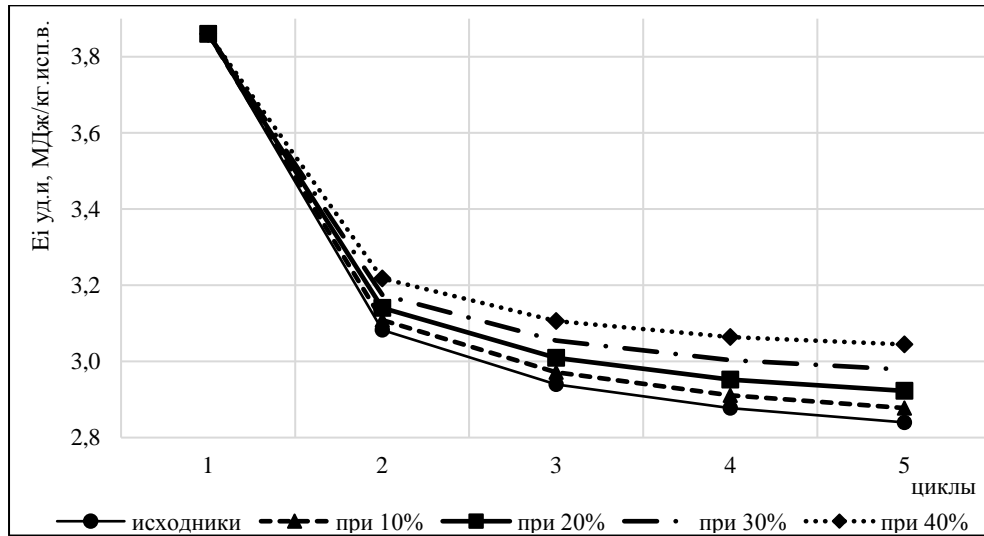


в

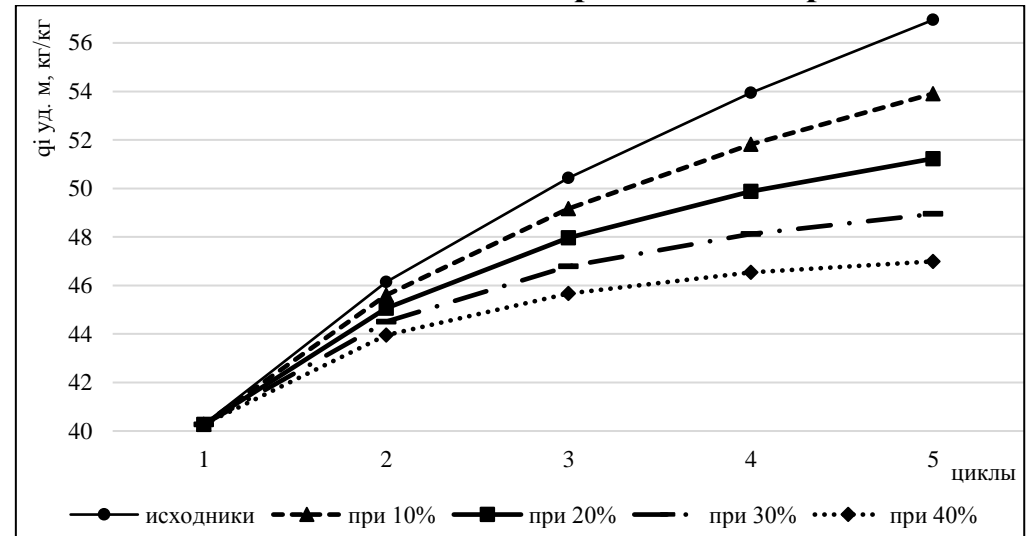


г

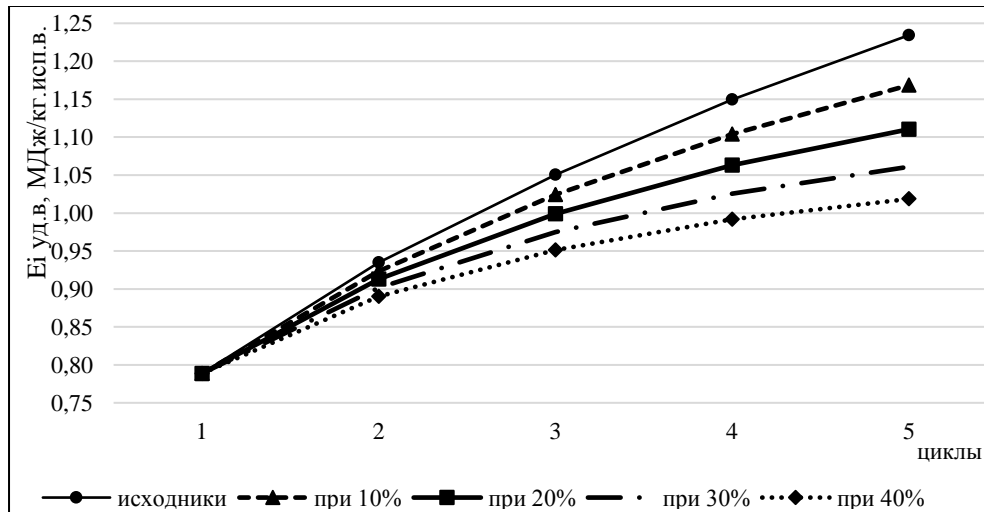
Рис. А9 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 70 °С после 4 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в –удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента



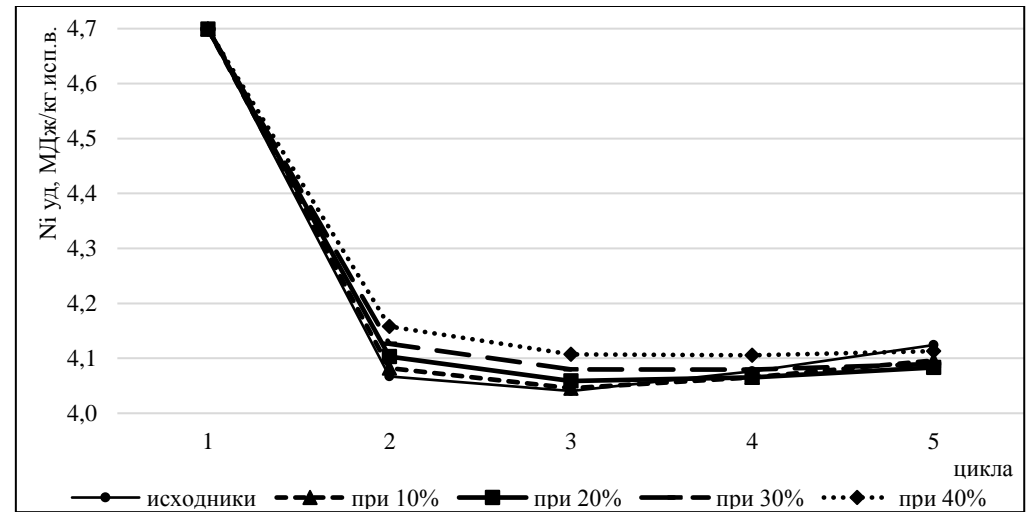
а



б



в



г

Рис. А10 - Графические зависимости постоянного подмешивания отработавшего агента при 100 °С на каждый цикл сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

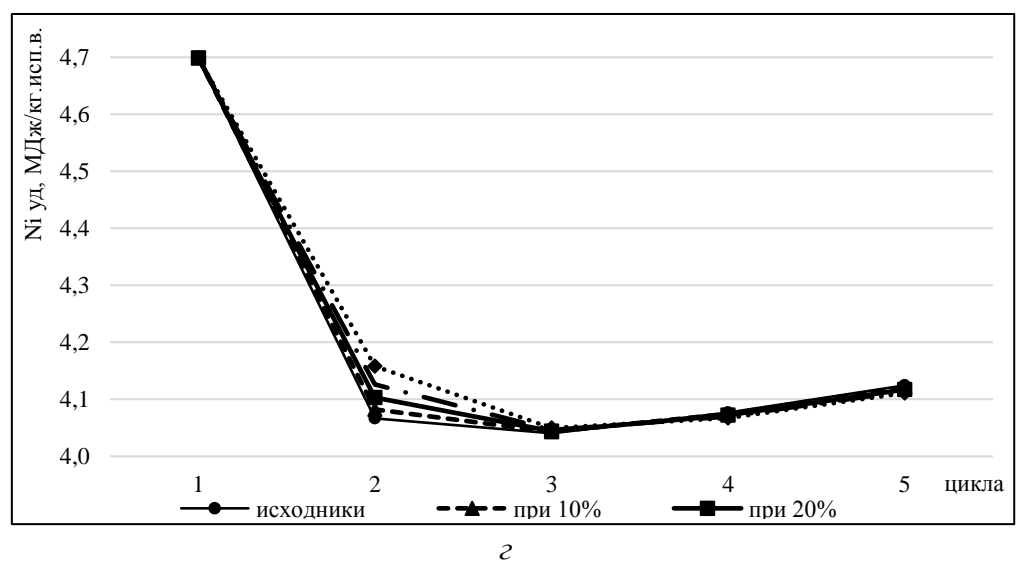
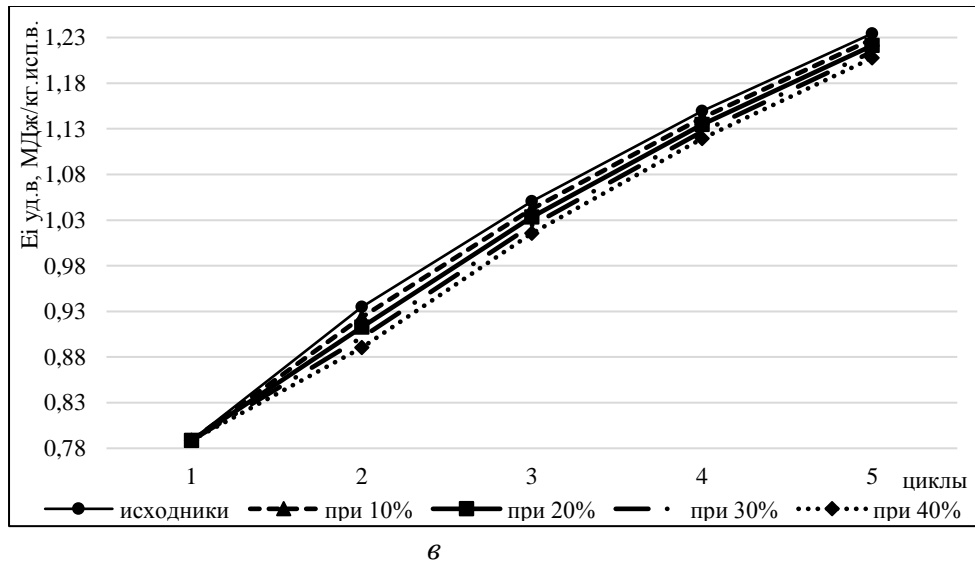
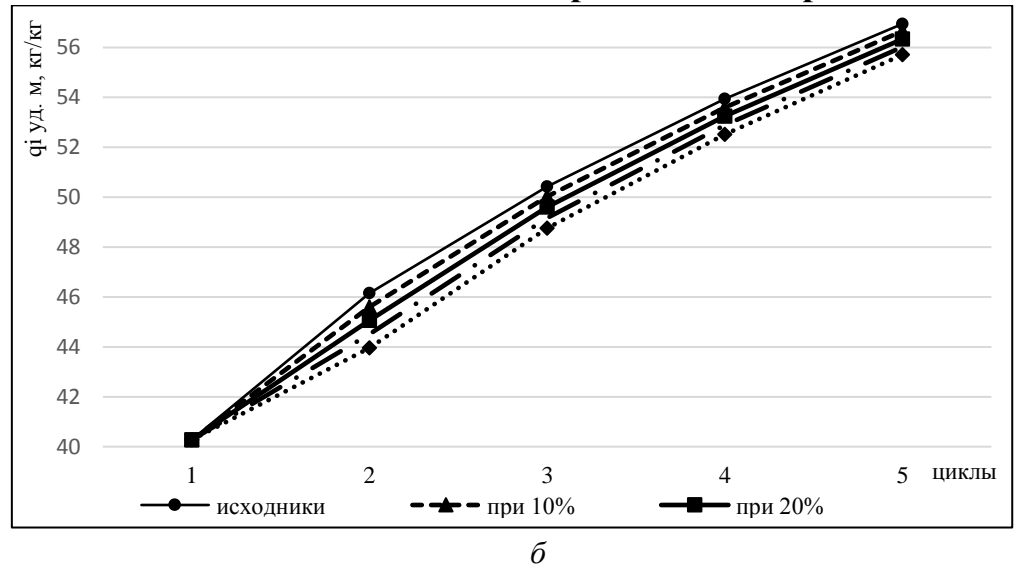
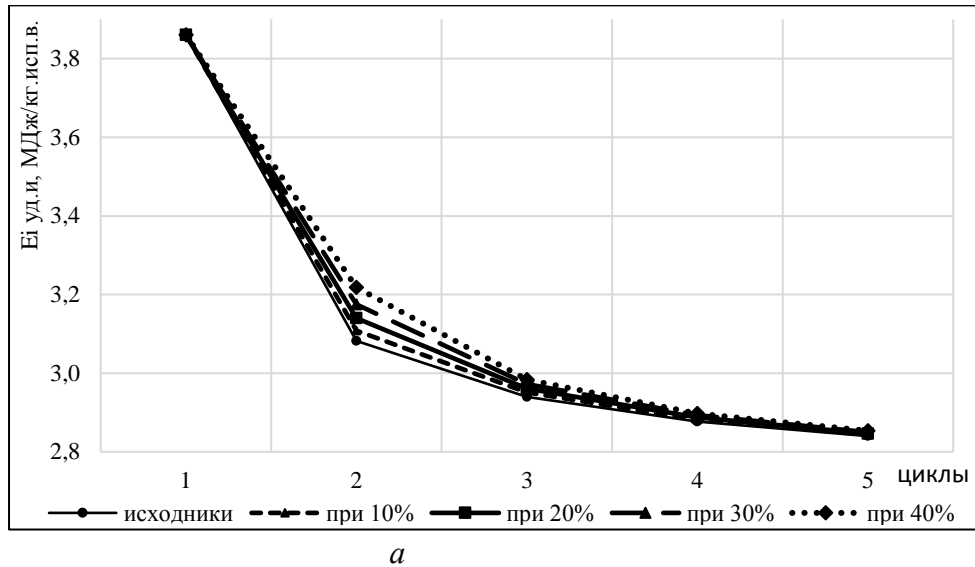


Рис. А11 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 100 °С после 1 цикла сушки между: *а* - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; *б* – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; *в* – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; *г* – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

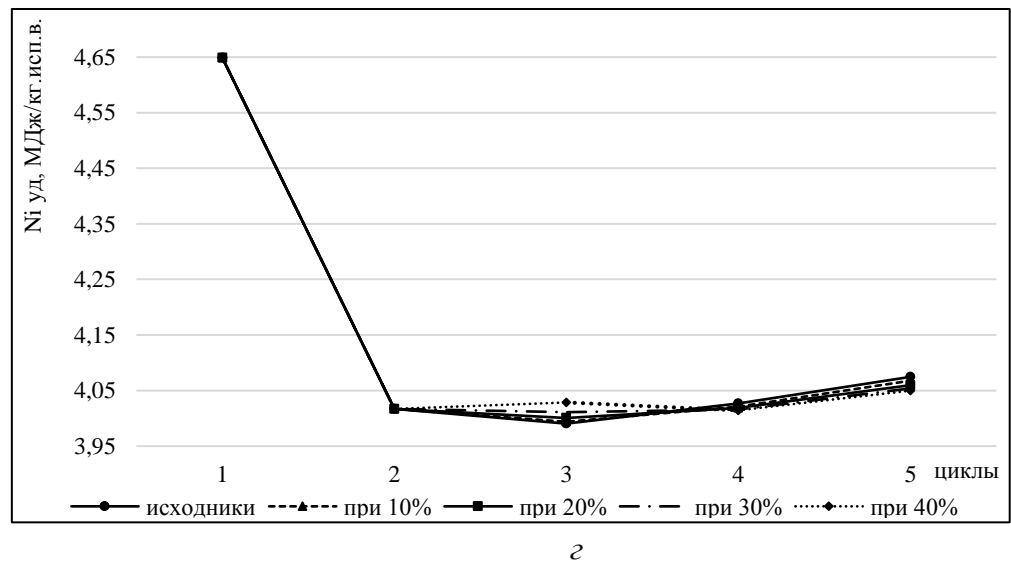
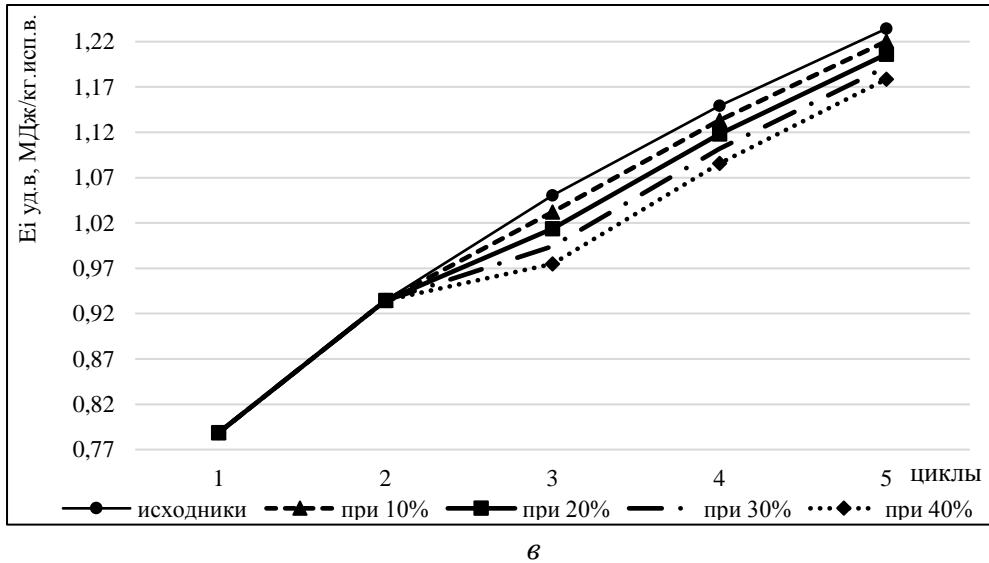
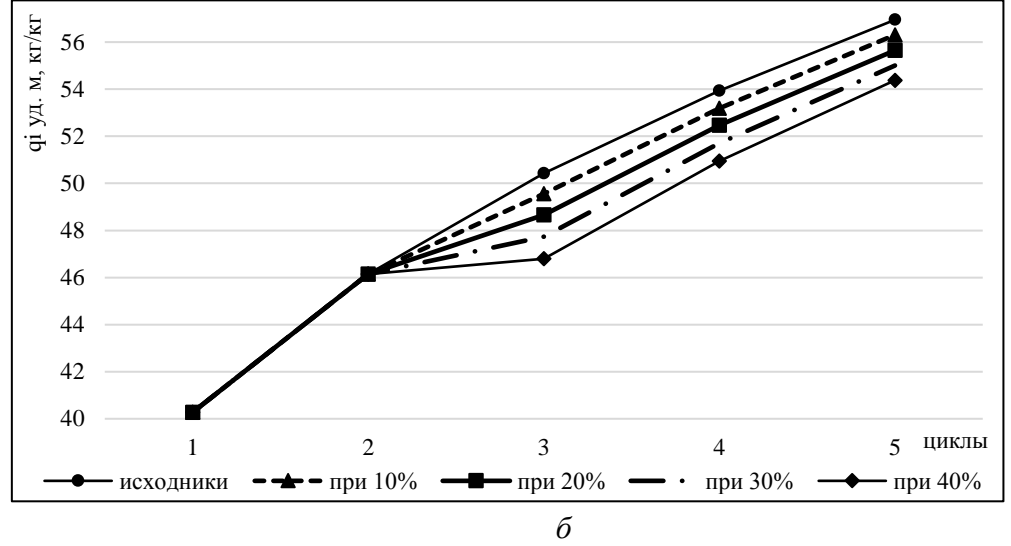
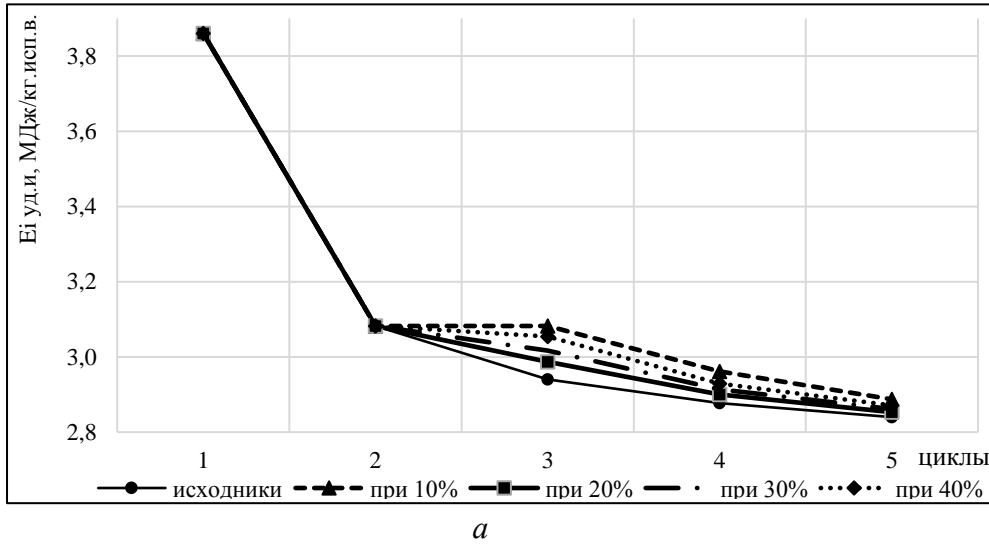
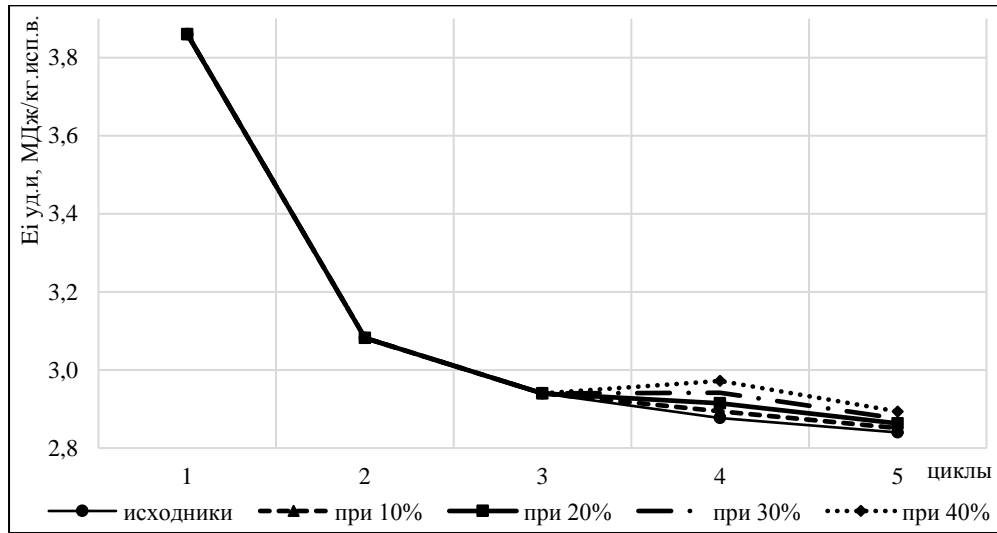
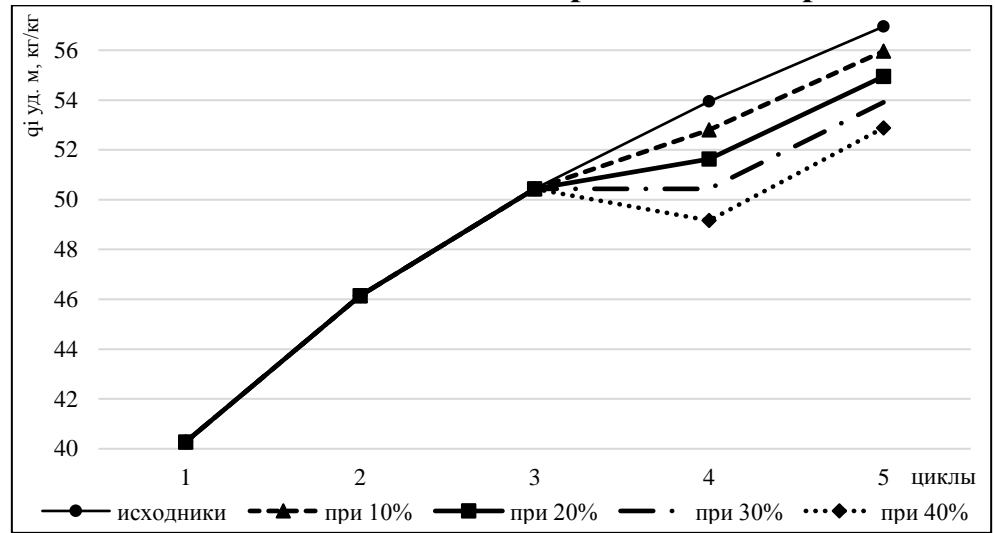


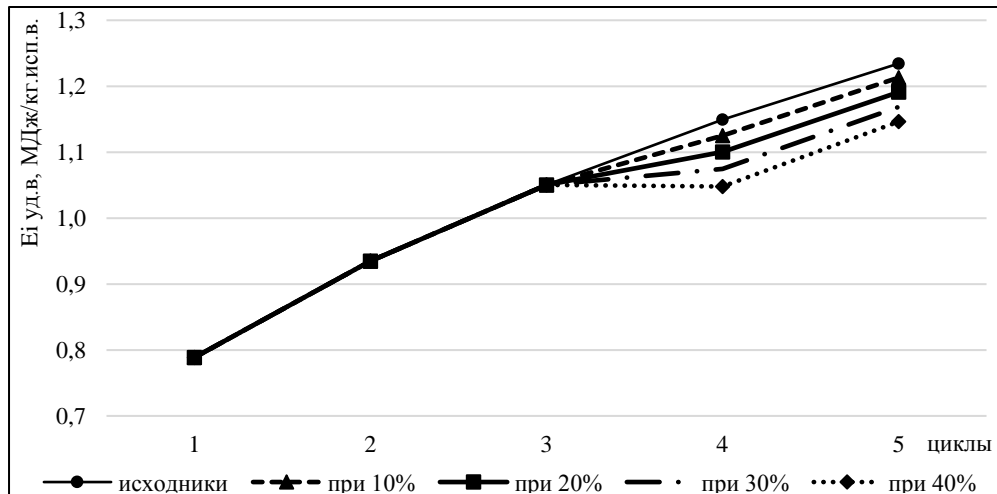
Рис. А12 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 100 °С после 2 цикла сушки между: *а* - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; *б* – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; *в* – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; *г* – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента



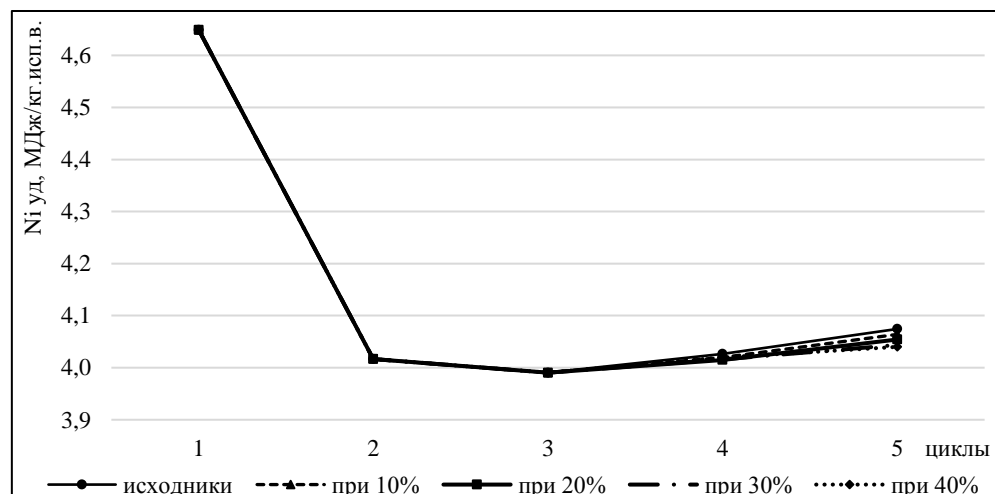
а



б

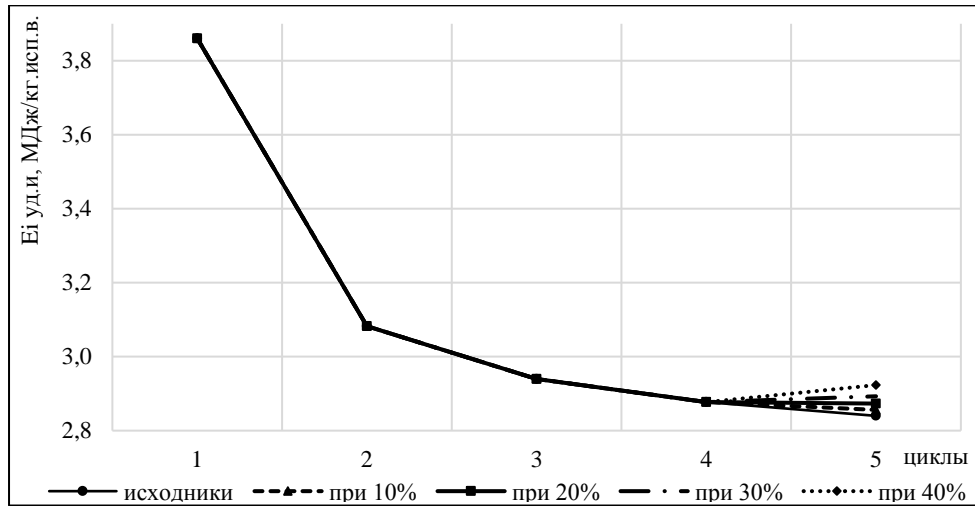


в

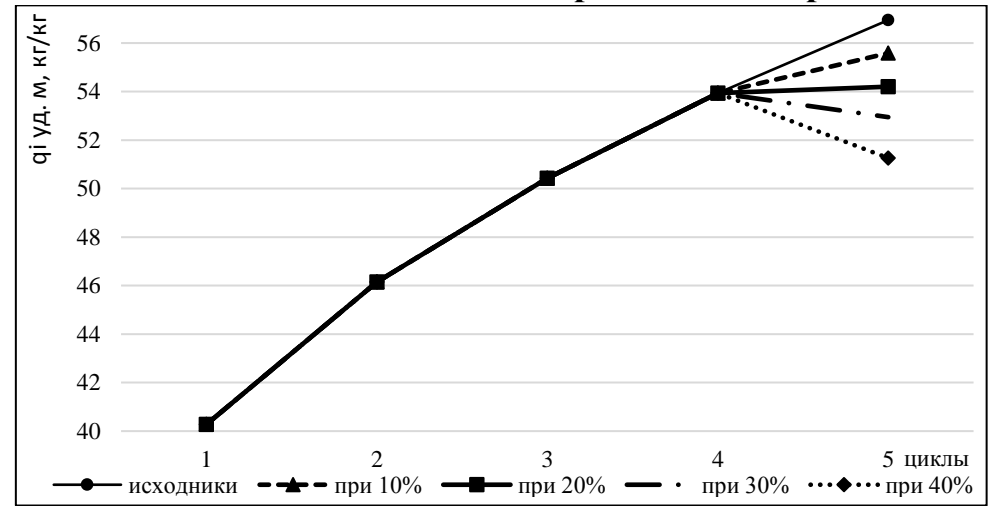


г

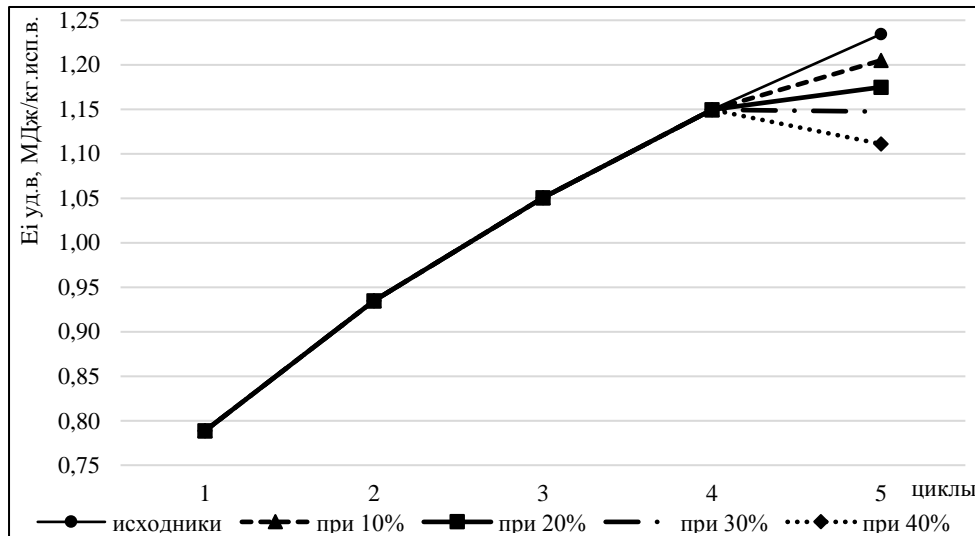
Рис.А13 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 100 °С после 3 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в –удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента



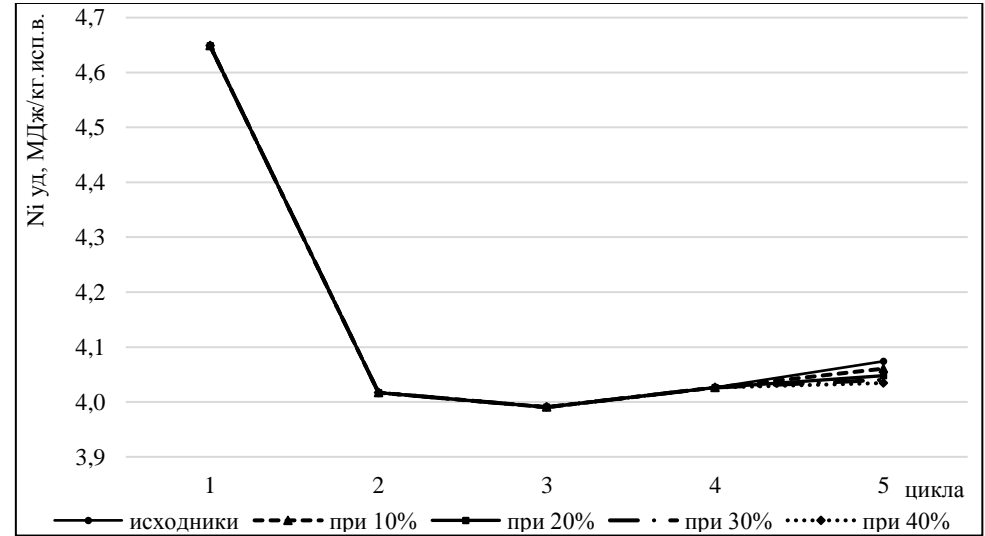
а



б



в



г

Рис. А14 - Графические зависимости однократного подмешивания отработавшего агента при 100 °С после 4 цикла сушки между: а - расходом энергии на испарение влаги и количеством циклов использования сушильного агента; б – удельным расходом энергии и количеством циклов использования сушильного агента; в – удельными энергозатратами на привод вентилятора и количеством циклов использования сушильного агента; г – суммарными удельными энергозатратами и количеством циклов использования сушильного агента

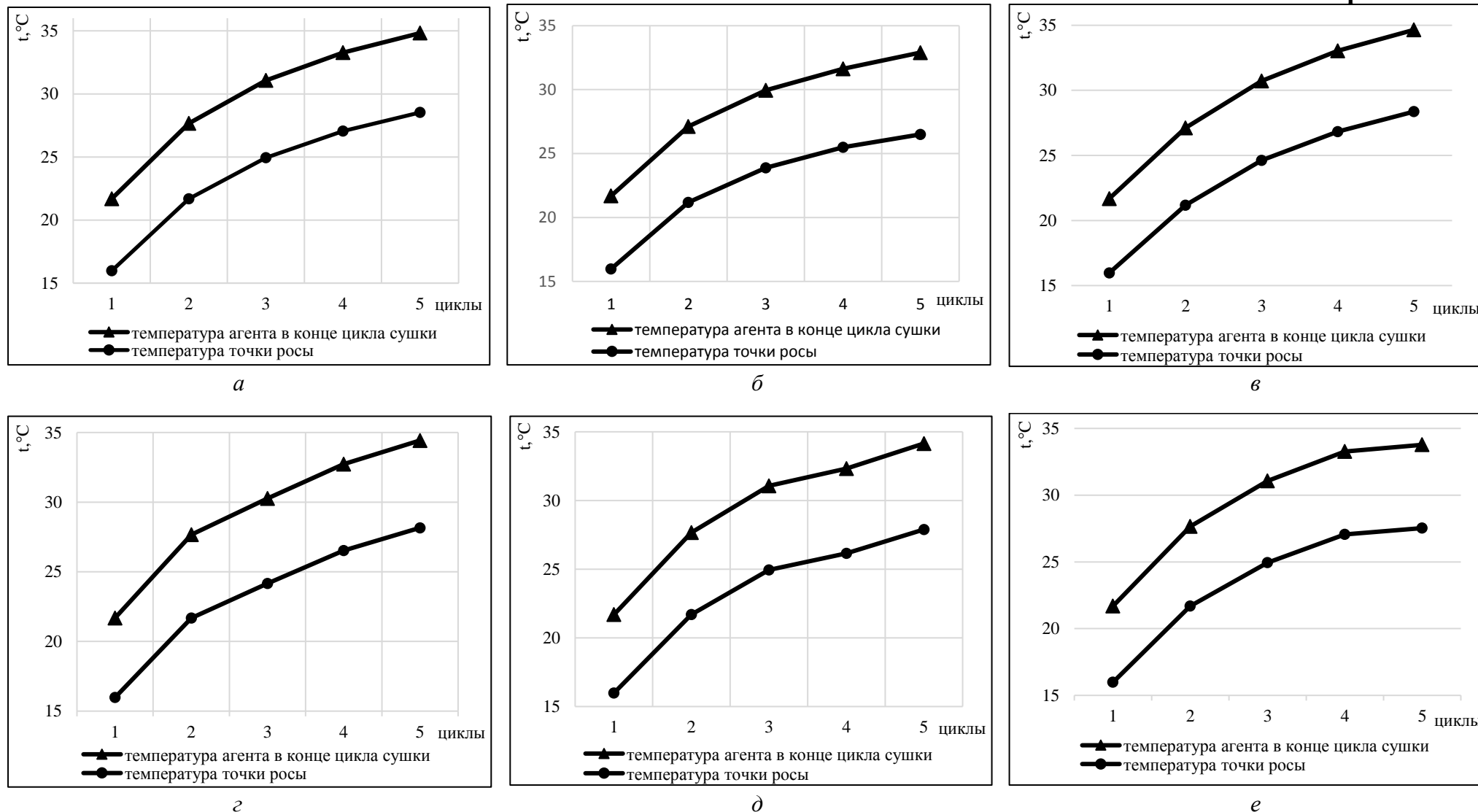
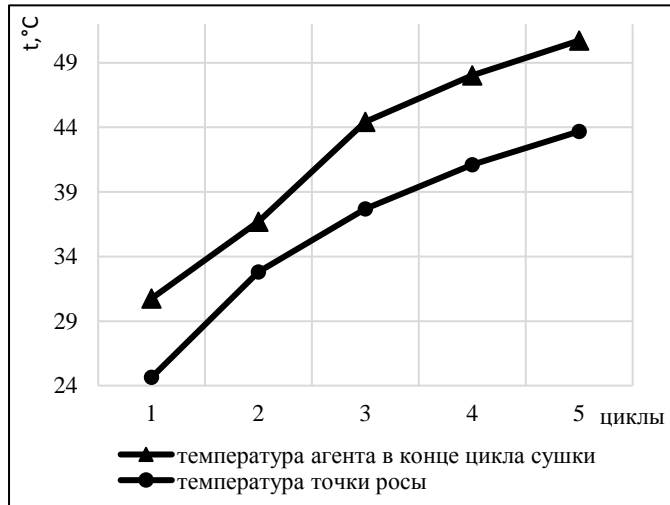
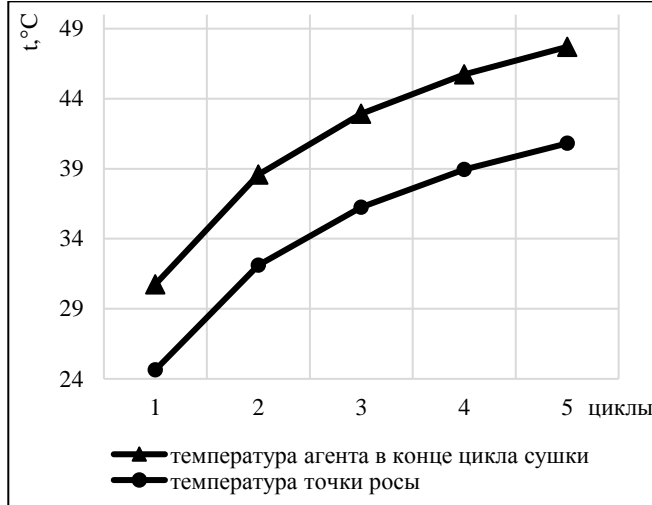


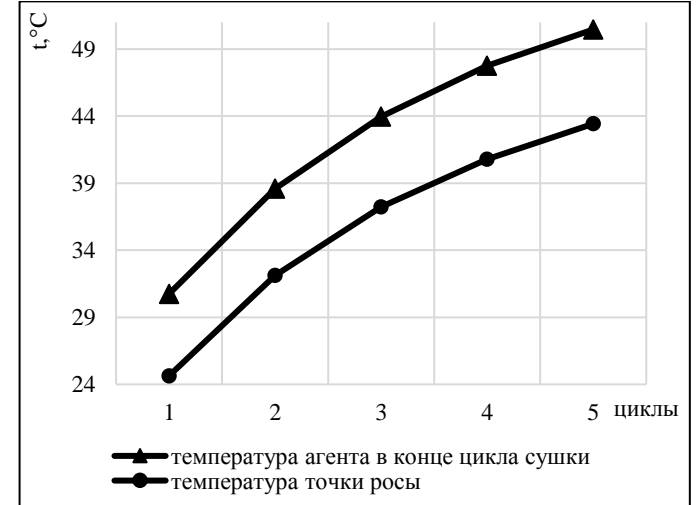
Рис. Б1 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 40°C и подмешивании 10% свежего воздуха: *a* - клапан-смеситель закрыт; *б*- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; *в*- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; *г* – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; *д* - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; *е* - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



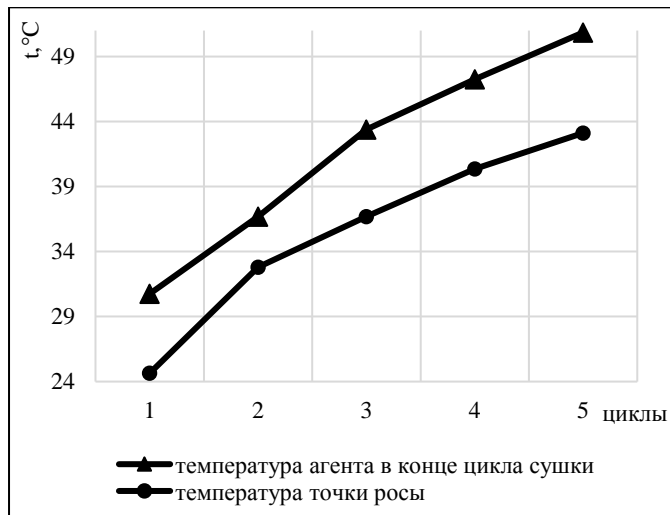
a



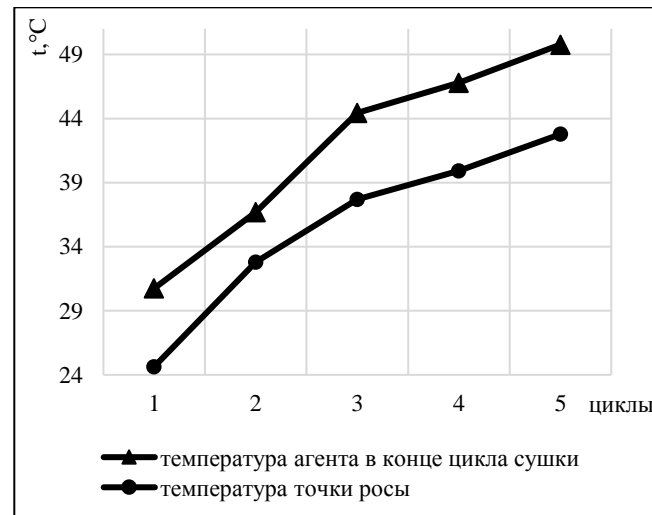
б



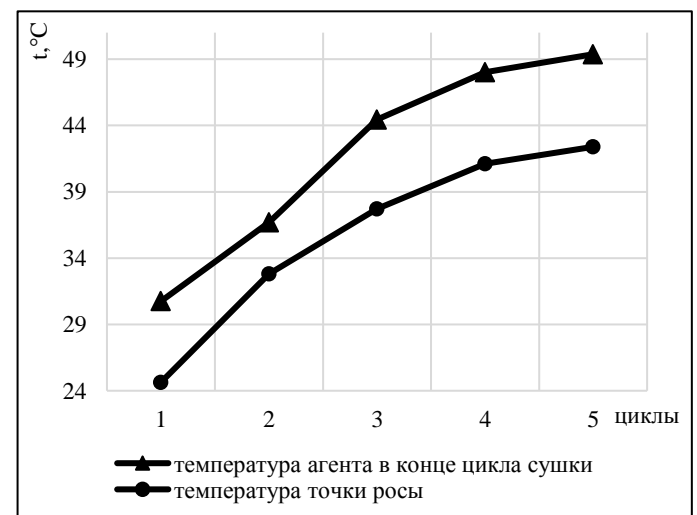
в



г

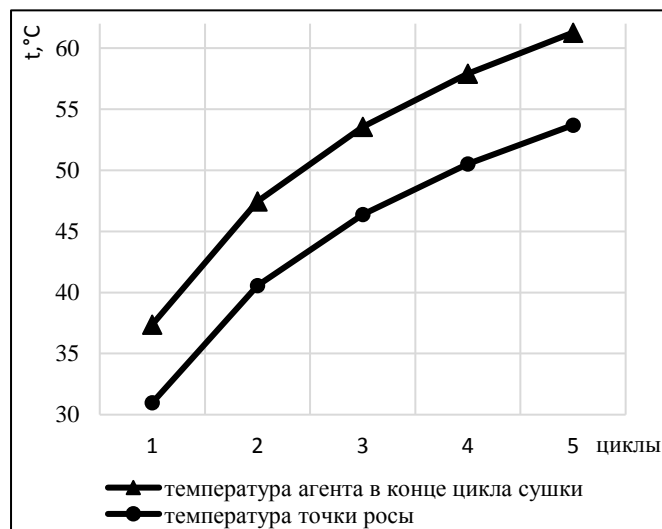


д

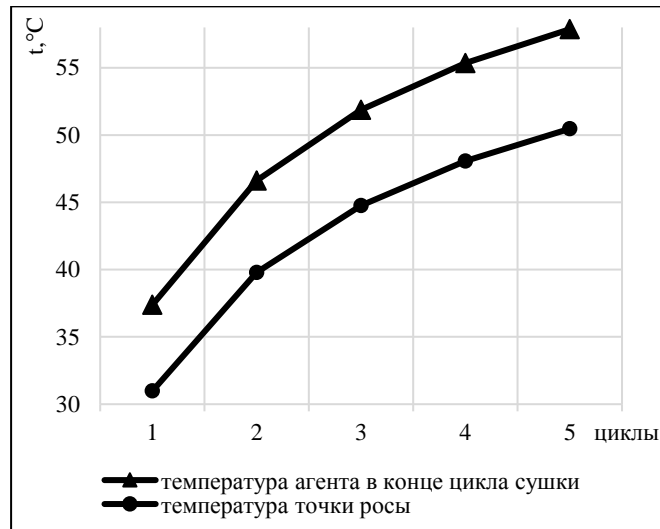


е

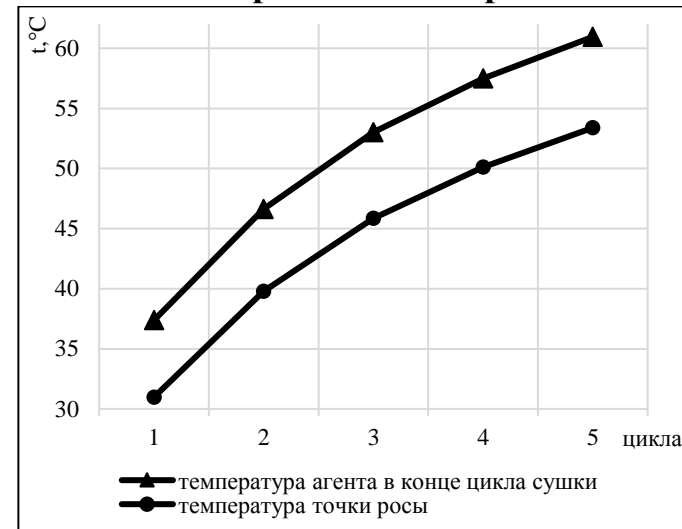
Рис. Б2 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 70°C и подмешивании 10% свежего воздуха: *a* - клапан-смеситель закрыт; *б*- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; *в*- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; *г* – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; *д* - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; *е* - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



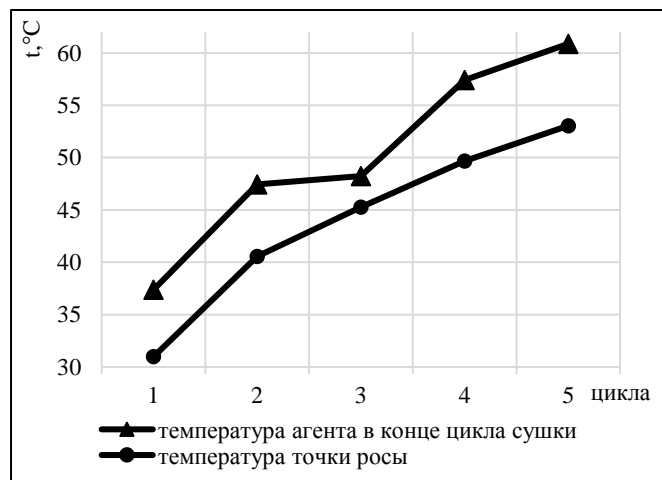
а



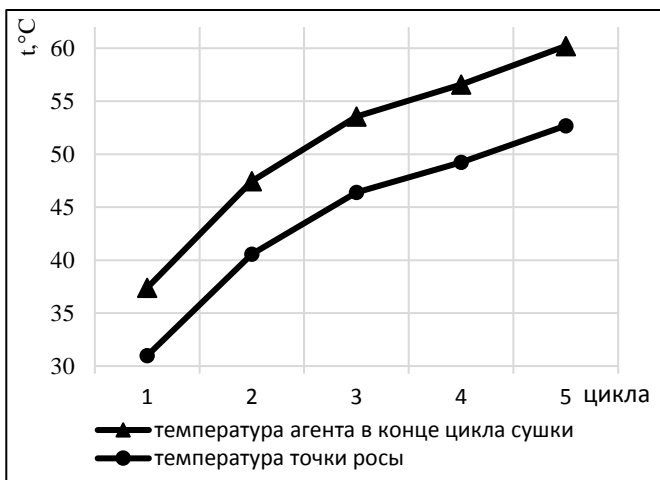
б



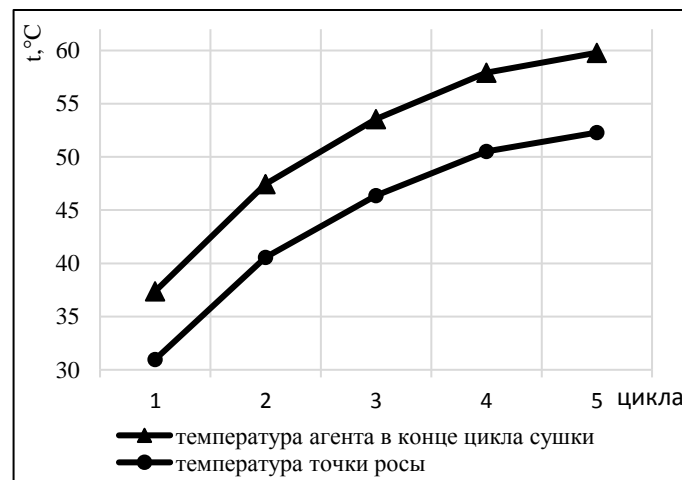
в



г

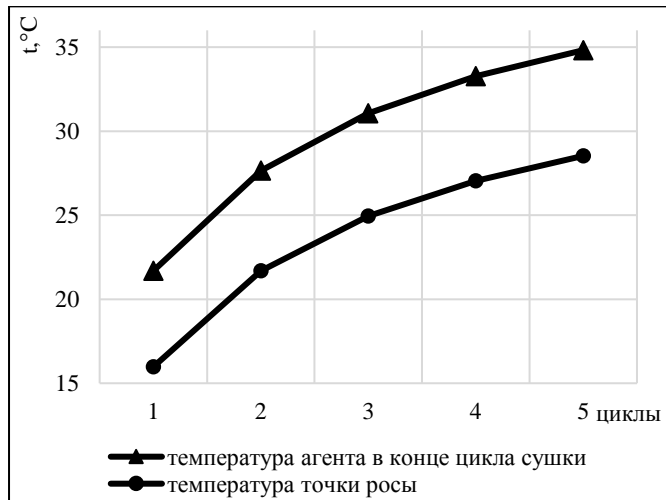


д

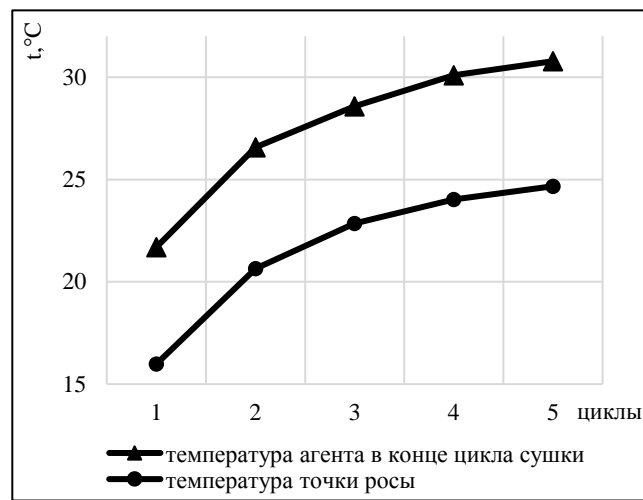


е

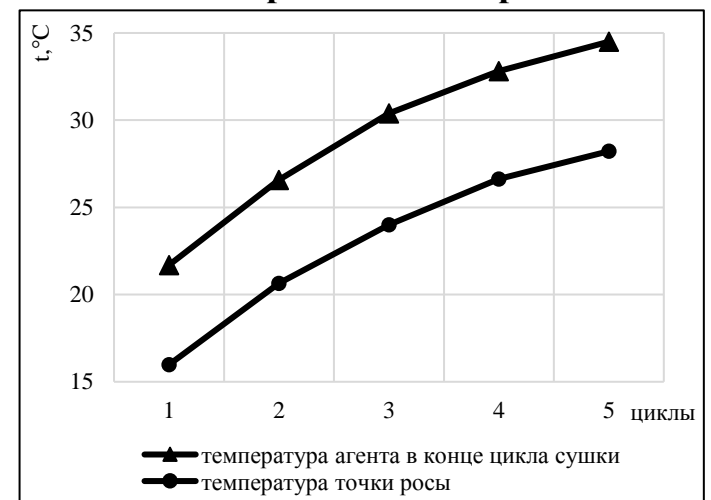
Рис. Б3 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 100°C и подмешивании 10% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



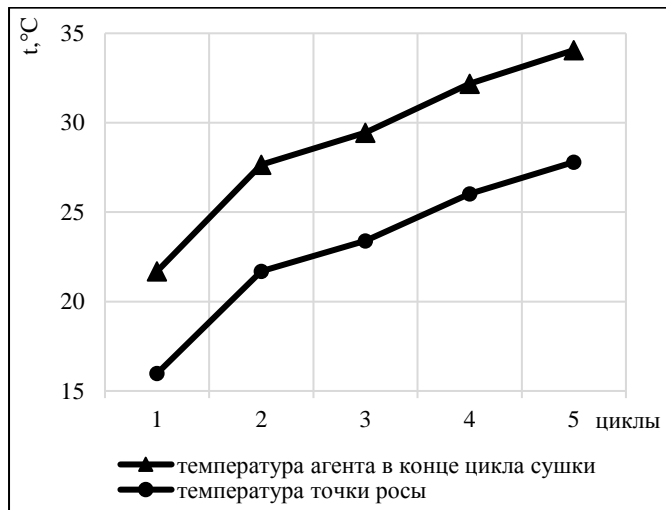
а



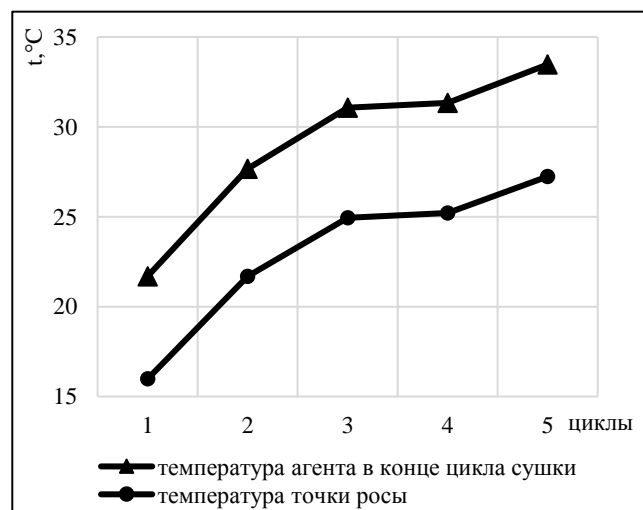
б



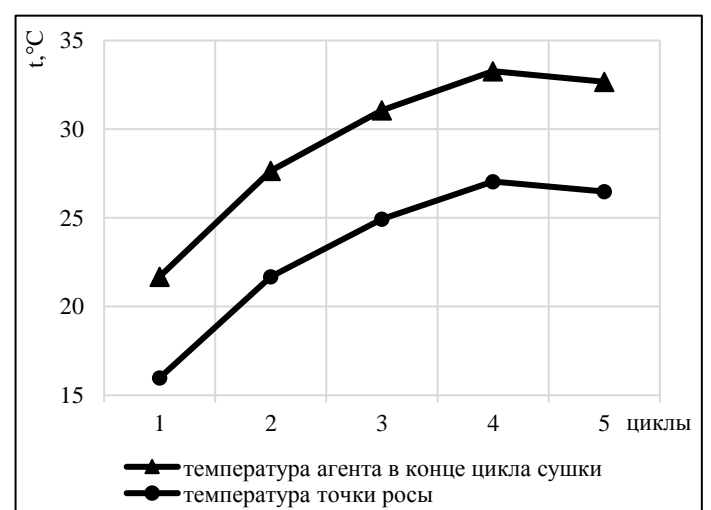
в



г

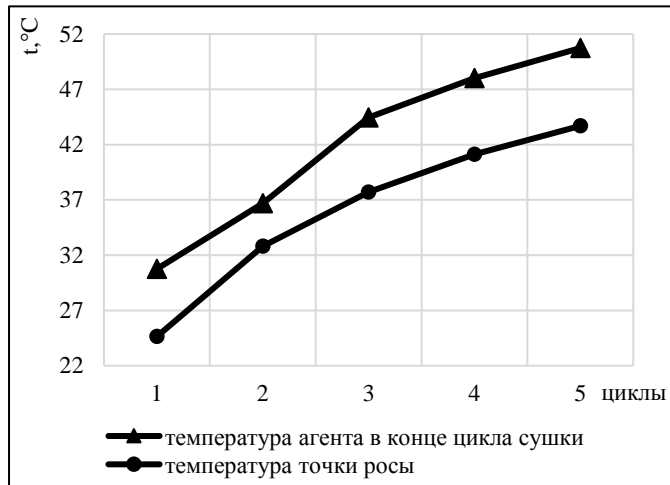


д

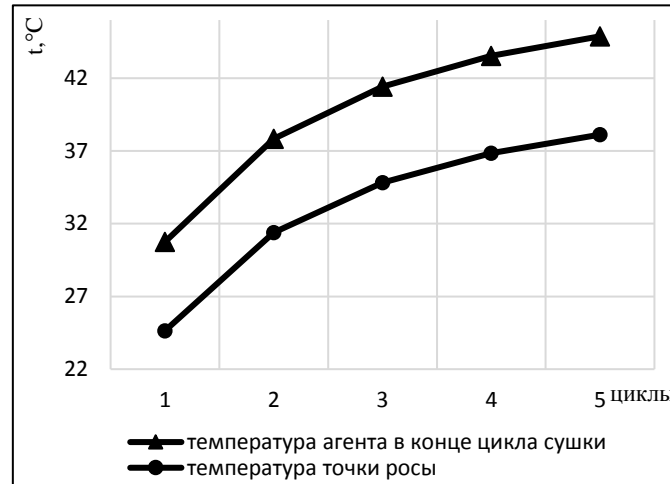


е

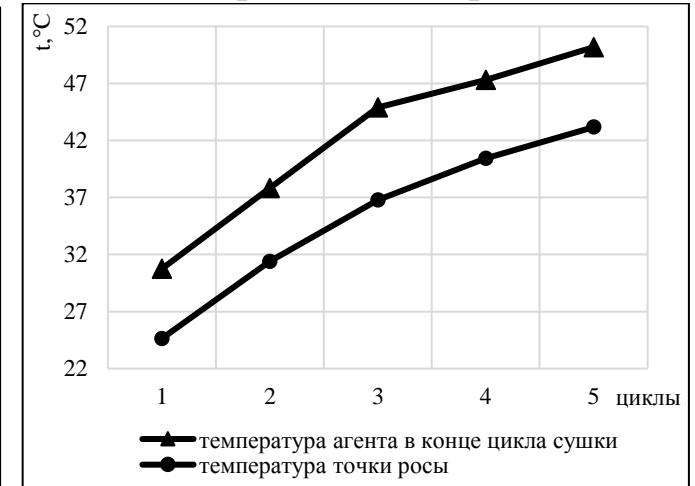
Рис. Б4 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 40°C и подмешивании 20% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



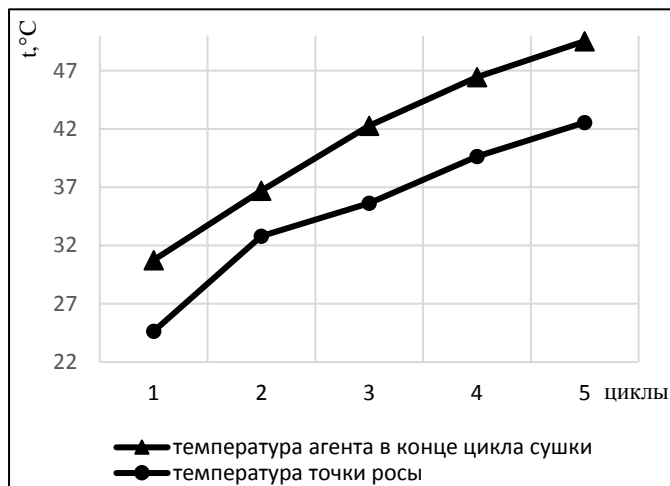
а



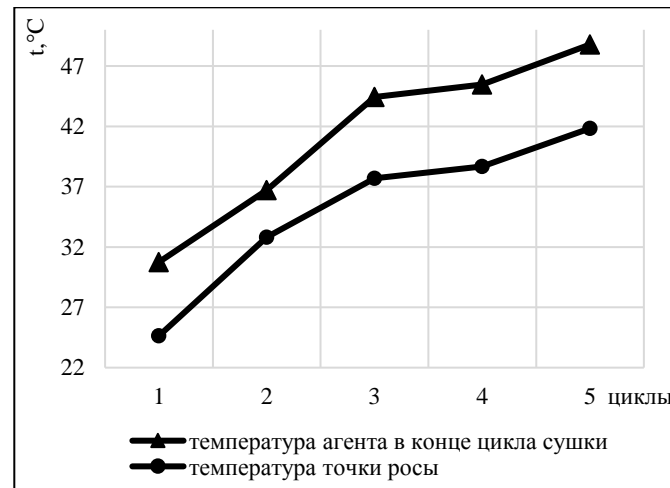
б



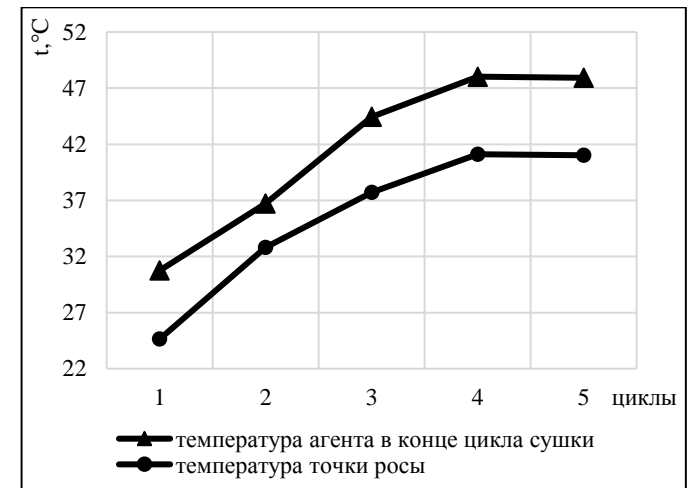
в



г

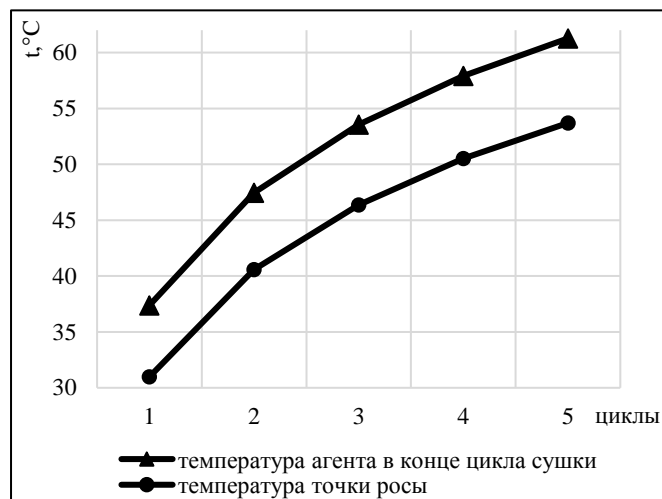


д

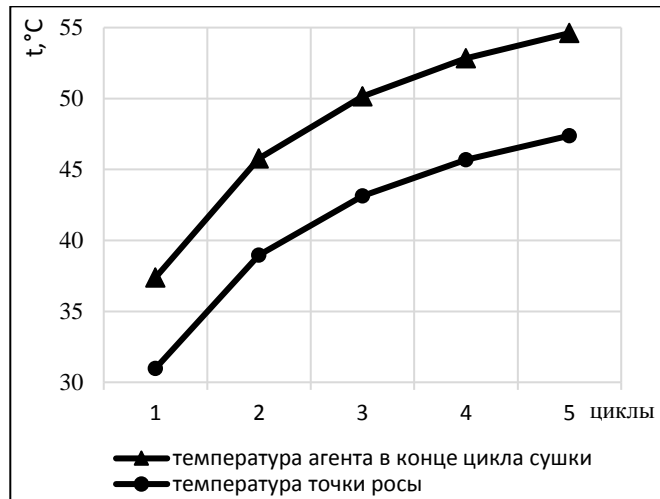


е

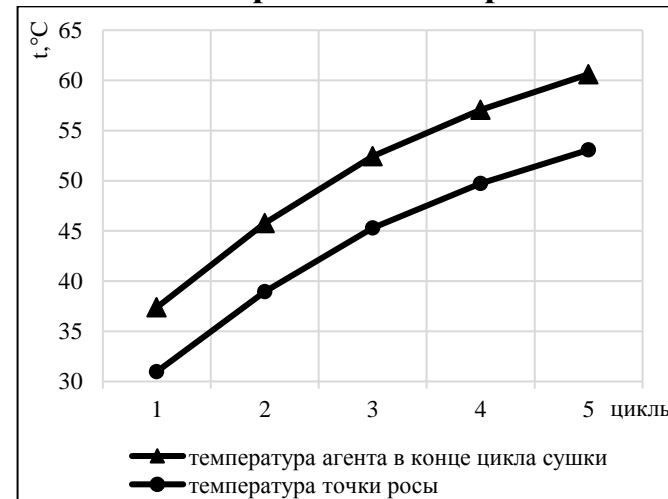
Рис. Б5 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 70°C и подмешивании 20% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



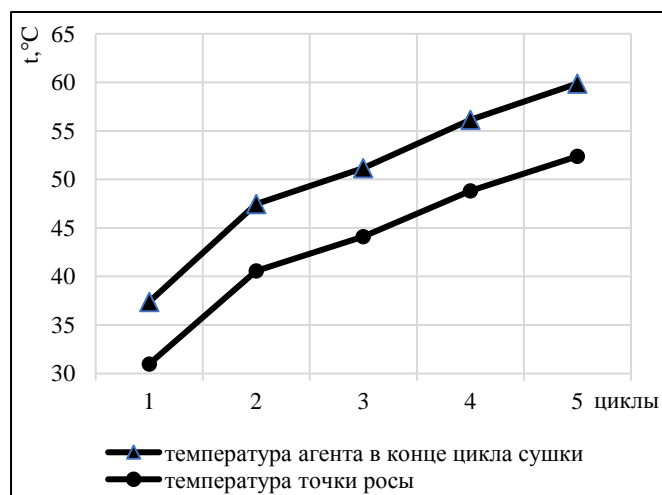
a



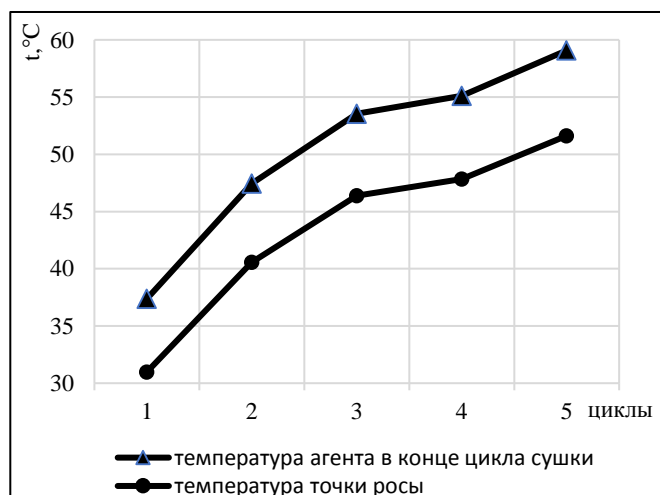
б



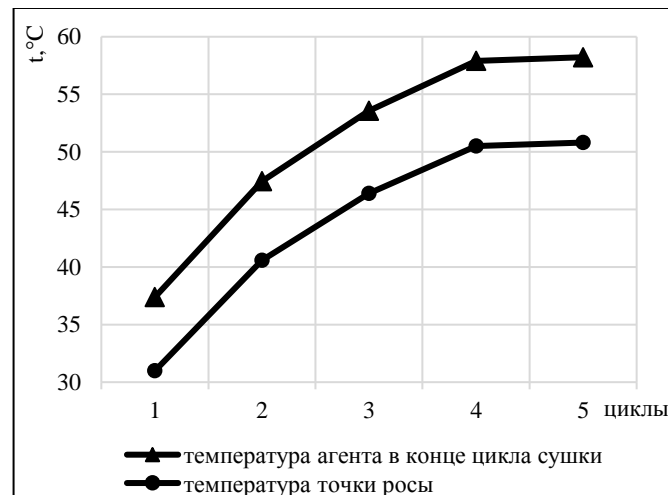
в



г

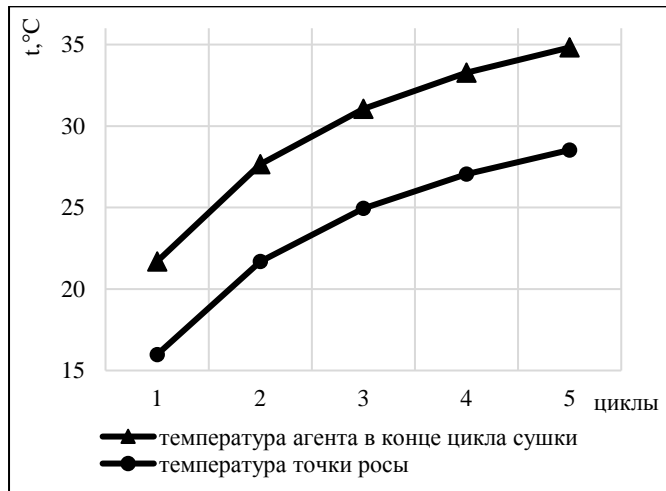


д

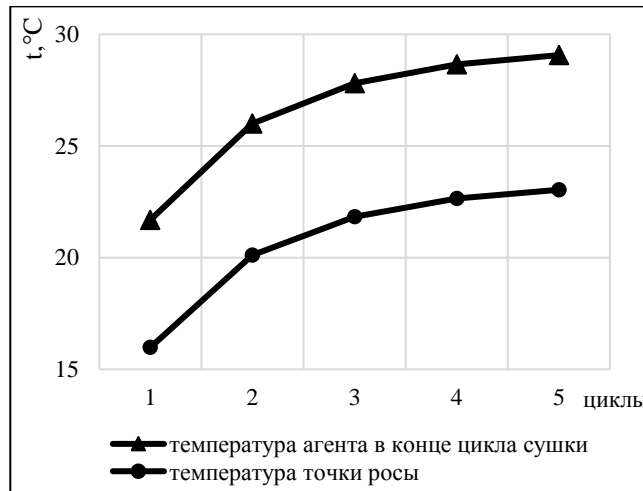


е

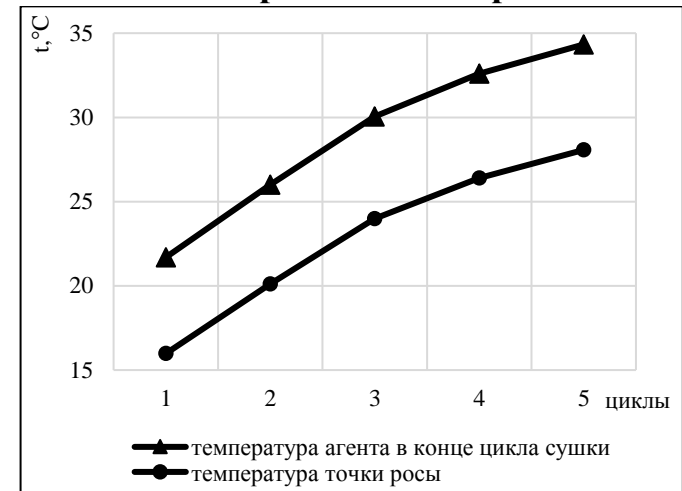
Рис. Бб - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 100°C и подмешивании 20% свежего воздуха: *a* - клапан-смеситель закрыт; *б*- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; *в*- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; *г* – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; *д* - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; *е* - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



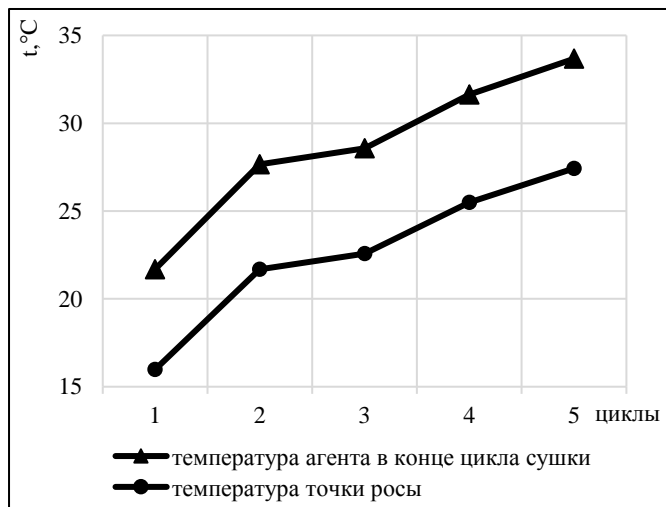
а



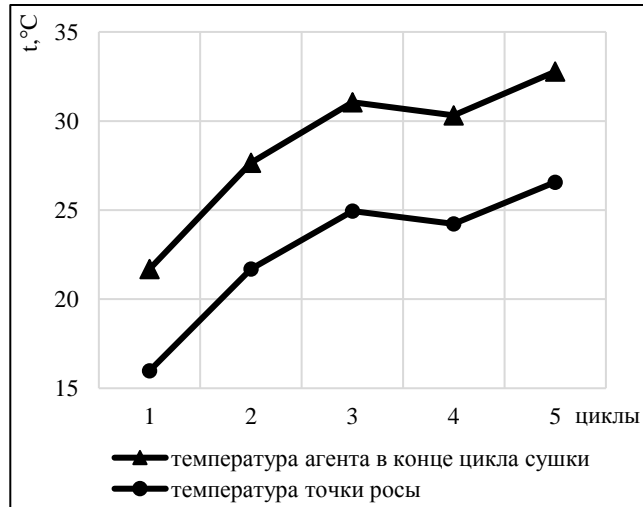
б



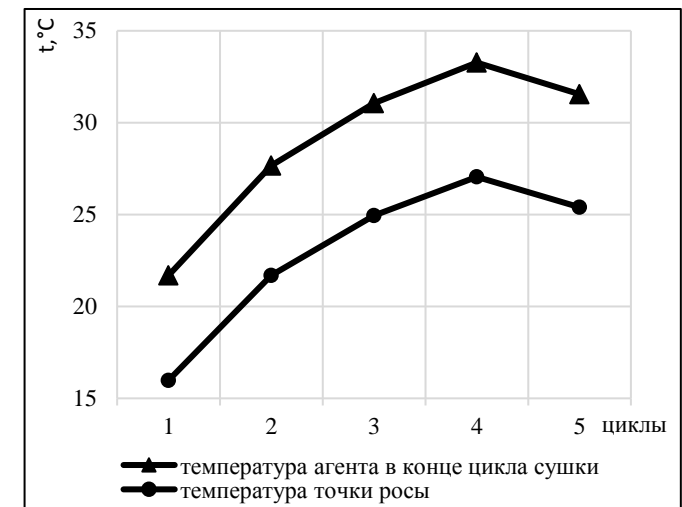
в



г

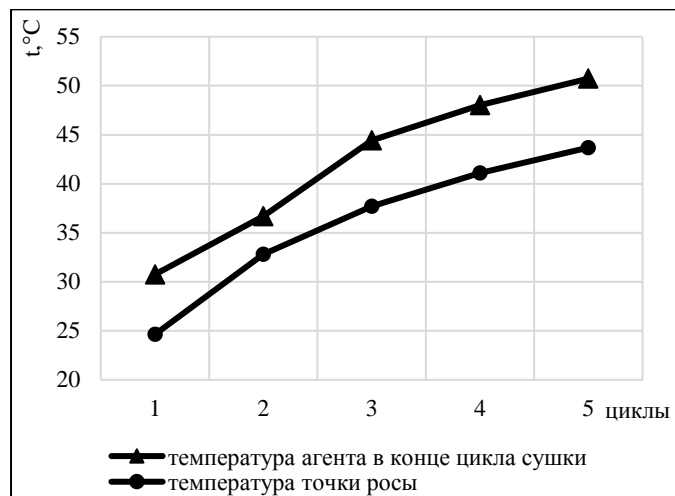


д

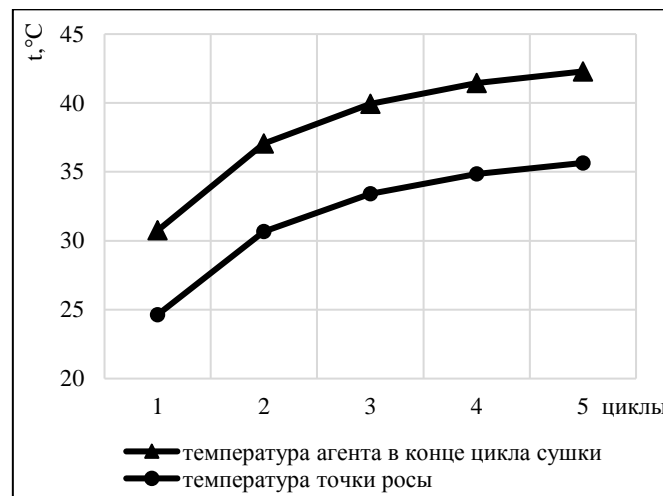


е

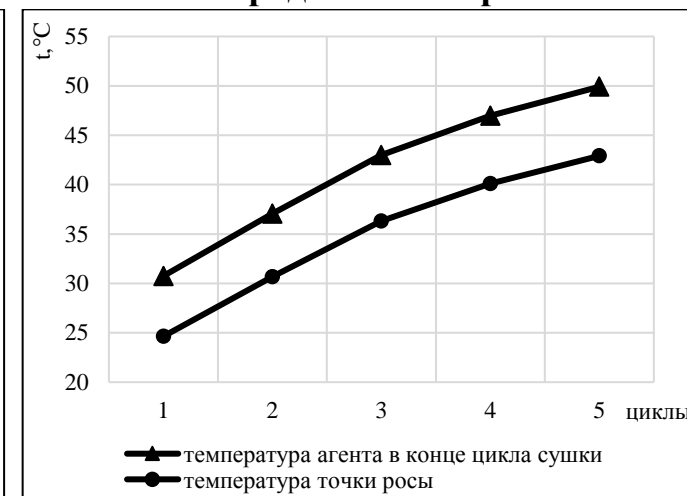
Рис. Б7 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 40°C и подмешивании 30% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



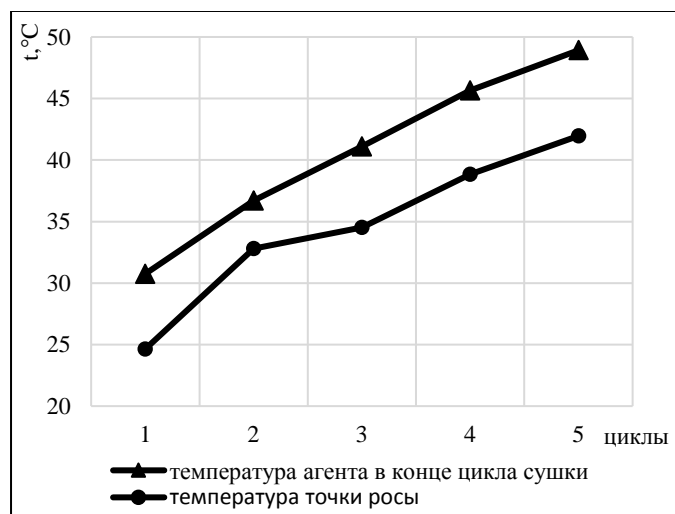
а



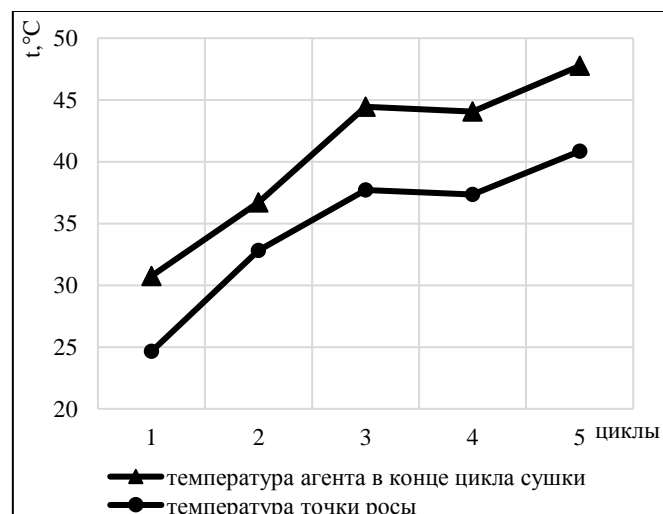
б



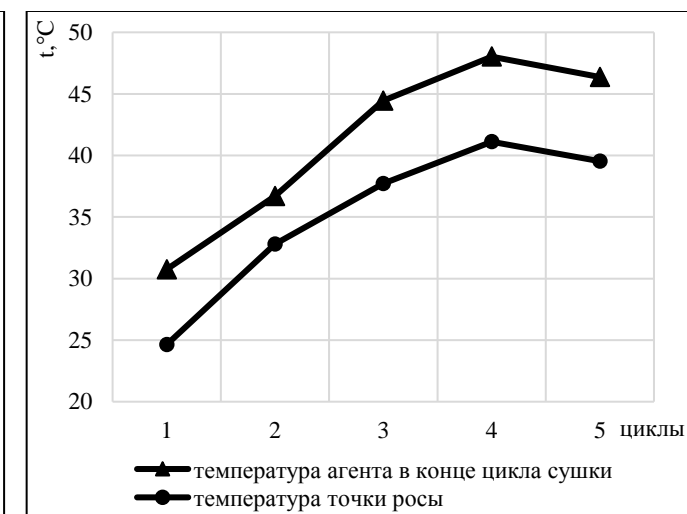
в



г

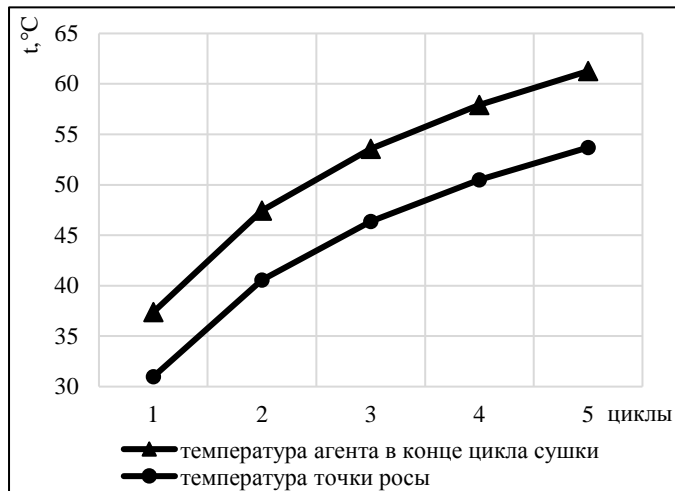


д

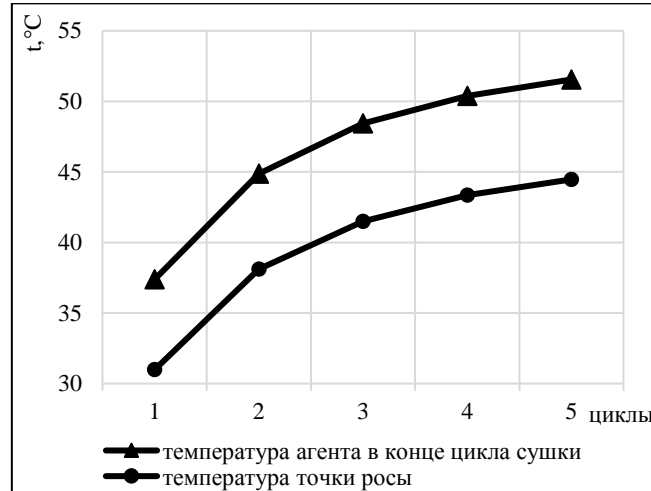


е

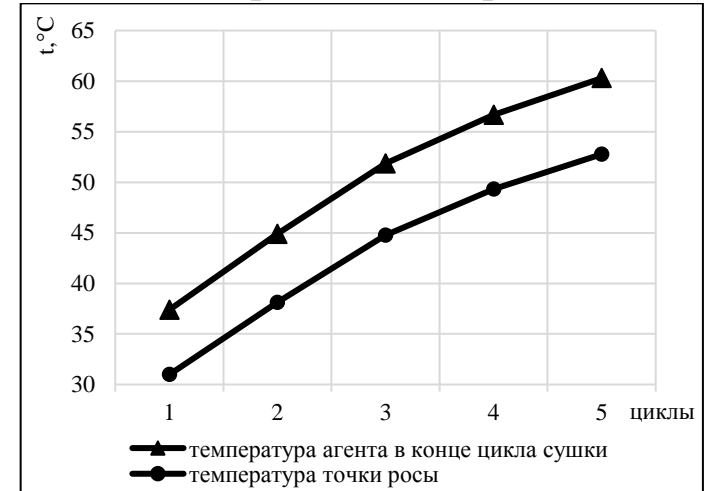
Рис. Б8 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 70°C и подмешивании 30% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



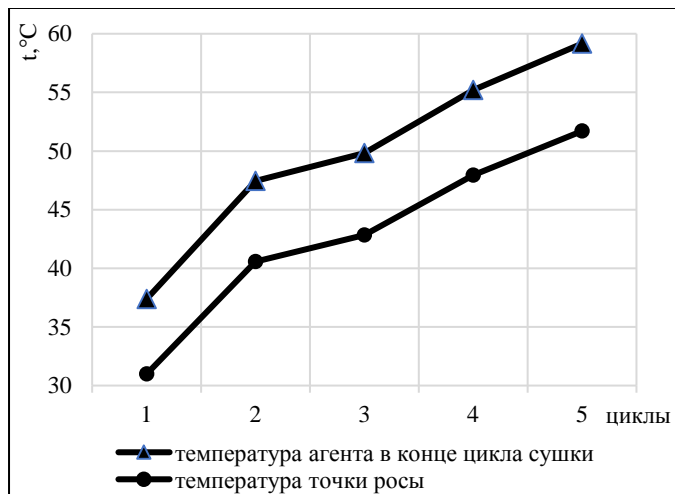
а



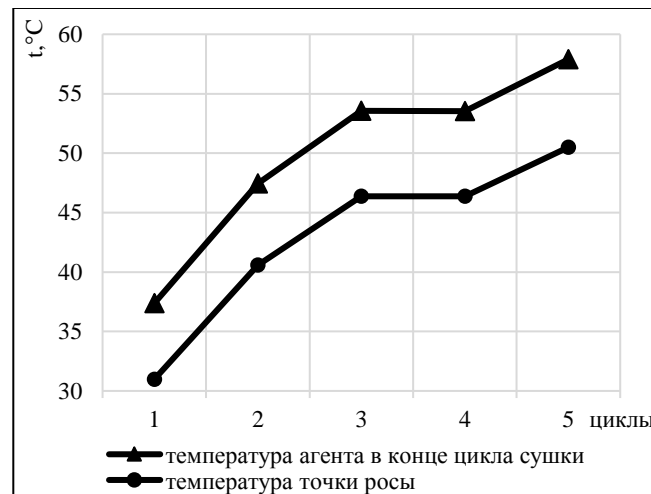
б



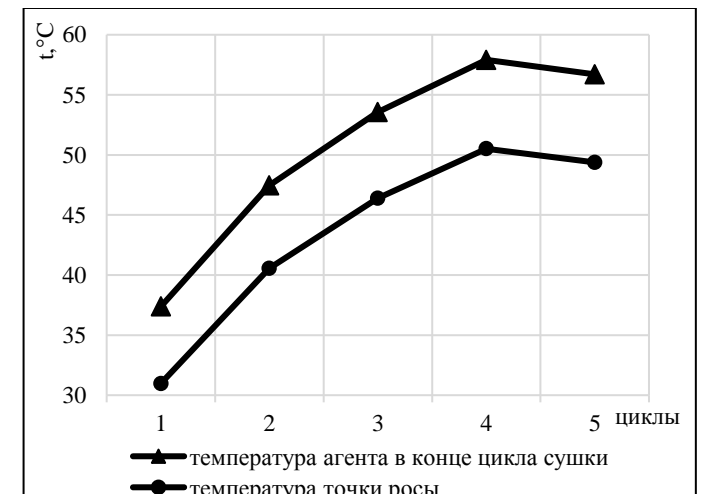
в



г

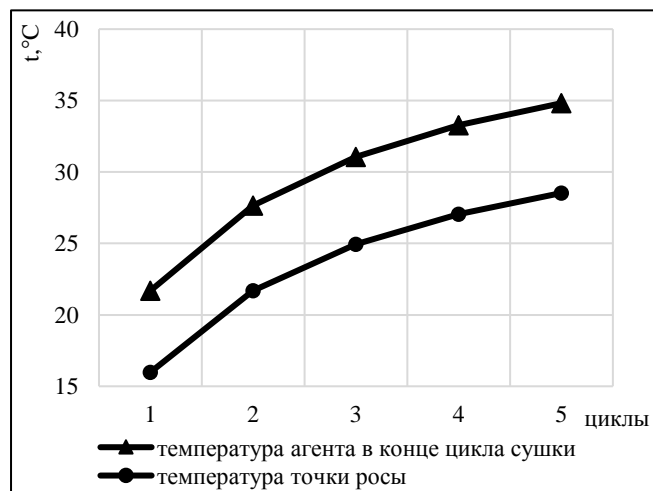


д

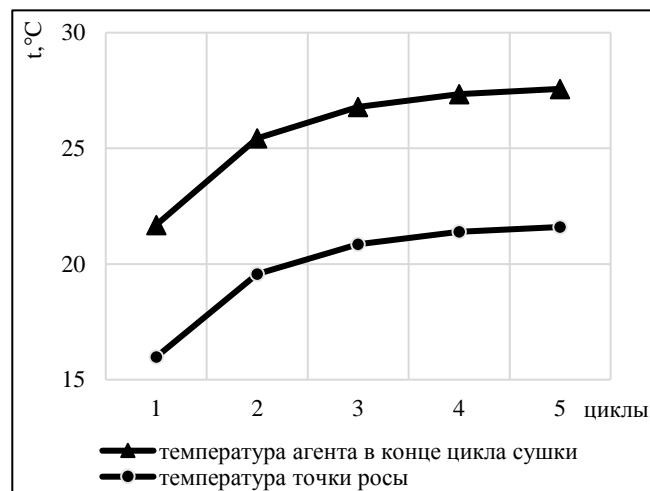


е

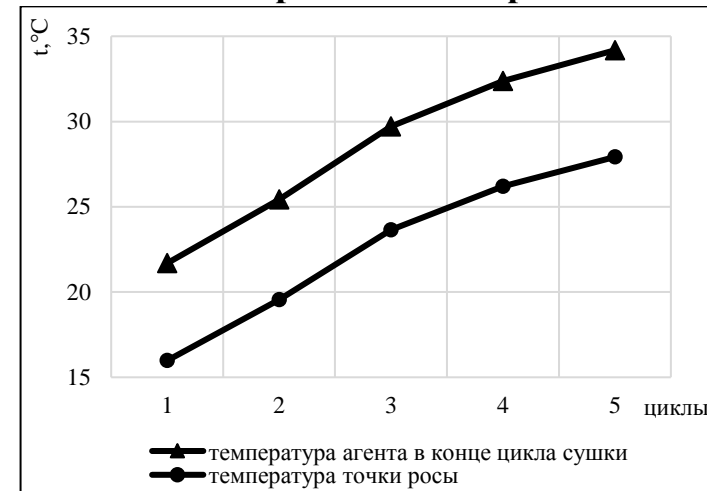
Рис. Б9 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 100°C и подмешивании 30% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



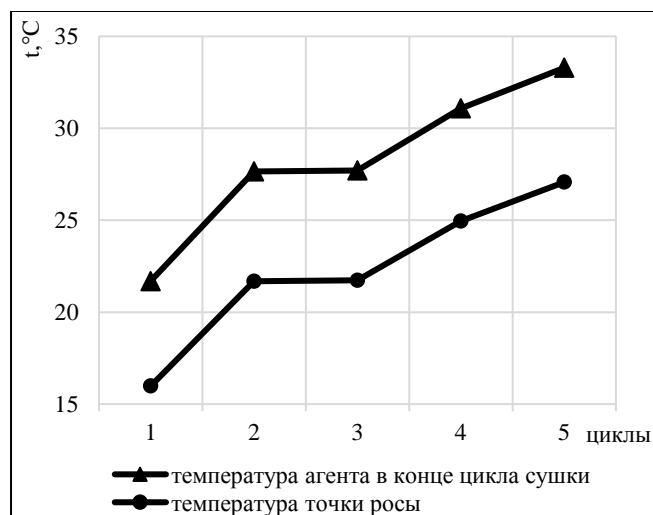
а



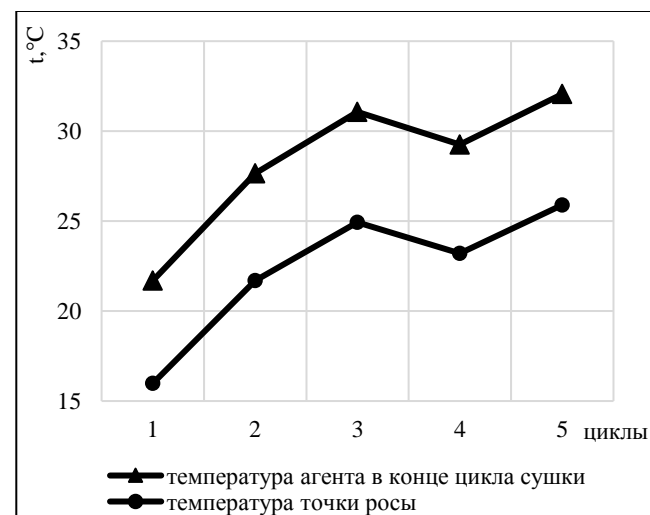
б



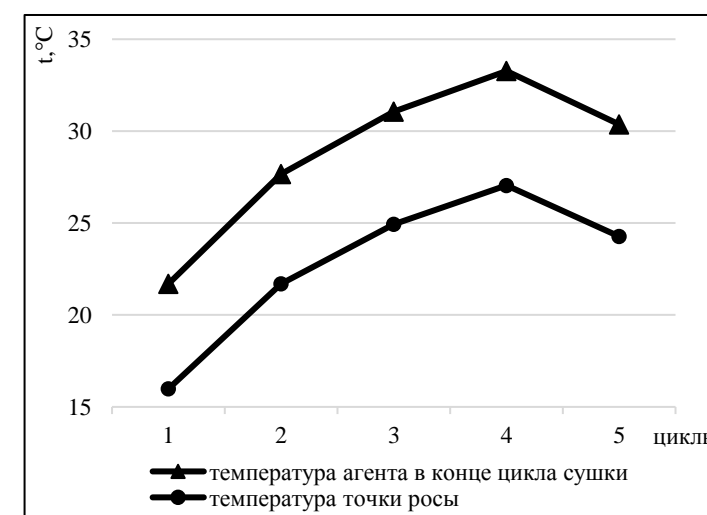
в



г



д



е

Рис. Б10 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 40°C и подмешивании 40% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г - однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.

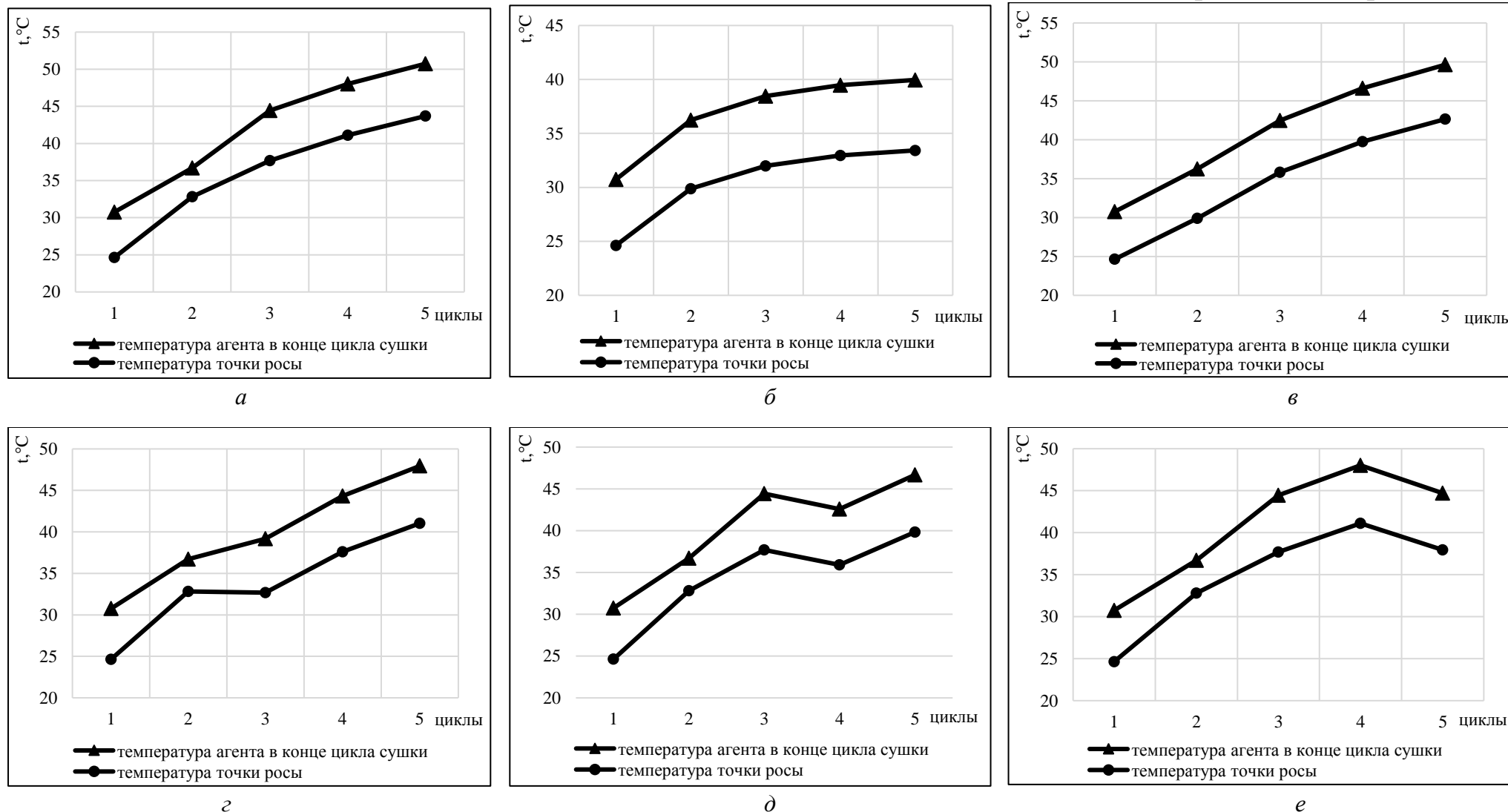
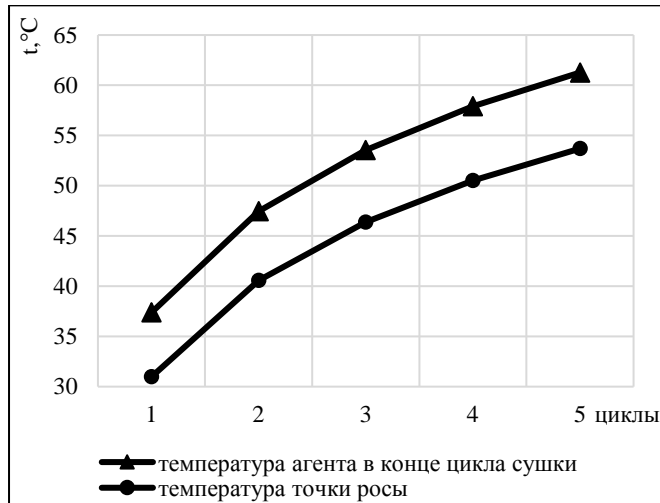
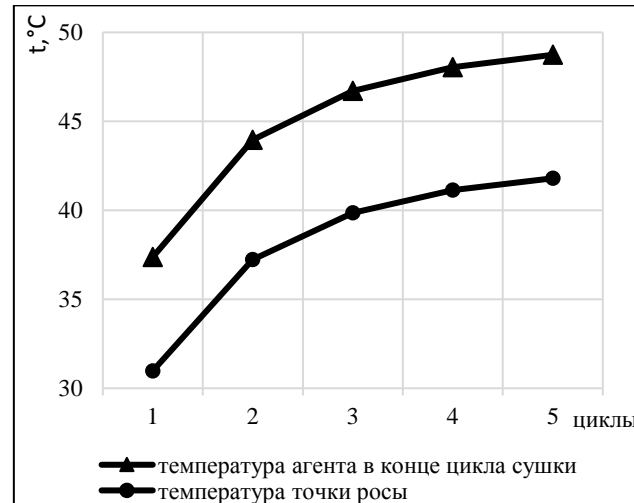


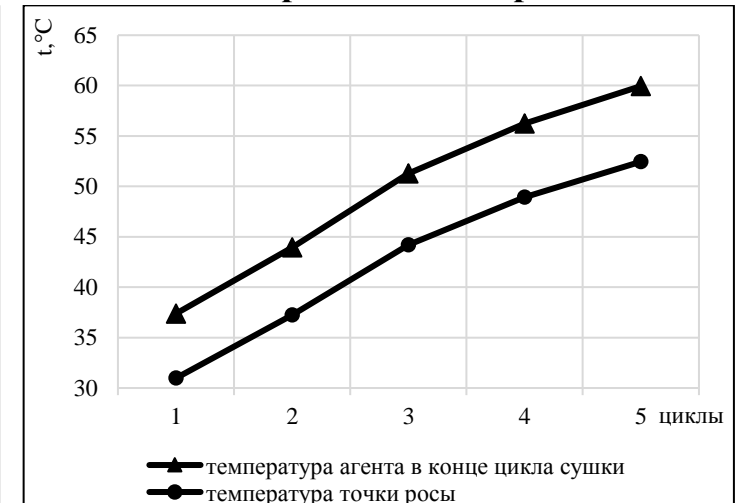
Рис. Б11 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 70°C и подмешивании 40% свежего воздуха: *a* - клапан-смеситель закрыт; *б*- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; *в*- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; *г* – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; *д* - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; *е* - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.



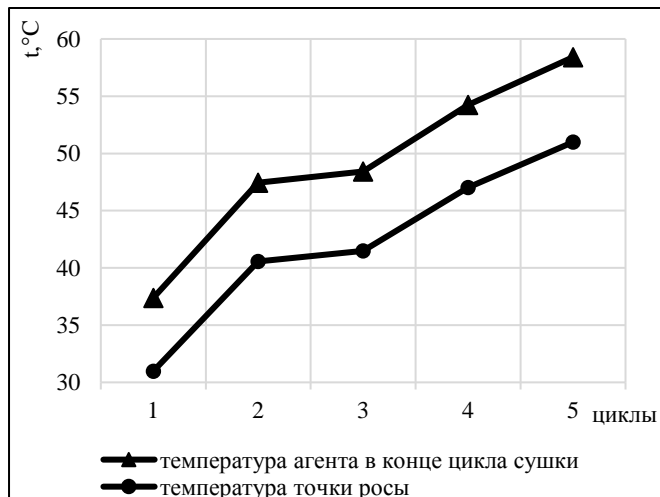
а



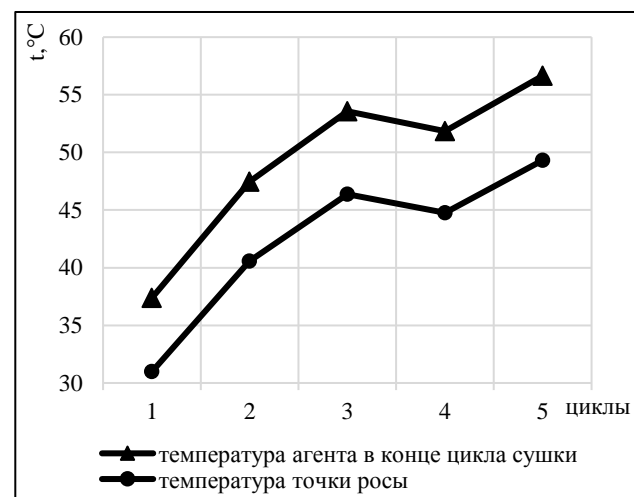
б



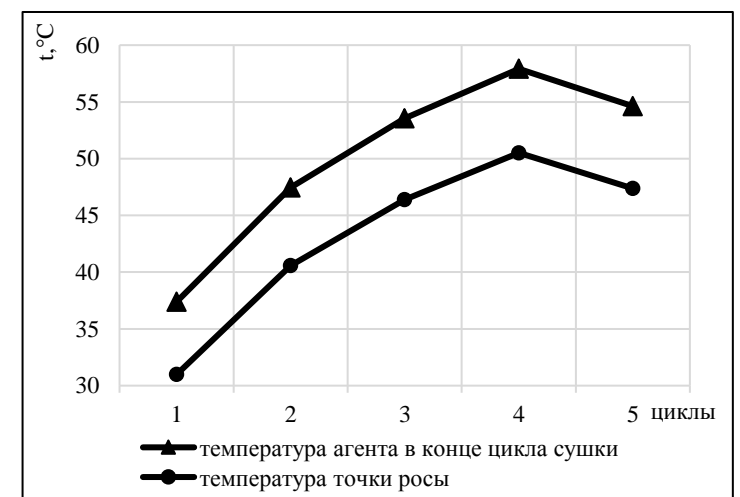
в



г



д



е

Рис. Б12 - Графические зависимости температур точки росы и отработавшего агента в конце цикла сушки при 100°C и подмешивании 40% свежего воздуха: а - клапан-смеситель закрыт; б- постоянное подмешивание свежего воздуха на каждый цикл; в- однократное подмешивание свежего воздуха после 1 цикла сушки; г – однократное подмешивание свежего воздуха после 2 цикла сушки; д - однократное подмешивание свежего воздуха после 3 цикла сушки; е - однократное подмешивание свежего воздуха после 4 цикла сушки.

Приложение В

Таблица Д1 - Результаты лабораторного исследования определения аэродинамических характеристик в камере сушки зерносушилки

Плоскость замера	Ячейка замера	Положение заслонок (X)		
		45° (засл. откр)	67°	90° (засл. закр)
		Расходы воздуха, Q, м ³ /ч		
А	1	4455	3519	0
	2	4374	3501	0
	3	5643	3762	0
	4	4788	3609	0
	5	3564	2889	0
	6	2268	2088	0
	7	1503	1035	0
	8	1368	1008	0
В	1	5868	3762	990
	2	5625	4005	900
	3	4338	3978	900
	4	3888	3249	1620
	5	2709	2142	990
	6	2601	1539	0
	7	2088	1206	0
	8	1395	1089	0
С	1	6246	4005	1584

Продолжение приложения В

	2	4977	4311	1899
	3	3942	3240	2574
	4	3195	2862	1989
	5	2475	2205	1404
	6	2088	1908	1161
	7	1548	1251	0
	8	1368	1179	0
У (решетка)	1	13698	17874	20088
	2	14805	20115	20826
	3	16029	22248	24201
	4	16668	23013	24579
	5	16515	22185	24003
	6	15489	22050	23256
	7	14751	19629	22788
	8	14103	18315	21042
Д	1	4311	3474	0
	2	4068	3411	0
	3	4635	3735	0
	4	4275	3069	0
	5	3465	1935	0
	6	2169	1224	0
	7	1359	1008	0
	8	1251	1008	0

Продолжение приложения В

Е	1	5499	3744	900
	2	4725	3915	900
	3	4086	4032	900
	4	3762	3168	990
	5	2952	2115	990
	6	2277	1638	0
	7	1782	1296	0
	8	1278	1107	0
Ф	1	5238	4248	1305
	2	5157	4365	1800
	3	4509	2925	1917
	4	4005	2835	1665
	5	3222	2232	1089
	6	1962	1872	1071
	7	1035	990	0
	8	990	900	0
Среднее значение расхода воздуха, м ³ /ч		5042.571	5161.018	3755.732

Приложение Г

Таблица Е1- Технико-экономические показатели современных передвижных зерновых сушилок

Серия и модель	Тип сушилки	Производительность, пл. т/ч	Установленная мощность, кВт	Удельная металлоемкость, (т·ч) / пл. т	Удельная стоимость сушилки, (млн. руб·ч.) / пл. т	Удельный расход топлива, л (при снижении на 1 %)	*Удельный расход теплоты, расчетный, (МДж·ч) / кг. исп. вл.	*Комплексный показатель совершенства конструкции сушилки, (МДж·т·ч) / (пл. т·кг. исп. вл.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
«Мери», Финляндия								
М 180к	Шахтный	3,44	17,5	1,45	0,935 [27]	1,19	3,75	5,44
М 205к	-"-	3,86	19	1,55	1,045 [28]	1,19	3,75	5,81
М 240к	-"-	4,5	21	1,56	-	1,19	3,75	5,85
М 300к	-"-	5,8	28	1,12	-	1,19	3,75	4,2
Одесский завод продовольственного машиностроения, Украина								
К4-УС2-А	-"-	10	37	1,02	-	-	4,48	4,57
«Riela», Германия								
Серия GDT	-"-	5,18-17,76	18-37	-	0,81 [29]	1,05[17]	3,31	-
Серия GTR	Бункерный	2,29-5,55	22	-	0,73 [30]	1,2-1,5[16]	3,78-4,72	-
Agrex», Италия								
Серия PRT	-"-	1,95-10,25	22,5-50	1,02-0,65	2,61-0,49[31]	1,05[25]	3,47	3,54-2,26
«Fratelli Pedrotti», Италия								

Продолжение приложения Г

Серия Basic	-"	2,07-4,79	22,5-30	1,49-0,65	1,24- 0,73 [32],[33]	1[24]	3,15	4,69-2,05
Серия Super	-"	2,67-5,36	23-30	1,40-0,76	1,21-0,78 [38],[39]	1[24]	3,15	4,41-2,39
Серия Large	-"	5,78-8,65	35-45	0,58-0,29	1-0,68 [34],[35]	1[24]	3,15	1,83-0,91
Серия XL	-"	9,24-14,3	75-90	0,82-0,55	0,68-0,67 [36],[37]		-	-
«Месмар», Италия								
Серия СРТ	-"	5,54-7,08	22	0,69-0,54	0,64-0,81[40]	1[13]	3,15	2,17-1,70
Серия STR	-"	7,39-10,47	30	0,81-0,57	0,49-0,35[40]	1[13]	3,15	2,55-1,80
Серия FSN	-"	4,93-12,32	30	1,17-0,47	0,77-0,36[40]	1,1[13]	3,47	4,06-1,63
Серия D	-"	11,7-17,25	30-45	-	0,51-0,22[41]	-	-	-
Серия SSI	-"	14,78-20,64	45-55	-	0,31[41]	-	-	-
Серия S	-"	24,64-38,2	75-100	-	0,27[41]	-	-	-
ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш», Республика Беларусь								
СЗП-32	-"	12	60	0,36	-	1,36 [18]	4,29	1,54
ОЭЗ «Триумф»								
СМС-8	-"	8	27,5	0,94	0,311 [47]	1,17 [23]	3,69	3,47
«GT Mfg.», США								
RB 300	-"	5,16	14,9	0,34	-	-	-	-
RB 500	-"	7,31	18,6	0,32	-	-	-	-
RB 600	-"	8,73	22,3	0,29	-	-	-	-
RB 800	-"	10,75	30	0,26	-	-	-	-

Продолжение приложения Г

Компания «АгроТехМаш»								
Серия АТМ	-"	1,72-10,73	37,6-114,6	-	1,4-0,68 [43],[44]	1-1,5[14]	3,15-4,73	-
Группа компаний «АгроТех»								
Гулливёр- 12	-"	7,83	22	0,51	0,345 [45]	1,92 [22]	6,05	3,09
ЗАО «СКБ по сушилкам «Брянксельмаш»								
СПК-2,5	Колонковый	2,5	-	1,32	1,063 [46]	0,8 [19]	2,52	3,33
«TURBODAN», Дания								
TD 15	Напольный	13,05	-	0,68	0,4 [42]	1,1 [20]	3,47	2,36
TD 18	-"	15,66	-	0,61	0,42 [42]	1,1 [20]	3,47	2,12
TD 25	-"	21,75	-	0,68	0,385 [42]	1,1 [20]	3,47	2,36

Таблица Ж1 Результаты определения аэродинамических характеристик в воздуховодах зерносушилки в зависимости от положения заслонки клапана смесителя

Расходы воздушных потоков в зависимости от положения заслонки клапана смесителя, м ³ /ч				
Точки замеров	I	II	III	Без системы рециркуляции
10	10270,8	11556,1	12096,2	13964,4
11	13255,2	12952,8	13960,8	-
12	12171,6	11037,6	11793,6	-
13	27233,3	21081,6	34819,2	-
14	5724,2	7452,4	6771,6	-
15	0	3611,5	8294,4	-
16	0	9521,3	18593,3	-

Продолжение приложения Д

Таблица Ж2 – Значения расхода воздуха, прошедшего через материал

Расходы воздуха, м ³ /ч Точки замеров	Зонт открыт	Зонт закрыт		
	Положение заслонки клапана смесителя			
	III*	I (клапан закрыт)	II (50 % рециркуляция)	III (полная смена теплоносителя)
1	6588	10260	8424	7560
2	6696	7776	6696	7992
3	5292	6048	5940	6372
4	5940	6048	5940	6372
5	7452	7236	7020	8100
6	5940	6588	6696	6048
7	4536	4968	5184	5400
8	6048	5400	5508	5076
9	8532	6480	8640	9396
10	7884	6912	7668	8208
11	6480	6912	7020	7020
12	6264	6048	6480	6372
Среднее значение расхода воздуха, м ³ /ч	6471	6723	6768	6993
Скорость фильтрации м/с	0.11	0.12	0.13	0.13

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Департамент научно-технологической политики и образования
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 «КОСТРОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

П Р И К А З

28 апреля 2021 г.

№ ____

Кострома

Научно-исследовательская часть

по хозяйственной тематике

На основании итогов конкурса внутривузовских грантов НИР на 2021 год

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Для выполнения работ по теме: «Разработка мобильного высокоэффективного устройства для сушки семян трав, зерновых и масличных культур на основе тканых материалов» создать с 28.04.2021 г. временный трудовой коллектив в составе:

- 1.1. Волхонов Михаил Станиславович – руководитель ВТК;
- 1.2. Смирнов Иван Альбертович – исполнитель, соруководитель ВТК;
- 1.3. Джаббаров Игорь Александрович – исполнитель;
- 1.4. Коваленко Родион Михайлович – исполнитель;
- 1.5. Чуперка Михаил Геннадьевич – исполнитель;
- 1.6. Сорока илья Юрьевич - исполнитель

с оплатой работ по договору.

Основание: протокол собрания ВТК и личные заявления-обязательства членов ВТК

Врио проректора по НИР

Г.Б. Демьянова-Рой

Проект подготовила

И.И. Пиличева

СОГЛАСОВАНО:

Начальник НИЧ

С.В. Курилов

Бухгалтер НИЧ

К.А. Кудрявцева



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 777 996**⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
F26B 17/10 (2006.01)
F26B 21/04 (2006.01)

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК
F26B 17/10 (2022.02); *F26B 21/04* (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021117268, 11.06.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.06.2021

Дата регистрации:
12.08.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 11.06.2021

(45) Опубликовано: 12.08.2022 Бюл. № 23

Адрес для переписки:
156530, Костромская обл., Костромской р-н, п.
Каравасово, Учебный городок, 34, федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Костромская государственная
сельскохозяйственная академия"

(72) Автор(ы):
Волховов Михаил Станиславович (RU),
Смирнов Иван Альбертович (RU),
Коваленко Родион Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Костромская государственная
сельскохозяйственная академия" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2671464 C1, 31.10.2018. RU 40221
U1, 10.09.2004. RU 2259527 C2, 27.08.2005. WO
2011087419 A1, 21.07.2011.

(54) АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Формула изобретения

Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов, содержащее аэрожелоб, разделенный грузонесущей перфорированной перегородкой на воздухоподводящую и транспортирующую части, представляющий собой каркас, обтянутый тканью, внешние стенки аэрожелоба и центральный воздухораспределительный канал изготовлены из воздухонепроницаемой и водоотталкивающей ткани, а внутренние боковые стенки из ткани для сит, отличающееся тем, что установлена система рециркуляции отработавшего агента сушки, состоящая из сдвижного зонга с загрузочным отверстием, пылеулавливающего устройства, клапана смесителя, а также вентилятора аспиратора, обеспечивающего режим аспирации.

RU 2 777 996 C 1

RU 2 777 996 C 1



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Костромская государственная сельскохозяйственная академия»

**72-я Международная научно-практическая конференция
ФГБОУ ВО Костромской ГСХА
«Научные приоритеты агропромышленного
комплекса в России и за рубежом»**

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

награждается

Коваленко Родион Михайлович

аспирант 2-го года обучения, направления подготовки 35.06.04
Технологии, средства механизации и энергетическое

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Костромская государственная
сельскохозяйственная академия"

за работу на тему:

"Разработка и обоснование режимов работы передвижной
аэрожелобной сушилки"

на секции:

"Состояние и перспективы инженерно-технического и
технологического обеспечения АПК в области энергетики и
механизации"

Врио проректора по НИР
ФГБОУ ВО Костромской ГСХА



Г.Б. Демьянова-Рой

Кострома, 22 апреля 2021 года

Стенограмма

работы секции «Состояние и перспективы инженерно-технологического и технического обеспечения АПК в области энергетики и механизации»

1. Результаты исследования U образных конструкций трансформаторов тока Роговского.
Думиника Кристина Петровна

Петрюк И.П. Поясните зависимости, приведенные на слайде 7.

Зинцов А.Н. Эксперимент является трехфакторным?

Солдатов В.А. Почему в наши дни топографические приборы ОМП стали получать большее распространение?

2. Определение эффективности двигателя, работающего по циклу Аткинсона
Куклин Владимир Николаевич

Зинцов А.Н. Как давно был изобретен этот цикл и почему до сих пор не строят двигатели на его основе?

Какой будет надежность двигателя?

3. Исследование эффективности работы установки обезжелезивания воды новой конструкции на основе озono-воздушной смеси

Смирнов Владислав Александрович

Клочков Н.А. Какие характеристики караваевской воды? Может ли ваша установка повысить ее качество?

Зинцов А.Н. Проводили ли экономический расчет?

Солдатов В.А. При экспериментах меняли ли давление воды?

4. Определение места повреждения в сетях 10 кВ при использовании фазных координат и координат трех симметричных составляющих в конце линии

Солдатов Валерий Александрович

Трофимов М.А. Исследования проводились на стендах или с помощью моделирования на ЭВМ?

5. Технологические основы производства модифицированного льноволокна и сравнение оценки свойств, получаемого из него нетканого материала для биокomпозитов

Разин Сергей Николаевич

Клочков Н.А. Поясните термин «модифицированное волокно»

Качество льна из разных областей влияет на результаты исследования?

Петрюк И.П. Какие области применения биокomпозитов, полученных из ваших материалов?

6. К совершенствованию поточно-технологической линии стрижки и зооветеринарной обработки овец

Фириченков Вилорий Ефимович

Зинцов А.Н. Как проводимые манипуляции на поточной линии влияют на психическое здоровье овец?

Клочков Н.А. В какой период года проводится стрижка?

7. Моделирование процесса разрыва лубяных волокон на машине РМП-1
Пашин Евгений Львович

- Клочков Н.А.* Какое практическое значение исследования?
Зинцов А.Н. Поясните почему такая форма у графика разрыва волокон?
Васильков А.А. На сколько изменится точность установки после модернизации?

8. Обоснование и разработка нового процесса комлеподбивания стеблей льна-долгунца в лентах при их оборачивании
Зинцов Александр Николаевич

- Клочков Н.А.* Как обеспечивается осевой удар, если транспортер находится под углом?
Лобачев А.А. Насколько увеличится качество подбоя после модернизации машины?
Васильков А.А. Как изменялись исследуемые параметры машины в полевых условиях?

9. Совершенствование предпосевной обработки семян
Беляков Максим Михайлович

- Зинцов А.Н.* Почему вы выбрали ультразвуковую обработку семян?
С чем вы сравнивали эффективность обработки ваших семян?
Фириченко В.Е. Как влияет длительность обработки на всхожесть?

10. Разработка пневмотранспортера-ворошителя солода
Сорока Илья Юрьевич

- Фириченко В.Е.* Вы упоминали об уменьшении травмирования солода, это доказано?
Лобачев А.А. Как осуществляется забор зерна?

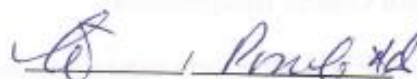
11. Совершенствование конструкции передвижной аэрожелобной сушилки
Коваленко Радион Михайлович

- Пашин Е.Л.* В чем заключается новизна схемы установки?
Зинцов А.Н. Как вы будете управлять влажностью воздуха при исследовании?

Секретарь



Руководитель секции





Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Костромская государственная сельскохозяйственная академия»

**74-ая Всероссийская (национальная)
научно-практическая конференция
СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
И ДОСТИЖЕНИЯ В ЭПОХУ
ТРАНСФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

СЕРТИФИКАТ
НАГРАЖДАЕТСЯ

**Волхонов Михаил Станиславович,
Коваленко Родион Михайлович**
за успешное участие в конференции
и презентацию доклада по секции
«Технологии, машины и оборудование»
на тему
«Разработка и обоснование режимов работы
передвижной зерновой сушилки»

Председатель организационного комитета,
ректор ФГБОУ ВО Костромской ГСХА,
доктор технических наук, профессор



М.С. Волхонов
М.С. Волхонов

ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА

СЕРТИФИКАТ

Участника

Всероссийской научно-практической
конференции

“Современное состояние: проблемы
и перспективы развития
агропромышленного комплекса”

Выдан

Коваленко Родиону Михайловичу

Тема доклада: “Разработка и обоснование режимов работы
передвижной аэрожелобной сушилки”

29.04.2022



(дата)




Врио ректора



Е.Е. Малиновская

№ 00001











Мои проекты

 Система АС «Фонд-М» будет недоступна сегодня, 20 июня, в период с 20:00 до 21:00...

Для заключения договора и сдачи отчетности потребуется ЭП (для подачи заявок ЭП не требуется)...

Нажмите для получения консультации →   **rodion95**

[Создать новую заявку](#)
[Актуальные конкурсы](#)

<p>Заявка → У-95123 от 16.10.2023</p> <p>1 Коваленко Р. М.</p>	<p> УМНИК 2023</p> <p>Разработка системы рециркуляции отработавшего агента сушки для универсальной аэрожелобной сушилки, изготовленной по каркасно-тканевой технологии</p>	<p> 24 мес.</p> <p> 500 000 руб.</p>	<p>Отклонена 16.10.2023 </p>
<p>Заявка → У-77781 от 30.09.2021</p> <p>2 Коваленко Р. М.</p>	<p> УМНИК 2021</p> <p>Мобильное аэродинамическое устройства для сушки сыпучих материалов</p>	<p> 24 мес.</p> <p> 500 000 руб.</p>	<p>Отклонена 14.03.2022 </p>