DOI: 10.58168/IAARMT2026_22-36
УДК 658.827

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА В ТУННЕЛЬНОЙ СУШИЛКЕ
CONTROL SYSTEM FOR DRYING CERAMIC BRICKS IN A TUNNEL DRYER

Акиньшин Е.В., студент
Поляков С. И., к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия
poliakov1960@mail.ru
Akinshin E.V., Student
Polyakov S.I., PhD (Engineering), Associate professor
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: В статье рассматривается автоматизация сушки кирпича с использованием современных систем управления. Обсуждаются преимущества применения основных положений теории автоматического управления и алгоритмического обеспечения для управления процессами сушки. Алгоритм управления разрабатывался специально для управления электроприводами задвижки туннельной сушилки с учетом влажности и температуры теплоносителя. Алгоритм может переключать технологическое оборудование по обслуживанию исполнительными органами туннельной сушилки при регулировании влажности, температуры теплоносителя, его циркуляции и удалении излишней влаги. ЭВМ обеспечивает любой закон регулирования и является самой новой и наиболее быстродействующей системой автоматизации.

Abstract. The article discusses the automation of brick drying using modern control systems. It discusses the advantages of using the basic principles of automatic control theory and algorithmic support for controlling drying processes. The control algorithm was developed specifically for controlling the electric drives of the tunnel dryer's gate, taking into account the humidity and temperature of the heat carrier. The

© Акиньшин Е. В., Поляков С. И., 2026

algorithm can switch the technological equipment for servicing the tunnel dryer's actuators while regulating the humidity, temperature, circulation, and removal of excess moisture. The computer provides any control law and is the latest and fastest automation system.

Ключевые слова: автоматизация, керамический кирпич, туннельная сушилка, структурная схема, модель, matlab, simulink, динамика, алгоритм управления, программа, влага, термометр, теплоноситель

Keywords: automation, ceramic brick, tunnel dryer, block diagram, model, matlab, simulink, dynamics, control algorithm, program, moisture, thermometer, heat carrier

Производство керамического кирпича осуществляется двумя способами: формованием из пластичной массы и полусухим прессованием порошкообразной массы. Иногда применяют так называемый комбинированный способ, заключающийся в сухой подготовке массы и в пластичном формовании изделий.

Наибольшее распространение получил способ полусухого прессования. От качественно проведенной сушки зависит конечный результат проведения всего технологического процесса. Поэтому крайне важно исследовать особенности работы технологического сушильного оборудования, степень его механизации и автоматизации.

Для этой цели необходимо выбрать современное автоматизированное оборудование, способное осуществлять точное выполнение технологического регламента производства керамического кирпича, процесса сушки и обеспечить выпуск качественной готовой продукции.

Статья посвящена исследованию и разработке системы автоматического управления сушкой керамического кирпича с применением современных технических средств автоматизации, математического моделирования контуров автоматического регулирования температуры и влажности теплоносителя.

Традиционными типами сушилок непрерывного действия являются туннельные сушилки, оптимизированные и доведенные до совершенства. В сушилках непрерывного действия осуществляется регулярное толкание вагонеток с продукцией. Требуются постоянная подача вагонеток с сырой продукцией и выход вагонеток с сухими изделиями. Нерегулярность работы оборудования формовки и садки компенсируются буферными зонами на входе и выходе сушилки и (или) увеличенным временем сушки (предусматривается соответствующий резерв производительности сушилки).

Сушка кирпича в сушилке состоит из трех этапов. Первый этап характеризуется передачей тепла нагретых газов теплоносителя кирпичу-сырцу при прохождении его по длине сушилки. На этом этапе важно поддерживать изменение температуры теплоносителя от входа сырца в туннель к выходу готового продукта из сушилки в строгом соответствии с технологическим регламентом сушки. Второй этап связан с процессом перехода влаги изнутри кирпича-сырца к поверхности. И, наконец, третий этап заключается в перемещении влаги с поверхности кирпича в сам теплоноситель. Для удаления остаточной поверхностной влаги на сырце необходимы значительные тепловые затраты.

В более совершенных сушилках полунепрерывного действия нерегулярность работы оборудования формовки и садки компенсируется с помощью программного изменения параметров сушки по длине туннеля в период, когда отсутствует толкание вагонеток.

В зависимости от потребности производства и конфигурации загрузки изделий внутренняя вентиляция сушилок производится с помощью подвижных или неподвижных конических диффузоров, центральных или боковых.

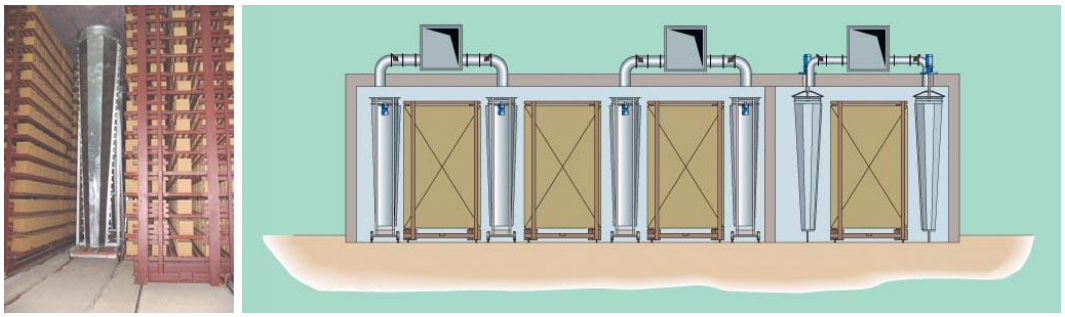


Рисунок 1 – Конструкция сушилок

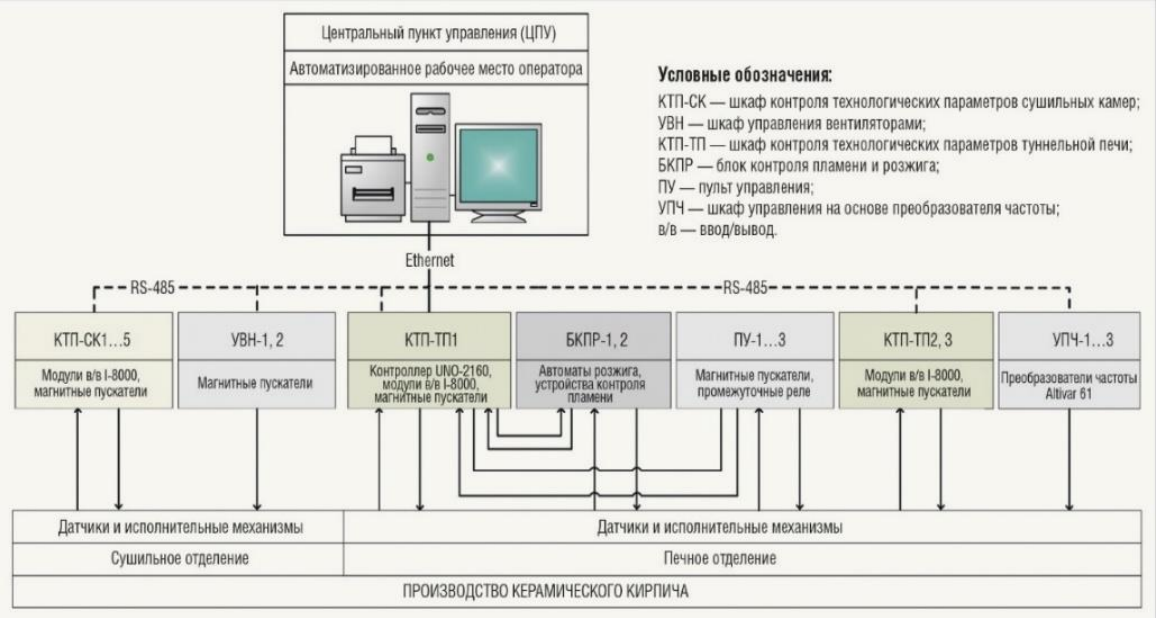
Полускоростная сушилка, запатентованная фирмой PICCININIIMPIANTI, с системой активной поперечной рециркуляции внутри имеет низкое потребление энергии и высокую производительность. Сушилка характеризуется сообщающимися туннелями с чередующимся распределением потока воздуха.

Вентиляцию внутри сушилки обеспечивают: а) подвижные конические диффузоры с внутренним приводом; б) неподвижные распределительные кессоны с наружными двигателями; в) подвижные кессоны с наружными неподвижными двигателями.

В случае, когда применяются распределительные диффузорные кессоны с возвратно-поступательным движением короткого хода, сушилка имеет определенное число зон поперечной продувки, попеременно вентилируемых с обеих

сторон. Вентиляторы, размещенные в верхнем сечении распределительных кессонов, установлены неподвижно и напрямую соединены с соответствующими приводными двигателями, расположенными на наружной поверхности свода. Такая компоновка упрощает обслуживание, так как позволяет делать осмотр всей группы и демонтаж оборудования с наружной стороны сушилки.

Структурная схема современного программно-технического комплекса АСУ ТП приведена на рисунке 2.



Применительно к имеющемуся технологическому оборудованию была разработана структурная схема программно-технологического комплекса для автоматизированного управления сушильным отделением. Предложенная структура реализует прямое цифровое управление сушильным оборудованием. В состав АСУ ТП сушки вошли:

– центральный пульт оператора (ЦПУ),

– автоматизированное рабочее место оператора;

– шкаф контроля технологических параметров сушильных камер;

– шкаф управления вентиляторами;

– модули ввода/вывода технологической информации;

– датчики основных измерительных параметров – давления, температуры, влажности, веса кирпича-сырца, скорости перемещения теплоносителя по длине туннельной сушилки;

– исполнительные механизмы приводов вентиляторов;

– шкаф управления на основе преобразователя частоты.

Автоматизированное рабочее место оператора размещено в помещении центрального диспетчерского пункта и организовано на базе ПЭВМ. Такой подход позволяет оператору отслеживать ход выполнения технологического процесса сушки по видеомониторам и обобщенной мнемосхеме: начало, окончание процесса, продолжительность сушки, графики изменения основных технологических параметров.

АРМ оператора выполнено на базе ПЭВМ, работающей под управлением операционной системы WindowsXPSP2. Система визуализации технологического процесса реализована средствами SCADA-пакета ViSA 7.5, поддерживающего клиент-серверную архитектуру с использованием промышленного стандарта OPC.

В процессе управления работой сушильного отделения оператор имеет возможность управлять работой сушилок, при необходимости корректировать ход выполнения технологического процесса, обрабатывать аварийные сигналы, поступающие с технологического оборудования (рисунок 3).



Рисунок 3 – Обзорная мнемосхема «Сушильные камеры»

Для управления отдельными сушильными камерами предусмотрены детальные фрагменты (рисунок 4), на которых представлены сведения о времени начала и завершения сушки, продолжительности сушки, текущем состоянии (пуск, пауза, стоп) программы управления сушкой, а также тренд изменения

температуры в сушильной камере и эталонная кривая, построенная по данным режимной карты.

Программное обеспечение реализовано на языке технологического программирования ТехгоСи, отличительной особенностью которого являлось наличие комплекта инструментальных средств для нужд технологического проектирования, в частности, систем управления сушкой.



Рисунок 4 – Детальный фрагмент «Сушильная камера № 1»

Проектирование ПТК было выполнено фирмой «Инкотех» были укомплектованы, изготовлены и сконфигурированы восемь шкафов управления КТП-ТП и КТП-СК, а также АРМ оператора.

Одним из знаковых участков, определяющих качество готового продукта, в технологической цепи производства кирпича является его сушка. Отклонения от технологического регламента, допущенные при производстве, в том числе и при сушке, неизбежно приведут к браку: растрескиванию, короблению, изменению геометрических параметров и внешнего вида. Кроме этого, может измениться и прочность кирпича. Осуществить управление таким сложным процессом в ручном режиме крайне затруднительно. Процесс сушки протекает при больших затратах тепловой энергии. Единственным путем рационального расхода энергии и соблюдения требований технологического процесса при производстве кирпича остается автоматизированное управление.

Оснащение технологического процесса сушки современными средствами автоматизации, способными адекватно оценивать ход технологического процесса и вырабатывать верные управляющие воздействия на исполнительные устройства приведут к снижению перерасхода тепловой энергии и повышению качества готовой продукции.

Первым этапом на пути реализации автоматизированного управления сушкой является моделирование процесса имеющимися у разработчика средствами и технологиями. Крайне важно с позиций автоматизации изучить объект проектирования – туннельную сушилку с точки зрения ее динамических свойств. Для этой цели может быть использована методика теории автоматического управления, которая использует контур автоматического регулирования для управления основным технологическим параметром сушки, например, температурой. Контур моделируется из основных элементов, отвечающих за протекание процесса сушки – калорифера, центробежных вентиляторов, электроприводов, системы рециркуляции. Тепловые процессы здесь являются определяющими.[1]- [3]

Структурное моделирование MATLABSimulink позволяет разработчику варьировать параметрами настройки системы автоматического управления – коэффициентами передачи, временем изодрома и временем предварения соответствующих типовых звеньев контура автоматического регулирования для достижения оптимального управления объектом – туннельной сушилкой.

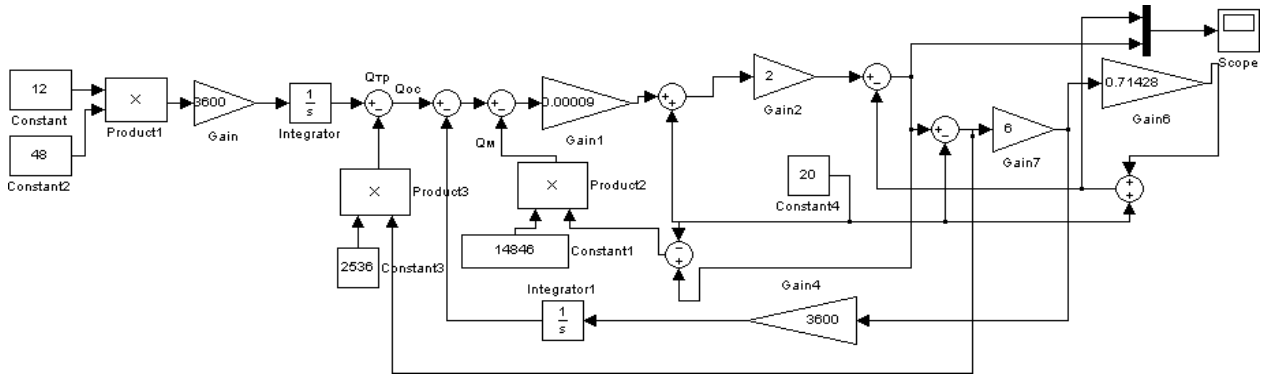


Рисунок 5 – Структурная схема модели сушки керамического кирпича в туннельной сушилке, реализованная в среде Simulink

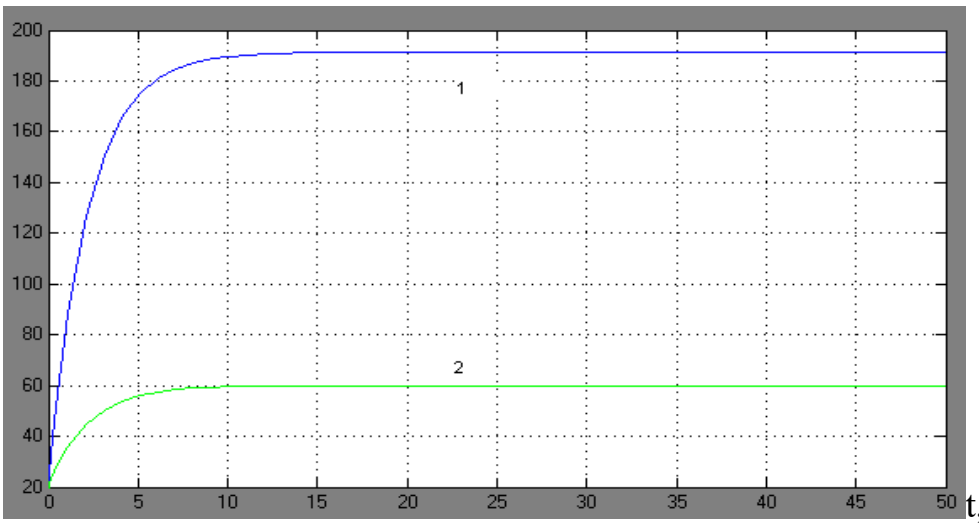


Рисунок 6 – Динамические характеристики разработанной модели

1 – график изменения температуры внутри сушилки;

2 – график изменения температуры на поверхности сушилки

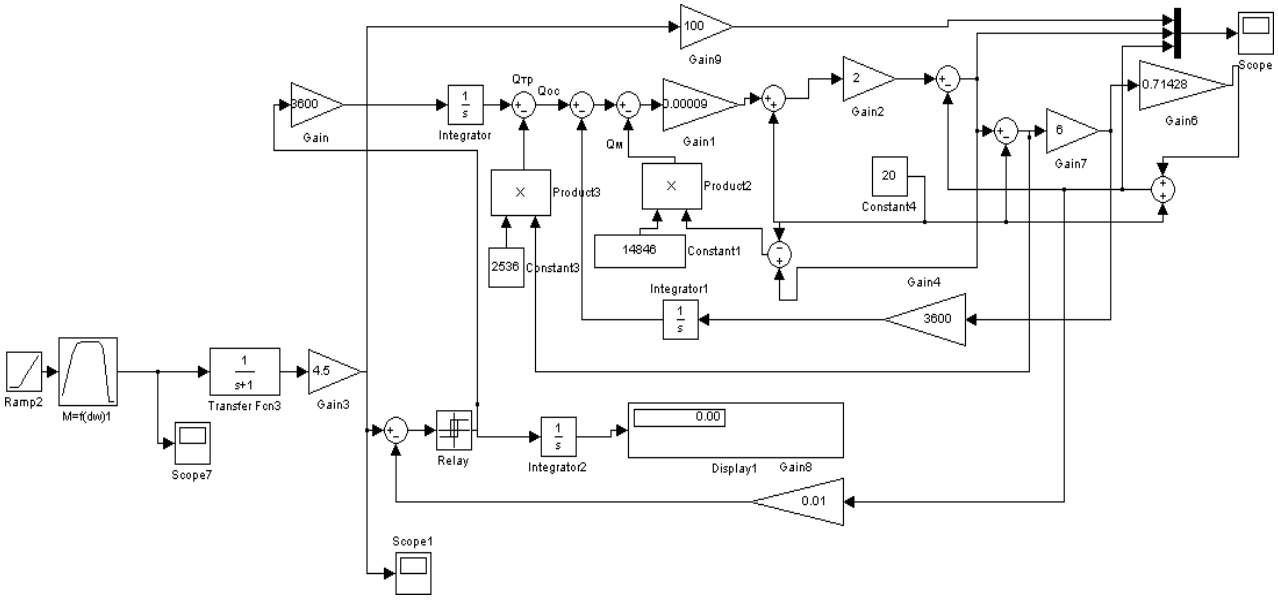


Рисунок 7 – Структурная схема модели сушки керамического кирпича в тунельной сушилке с регулятором, реализованная в среде Simulink

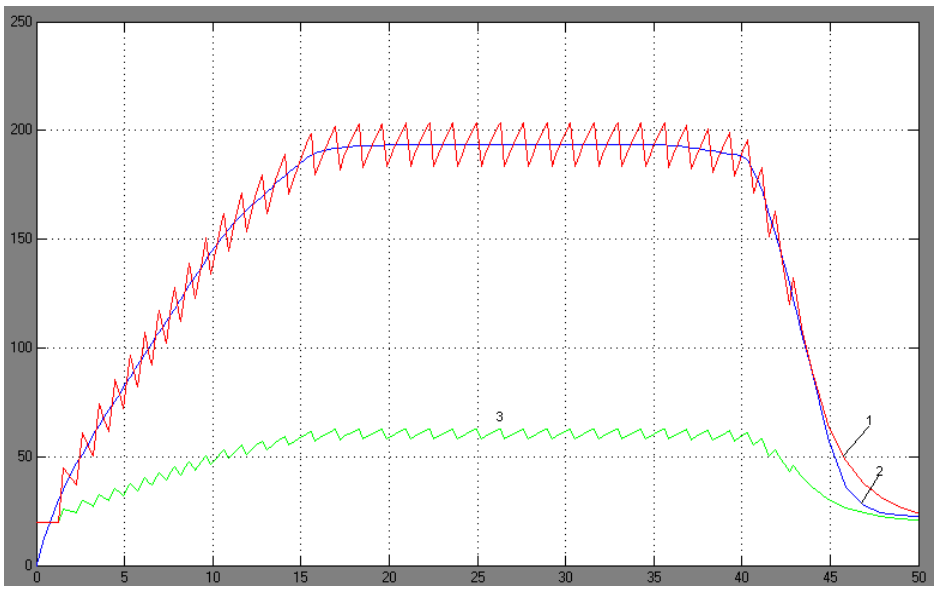


Рисунок 8 – Динамика изменения температуры во времени:
1 – график зависимости температуры в сушилках от времени;
2 – график сигнала управления;
3 – график зависимости температуры на поверхности сушил от времени

Из характеристики видно, что весь процесс сушки делится на три основных периода. Первый из них-период прогревания, температура постепенно увеличивается до 190 °*C*. Второй-период постоянной скорости высушивания. В течение этого периода температура остается постоянной 190 °*C*. Третий период называют периодом падающей скорости высушивания сырца. Во время этого периода температура спадает до 30 °*C*. После удаления из сырца влаги наступает период равновесного состояния.

В ходе работы была разработана и реализована в программе MATLAB 6.0 блок-схема математической модели туннельного сушила. Эту блок-схему целесообразно использовать для минимизации энергоемкости процесса сушки керамического кирпича. Также был реализован регулятор, с помощью которого осуществлено регулирование температуры внутри и на поверхности туннельного сушила. Это позволило улучшить качество процесса сушки керамического кирпича.

Описание структурной схемы управления:

Блок 1 – включение оборудования. Блок 2, 3, 4 – проверка исправности системы управления сушилкой. Блок 5 – загрузка туннельной сушилки. Блок 6, 7, 8 – подготовка сушилки. Блок 9, 10, 11 – запрос данных о влажности керамического кирпича. Блок 12 – ввод данных. Блок 13 – составление программы сушки. Блок 14 – включение таймера. Блок 15, 16, 17, 18 – выполнение подпро-

грамм. Блок 19 – контрольный запрос данных о влажности керамического кирпича. Блок 20 – анализ данных влажности кирпича. Блок 21 – завершение процесса сушки. Блок 22 – отключение оборудования туннельной сушилки. Блок 23 – выгрузка штабеля. Блок 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 - задание влажности теплоносителя. Блок 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 – регулирование температуры теплоносителя. Блок 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 – работа вентиляции. Блок 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64 – работа вытяжной системы. Задание влажности теплоносителя, задание температуры теплоносителя, работа вентиляции и работа вытяжной системы – эти процессы происходят одновременно и микроконтроллер выполняет данные функции. Алгоритм управления процессом показан на рисунке 9 – 13. [4]

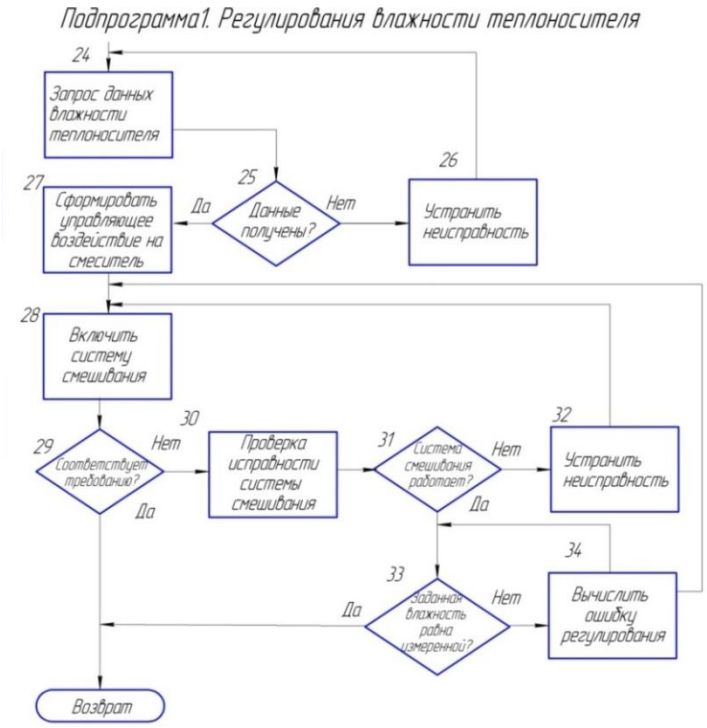


Рисунок 9 – Алгоритм управления процессом сушки. Подпрограмма 1. Регулирование влажности теплоносителя

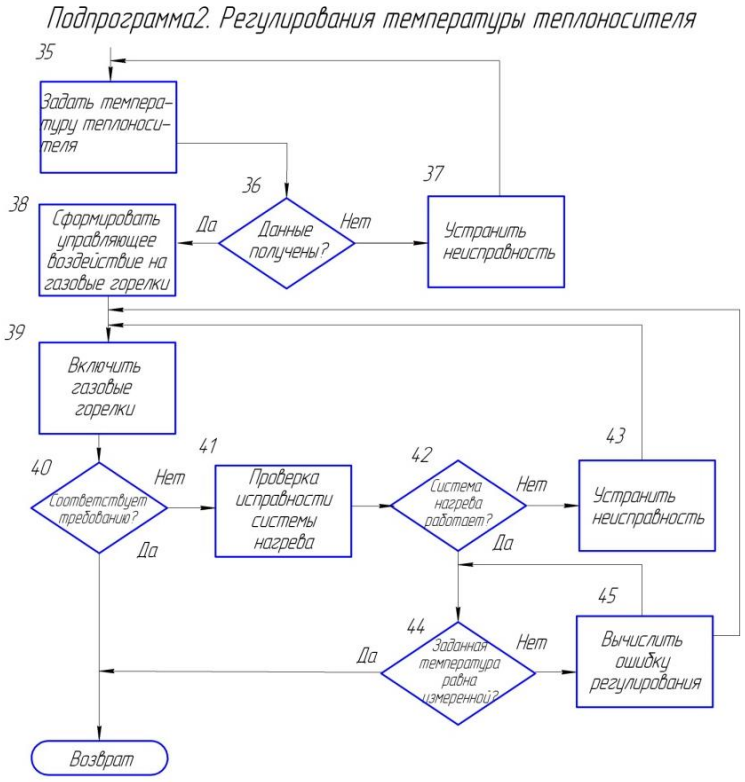


Рисунок 10 – Алгоритм управления процессом. Подпрограмма 2. Регулирование температуры теплоносителя

Для измерения температуры сушильного агента в камере предлагается использовать хорошо зарекомендовавшие себя датчики температуры – термометры сопротивления платиновые, отличающиеся высокими метрологическими характеристиками.

Назначение термометров сопротивления: термометр предназначен для измерения температуры контактным способом со средой измерения, не оказывающей негативного механического и агрессивного воздействия на гильзу датчика. Сушильный агент отвечает этим требованиям.

Термометр сопротивления представляет собой чувствительный элемент, выполненный в виде намотанной на диэлектрический каркас проволоки из платины, помещенную в опалубку. Имеет монтажную коробку и присоединяется ко вторичному прибору по двух- или трехпроводной схеме. Гильза вносит заметную инерционность.

Для обеспечения качественного процесса сушки керамического кирпича на основе технологического процесса разработана функциональная схема системы автоматизации технологического процесса. Основными параметрами сушки являются температура теплоносителя, его влажность, скорость движения теплоносителя в рабочей зоне.

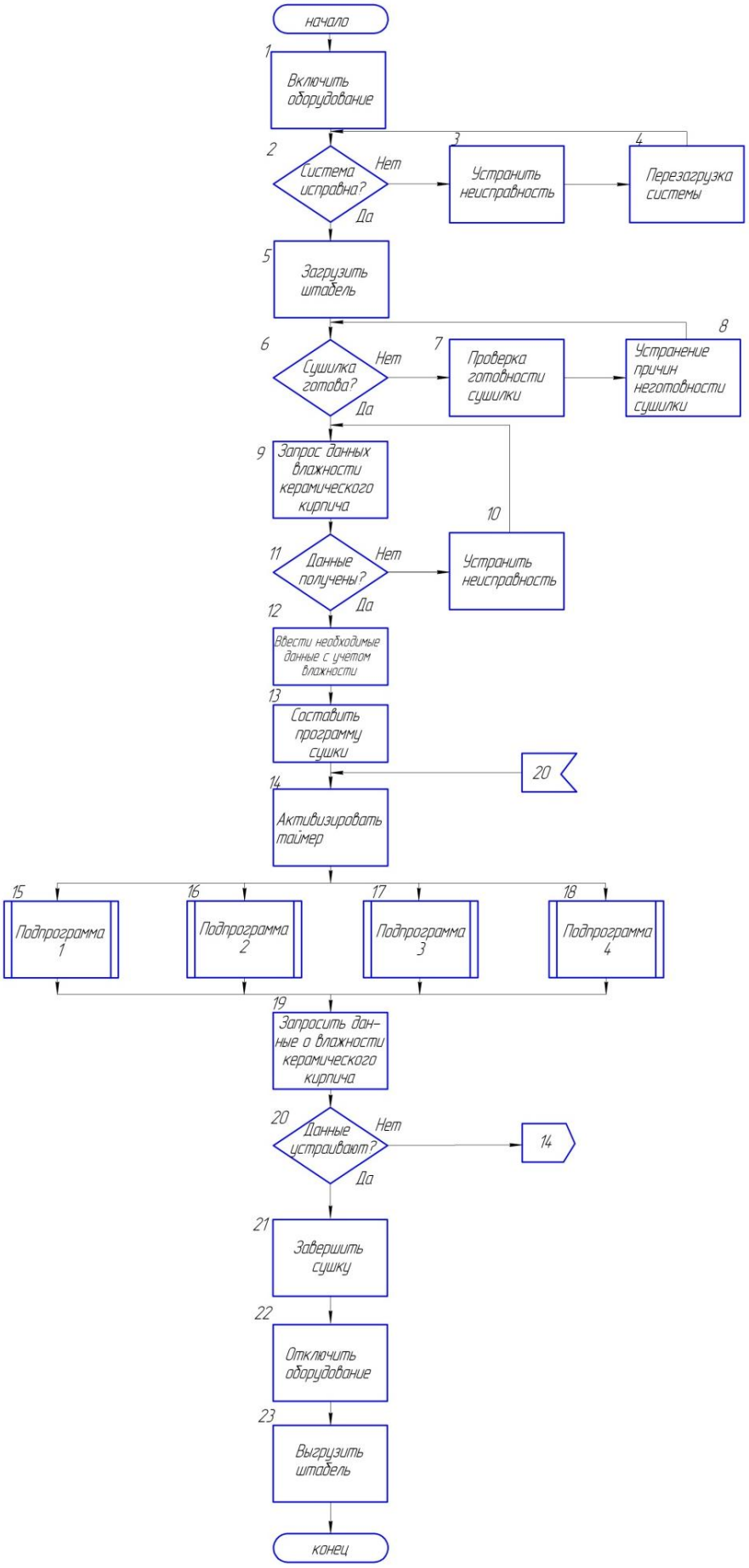


Рисунок 11 – Алгоритм управления процессом сушки кирпича

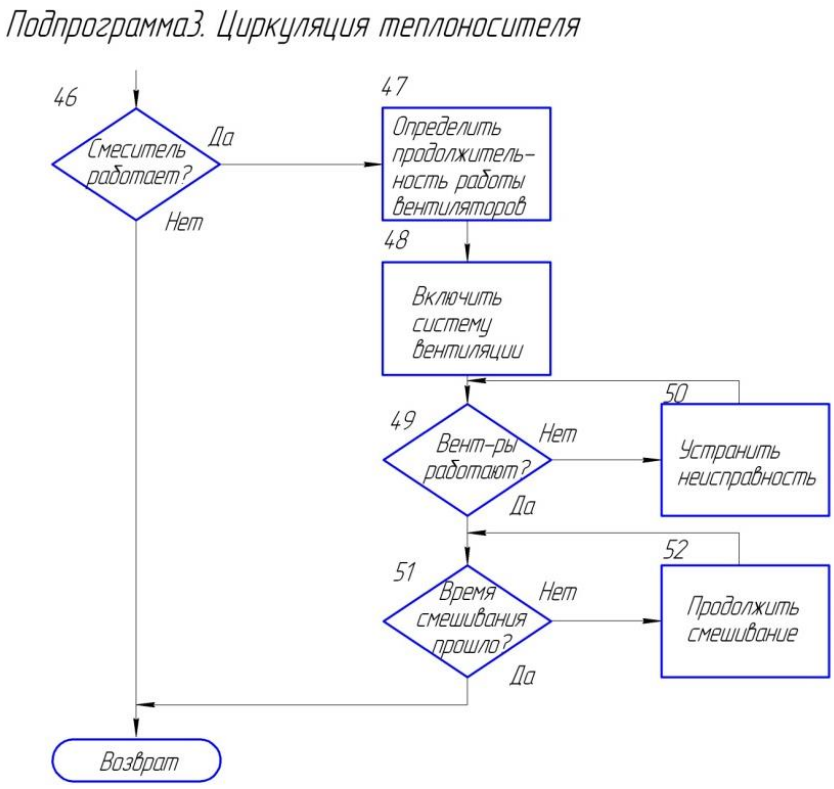


Рисунок 12 – Алгоритм управления процессом. Подпрограмма 3. Циркуляция теплоносителя

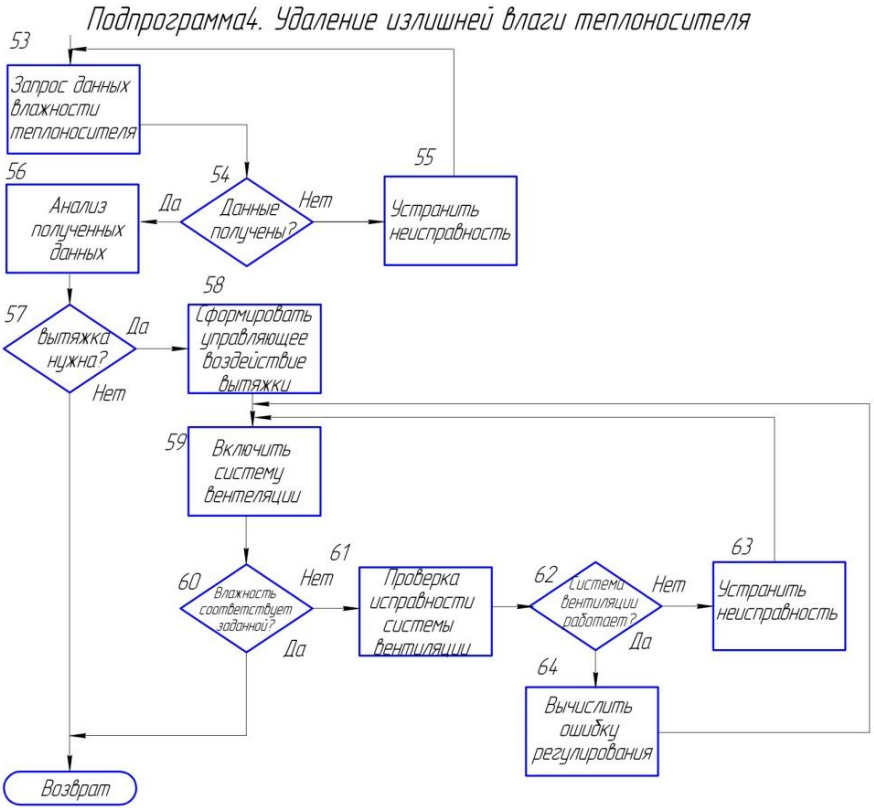


Рисунок 13 – Алгоритм управления процессом. Подпрограмма 4. Удаление излишней влаги теплоносителя

Также системой предусмотрен контроль и регулирование основных параметров сушки по всей длине туннельной сушилки.

Измерение температуры в трубе, выполняющей роль смесителя, выполняется с помощью термосопротивления ТСП Метран 205. Сигнал с термосопротивления через преобразователь ИРТВ-5215 поступает на аналоговый вход ЭВМ. В роли ЭВМ выступает промышленная рабочая станция AWS-842TP. Далее сигнал с дискретного выхода ЭВМ поступает на блок ручного управления БРУ-42, в котором предусмотрен переключатель ручное-автоматическое управление. С блока ручного управления через пускатель ПБР-3А сигнал поступает на исполнительный механизм, который в свою очередь воздействует на заслонку поступления атмосферного воздуха.

Аналогично выполняется регулирование температуры на входе теплоносителя в каждый туннель, за исключением того, что измерение температуры производится термосопротивлением ТСМ Метран 203. Регулирование температуры производится воздействием на заслонку поступления горячего теплоносителя. Регулирование температуры на выходе теплоносителя в каждом туннеле осуществляется за счет изменения количества теплоносителя в каждом туннеле. При этом измерение температуры производится термосопротивлением ТСМТУ, выходной сигнал которого поступает на аналоговый вход ЭВМ. Управляющий сигнал через ПБР-2 поступает на исполнительный механизм привода заслонки, регулирующий поступление горячего теплоносителя. Положение заслонок выводится на интегрированную систему управления в виде scada-системы промышленного компьютера, размещенные на щите. Распределение температуры в различных точках туннеля и на входе также выведены на щит. Наличие дистанционных указателей положения необходимо для реализации ручного управления при выходе ЭВМ из строя. Запуск и остановка двигателей вентиляторов может происходить как автоматически, сигнал с ЭВМ поступает на магнитный пускатель, который запускает двигатель, так и вручную с помощью кнопок «Пуск» и «Стоп». Включение двигателей отображается световыми индикаторами на щите управления.

Контроль влажности теплоносителя происходит с помощью измерительного преобразователя ИРТВ-5215, сигнал с которого поступает на аналоговый вход ЭВМ.

ЭВМ обеспечивает любой закон регулирования и является самой новой и наиболее быстродействующей системой автоматизации. В проекте ЭВМ выполняет роль ПИ-регулятора с заданным алгоритмом работы.

Список литературы

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления: линейные системы. Нелинейные системы. Импульс. системы. Цифровые и адаптив. системы. Критерии устойчивости. Случайные процессы / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2004. – 747 с. – ISBN 5-93913-035-6.

2. Веревкин, А. П. Модели в задачах разработки автоматизированных систем управления технологическими объектами / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин. – Вологда: Издательство «Инфра-Инженерия», 2025. – 196 с. – ISBN 978-5-9729-2517-9.

3. Клепиков, В. В. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие / В. В. Клепиков, Н. М. Султан-заде, А. Г. Схиртладзе. – Москва: ИНФРА-М, 2025. – 208 с. – ISBN 978-5-16-013871-8.

4. Поляков, С. И. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / С. И. Поляков; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 372 с.– ISBN 978-5-7994-0273-0.

References

1. Besekersky, V. A. Theory of automatic control systems: linear systems. Nonlinear systems. An impulse. the system. Digital and adaptive. the system. Sustainability criteria. Random processes / V.A. Besekersky, E.P. Popov. – 4th ed., revised. and add. – St. Petersburg: Professiya, 2004. – 747 p. – ISBN 5-93913-035-6.

2. Verevkin, A. P. Models in the Tasks of Developing Automated Control Systems for Technological Objects / A. P. Verevkin, T. M. Murtazin. – Vologda: Publishing House Infra-Engineering, 2025. – 196 p. – ISBN 978-5-9729-2517-9.

3. Klepikov, V. V. Automation of Production Processes: Textbook / V. V. Klepikov, N. M. Sultan-zade, A. G. Skhirtladze. – Moscow: INFRA-M, 2025. – 208 p. – ISBN: 978-5-16-013871-8.

4. Polyakov, S. I. Automation and Computerization of Production Processes: Textbook / S. I. Polyakov; Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education "VGLTA". – Voronezh, 2008. – 372 p. – ISBN 978-5-7994-0273-0.