

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Чаудхари Р.Р.

Современный технологический процесс производства керамического кирпича отличается высокой степенью сложности, изготовление которого включает в себя следующие основные этапы [1,2,8,9]:

подготовка смеси - формовка кирпича - сушка - обжиг

Наиболее ответственными и трудоемкими являются технологические этапы сушки и обжига кирпича. Эти технологические процессы характеризуются высокой сложностью и множеством факторов, оказывающих влияние на качество выпускаемой продукции.

Обжиг проводится в проходной туннельной печи, в которой осуществляется температурное воздействие на кирпич по колоколообразному закону, приводящему к переходу структуры глиняной смеси в состояние керамики. Для поддержания определенного закона температурного воздействия кроме нагрева производится организация обмена среды внутри печи при помощи нагнетания и отбора ее системой вентиляторов и воздухопроводов. Для осуществления технологического процесса обжига необходим постоянный контроль температуры и давления в отдельных зонах печи и воздухопроводах. Значения давлений и температур, обеспечивающих определенное качество продукции, определяются опытным путем и являются индивидуальными для отдельного производства. Кроме того эти значения могут меняться при изменении погодных и климатических условий. В связи с чем возникает необходимость оперативного контроля указанных параметров и анализ их величин за предыдущее время, в течение которого осуществлялся технологический процесс. При реконструкции существующих и проектировании новых кирпичных заводов важной задачей является обеспечение высокой производительности тепловых агрегатов, снижение энергетических затрат при высоком качестве готовой продукции. Эти задачи решаются с использованием современного оборудования и систем автоматики.

Научные исследования и практика показывает, что целесообразно управлять процессом сушки посредством изменения параметров теплоносителя [1]. Возможные управляющие воздействия, основные дестабилизирующие факторы и показатели качества технологического процесса следующие:

- факторы, характеризующие сырье как объект сушки: химический состав глины, геометрические размеры;
- возможные управляющие воздействия: расход воздуха, температура воздуха;

- основные возмущающие воздействия: влажность воздуха, начальная влажность воздуха, начальная температура сырья, нестабильность удельной массы сырья, неравномерность подачи воздуха;
- оперативные показатели: отсутствие повреждений, потеря массы, температура на выходе.

Керамические кирпичи, изготовленные пластическим методом, содержат влагу, которая должна быть удалена, чтобы придать им механическую прочность и подготовить к обжигу. Соблюдение технологии сушки и выдержка контрольных параметров процесса в высокой степени влияют на качество конечной продукции [2]. Именно после сушки отбраковывается значительная часть высушенного кирпича-сырца, которая поступит уже в другое производство как отходы от производства керамического кирпича. Сушку кирпича производят только конвективным методом, т.е. методом при котором влага испаряется вследствие теплового обмена между изделием и теплоносителем.

Теплоносителем для сушки служит горячий воздух, отбираемый из зоны охлаждения туннельной печи. Этот теплоноситель движется от вентилятора туннельной печи по трубопроводу, затем забирается вторым вентилятором и подается в сушилку. Отбор теплоносителя производится двумя вентиляторами. Количество подачи теплоносителя по туннелям регулируется степенью открытия шиберов на подаче и отборе теплоносителя. Скорость теплоносителя в туннелях составляет 2–3 м./сек., относительная влажность — 85–92%. Температура теплоносителя: начальная — 30–35°C, конечная — 50–56°C.

Процесс сушки характеризуется следующими основными факторами:

- скоростью перемещения влаги внутри материала;
- скоростью влагоотдачи с поверхности материала в окружающую среду;
- усадочными напряжениями, обусловленными неравномерным распределением влажности внутри материала.

В результате испарения влаги с поверхности изделия влага из глубинных слоев перемещается на его поверхность. Этот процесс называют внутренней диффузией. Наилучшие условия сушки создаются при одинаковой скорости внешней и внутренней диффузий.

Процесс сушки делится на три периода: нагрева изделий, постоянной скорости сушки и замедленной скорости сушки. В период нагрева тепло, подводимое к материалу теплоносителем, расходуется на подогрев изделия от начальной температуры до температуры теплоносителя.

В первый период сушки удаление влаги происходит с постоянной интенсивностью:

$$m = - \frac{W}{F \cdot \tau}, \text{ кг/м}^2\text{ч}, \quad (1)$$

где W – испаренная влага, кг; F – площадь поверхности испарения, м²; τ – время испарения, ч.

Сушка кирпича в сушильных камерах происходит при температуре от 110 до 140 °С.

Продольная циркуляция теплоносителя в системах сушки обеспечивается вытяжными вентиляторами, отводящими отработанный теплоноситель. Регулирование его количества осуществляется с помощью вмонтированных у перекрытия сушилки заслонок. Часть теплоносителя из сушилки отбирается передвижными вентиляторами, обеспечивающими его циркуляцию в поперечном направлении каналов агрегата, равномерно обдувая сырец. В сушильной камере размеры кирпича в результате усадки уменьшаются (на 5-10%). Нагретый воздух отсасывается из обжиговой печи эксгаустером (вентилятором) и подаётся в сушильную камеру. Благодаря постепенному подъёму температуры, в закрытой сушильной камере с течением времени образуются испарения воды. Без заметного движения воздуха. Это весьма благоприятно влияет на сушку кирпича, особенно из чувствительных к режиму сушки глин в первый период. Сырец нагревается во влажном воздухе и преждевременного высыхания его поверхности не происходит, а влага равномерно испаряется из всей массы сырца. Время сушки кирпича-сырца в сушильной камере составляет 21-24 часов.

Схема туннельной сушилки с системой воздухопроводов, датчиков веса, температуры, влажности показана на рисунке 1 [3].

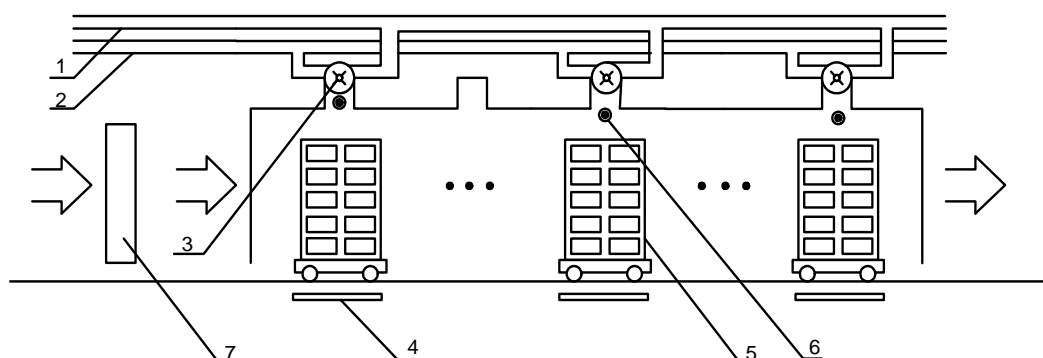


Рисунок 1 - Туннельная сушилка с системой воздухопроводов, датчиками веса, температуры, влажности

1 - воздухопровод горячего воздуха, 2 - воздухопровод холодного воздуха, 3 – заслонки регулирования расхода холодного и горячего воздуха, 4 – датчики веса, 5 – вагонетки с сырьем, 6 – датчики температуры, 7- датчик влажности сырья.

Заслонки подачи холодного и горячего воздуха 3 оснащены приводами управления. Горячий и холодный воздух через смесители 3 подается в сушилку так, что позволяет корректировать потерю влаги в разных частях сушилки.

Перед загрузкой сырья в сушилку измеряется его влажность в установке 7. В процессе сушки, вагонетки 5 взвешиваются в начале, в середине и в конце сушилки с помощью датчиков веса 4, высчитывается влагосодержание кирпича. Температура, влажность и расход воздуха также измеряется.

Для управления процессом сушки используется математическая модель потери массы сырья по результатам измерения изменения массы M_k . Интенсивность сушки корректируется с использованием контрольных измерений массы вагонеток с сырьем так, чтобы достигалось необходимое влагосодержание в конце технологического процесса при отсутствии дефектов (растрескивания, расслаивания, снижения прочности).

Структура модели динамики среднеобъемного влагосодержания кирпича описывается зависимостью вида:

$$W(\tau) = A \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) + C, \quad (2)$$

где A , T , C – коэффициенты идентификации, зависящие от условий процесса, τ – текущее время.

Изменение влагосодержания кирпича-сырца в процессе сушки изменяется, как показано на рисунке 2 [3].

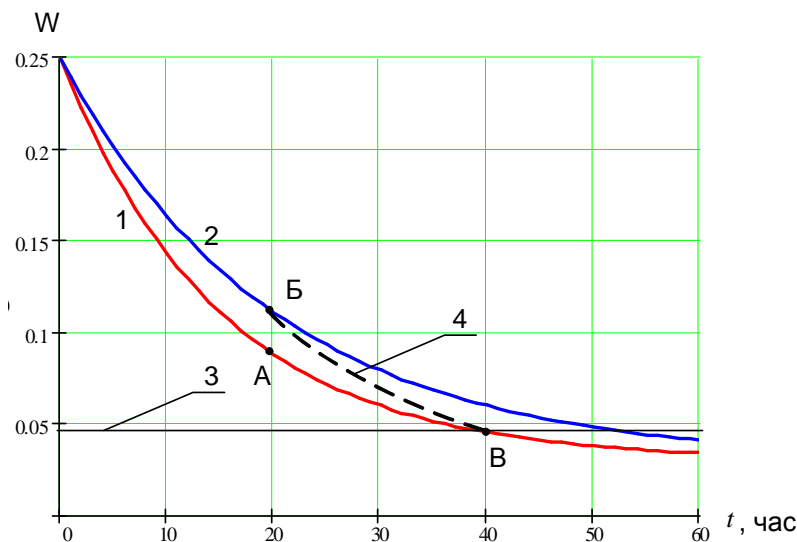


Рисунок 2 - Изменение влагосодержания кирпича в процессе сушки

Качество процесса управления оценивается функционалом:

$$J(\tau)\Delta W - \frac{(m_H - m_K)}{m_0}, \quad (3)$$

где ΔW – желаемое изменения влагосодержания в процессе сушки; m_H – начальная масса сырья; m_K – конечная масса сырья; m_0 – масса абсолютно сухого сырья.

Для расчета коэффициентов идентификации при $\tau = 0$ получаем:

$$A + C = W(0), \quad (4)$$

Используя уравнение баланса:

$$\int_0^{\tau_{y0}} [A \cdot \exp(\frac{-\tau}{T}) + C] d\tau = \Delta W \quad (5)$$

получим второе равенство для вычисления коэффициентов A и C :

$$A \cdot T \cdot [\exp(\frac{-\tau_y}{T})] + C \cdot \tau_y = \Delta W, \quad (6)$$

где τ_y - продолжительность сушки.

Значение коэффициента C вычисляется в результате совместного решения зависимостей (2) и (4).

В случае несоответствия между прогнозируемым (точка A на рисунке 2) и измеренным экспериментально (точка B на рисунке 2) влагосодержанием в точке повторного взвешивания (20-ый час процесса сушки), модель корректируется.

Далее, процесс сушки корректируется так, чтобы достигнуть желаемого влагосодержания (линия 3, рисунок 2) в конце процесса сушки (времени T_4 точка B , рисунок 2) по кривой 4 (рисунок 2). Для этого необходимо выбрать новое значение коэффициента модели T и изменить параметры подаваемого в сушилку воздуха на основании зависимости $\Delta T = f(D_e, T_e, \varphi_e)$.

Зависимость $\Delta T = f(D_e, T_e, \varphi_e)$ определяется экспериментально во время предварительного обследования сушилки.

Предложения по автоматизации кирпично-черепичного производства разработаны с целью повышения качества выпускаемой продукции и других технико-экономических показателей работы тепловых агрегатов, обеспечения оперативной технологической и аварийной сигнализации о ходе технологического процесса, требований безопасности, предупреждения о возникновении аварийных ситуаций за счёт усовершенствования системы контроля и управления [3].

В состав системы управления входят: шкаф автоматизации (рисунок 3) с мнемосхемой (большая панель визуализации), микропроцессорным контроллером для реализации управляющих функций на низком уровне и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора технологического оборудования.

Функциональные узлы технологического оборудования получают сигналы управляющего воздействия от контроллера или ручных средств управления.

Технические средства автоматизации выбирались с учетом требований надежности и условий эксплуатации оборудования в условиях, характеризующихся высокой температурой и повышенной запылённостью.

Система обеспечивает:

- автоматическое управление и защиту технологического оборудования в процессе его работы;
- контроль параметров технологического процесса в сушилке;
- контроль и управление вентиляторами в сушилке;
- контроль состояния оборудования формовки и транспорта в сушилке;

- управление всем циклом формовки;
- визуализацию ТП на автоматизированном рабочем месте (АРМ);
- ведение архивов и построение трендов на АРМ оператора.).



Рисунок 3 - Шкаф электроавтоматики и шкаф автоматики

В качестве АРМ оператора используется IBM PC совместимый компьютер с сетевым адаптером Fast Ethernet с пропускной способностью 100 Мбт/с. Программное обеспечение АРМ оператора, выполненного в SCADA системе Wonderware In touch, обладает широкими возможностями расширения и модернизации.

На линии формовки (рисунок 4) шихта из шихтозапасника после предварительной обработки (перемешивание, измельчение и т.д.) в требуемых пропорциях поступает в вакуумный пресс, где происходит увлажнение шихты паром до формовочной влажности.

Затем прессом осуществляется формование бруса, который поступает на автоматический режущий стол.

Автоматический режущий стол является универсальным для работ на двух этапах резания:

Режущий элемент режет брус длиной одного подмодуля;

Другим режущим элементом режет первоначально отрезанный брус на нужные размеры.

Отходы производства, получаемые при резке изделий на необходимые размеры, с помощью резиновых транспортерных лент возвращаются в процесс переработки.

Сформованный кирпич-сырец поступает на загрузочное устройство вагонеток сушилки, а затем укладывается на этажи вагонетки.

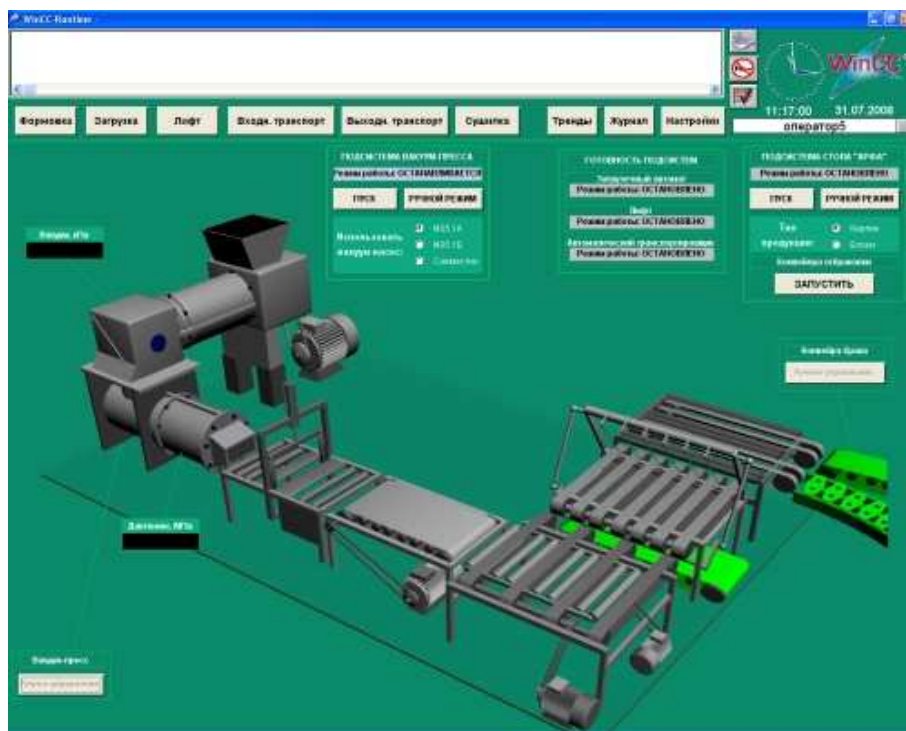


Рисунок 4 - Основной экран АРМ оператора линии формовки и перемещения

Линия сушки предназначена для сушки кирпича-сырца, чтобы придать ему достаточную механическую прочность и подготовить к обжигу.

Для сушки изделий применяется туннельная сушилка, которая состоит из трех туннелей, заданных размеров. Мнемосхема сушилки показана на рисунке 5.

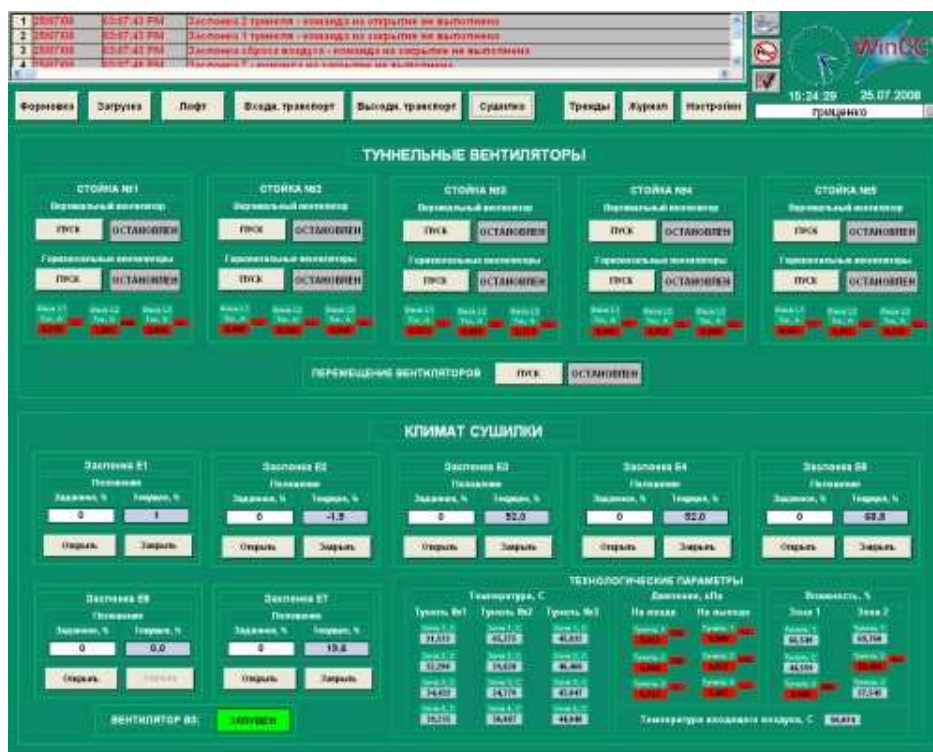


Рисунок 5 - Мнемосхема сушилки

Сырые изделия транспортируются из загрузочного устройства в туннели на вагонетках. Каждый туннель оснащен двумя путями. Заполнение сушилки по путям осуществляется транспортным средством. Для сушки кирпича в туннельную сушилку подаётся тёплый воздух из туннельной печи, который проходит по двум каналам над потолком сушилки и поступает к воздухосмесителям, которые распределяют его равномерно по всей высоте туннелей. В третьем туннеле применяется система с пятью вентиляторными стойками, которые обеспечивают перемешивание атмосферы. Стойки жестко сцеплены между собой, и передвигаются вдоль туннеля.

Система подачи воздуха в сушилку имеет электрифицированные шиберные заслонки, позволяющие в оперативном режиме изменять технологические параметры сушки. Разгрузка сушилки с сухими изделиями производится параллельно с транспортером у входа. Вагоны с сухими изделиями передаются автоматическим транспортировщиком у выхода сушилки на напольно-цепной транспортер, который в свою очередь передаёт вагонетку в подсистему садки кирпича, для дальнейшей загрузки печных вагонеток.

Модернизированная система управления обжиговой печи охватывает 15 зон обжига с 58-ю горелками 5СВ-36-120, расположенными по обеим сторонам печи, и обеспечивает необходимые параметры работы дымососов, нагнетания воздуха для горелок, в подвагонное пространство, рекуперацию, перемешивание и ускоренное охлаждение кирпича [4].

В состав системы управления входят: шкаф автоматизации с мнемосхемой (большая панель визуализации), микропроцессорным контроллером для реализации управляющих функций на низком уровне и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора технологического оборудования.

Функциональные узлы технологического оборудования получают сигналы управляющего воздействия от контроллера или ручных средств управления.

Технические средства автоматизации выбирались с учетом требований надежности и условий эксплуатации оборудования в условиях, характеризующихся высокой температурой и повышенной запылённостью.

Предлагаемая система управления печью обжига позволяет не только повысить качество кирпича, но и улучшить экологичность и безопасность технологического процесса. Разработанная система управления выполнена с использованием принципа функционального разделения узлов. Модули дискретных и аналоговых контуров управления выполнены унифицированными.

Структурная схема системы автоматизации обжиговой печи представлена на рисунке 6.

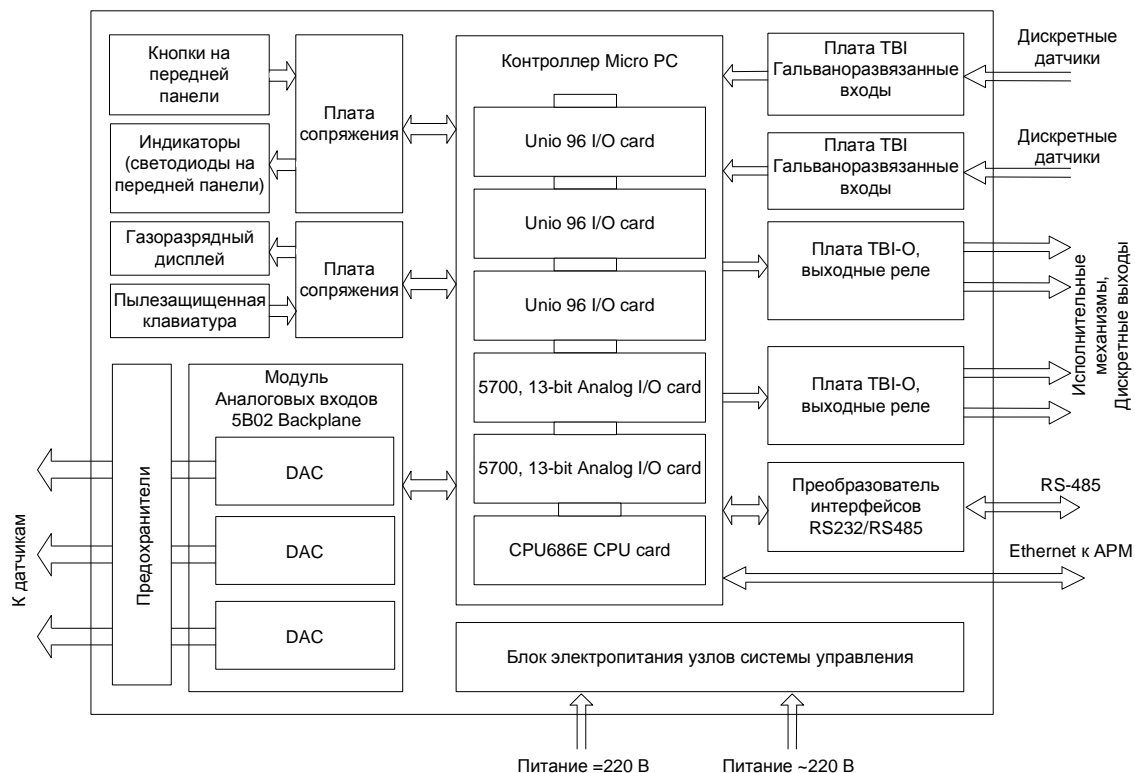


Рисунок 6 - Структурная схема системы автоматизации обжиговой печи

В качестве микропроцессорного контроллера применен контроллер формата Micro PC фирмы Fastwel CPU686E CPU card, GX1 300 MHz с интегрированным сетевым адаптером 100 Мбт/с. Для связи с аналоговыми датчиками в качестве преобразователей сигналов используются унифицированные модули Analog Devices 5B32 (4...20 мА), 5B36 (0...150 Ом), 5B31 (0...10 В), 5B40 (0...100мВ). Модули смонтированы на монтажной панели 5B02 Backplane, с которой сигналы поступают на плату расширения контроллера 5700, 13-bit Analog I/O card.

Индикаторы, кнопки управления, дисплей и клавиатура посредством плат сопряжения подключены к плате расширения дискретного ввода-вывода Unio-96 контроллера. Платы Unio-96 также используются для ввода-вывода дискретной информации технологического оборудования.

Для преобразования уровней сигнала и гальванической развязки используются платы типа TBI фирмы Fastwel. Электропитание системы автоматизации организовано с помощью импульсных преобразователей напряжения.

Технические средства системы управления размещаются в шкафу типоразмера 800x800x2000 мм, находящемся внутри специально оборудованного поста управления. Шкаф фирмы Shroff серии Proline со степенью защиты IP55 снабжен стеклянной дверью с резиновым уплотнением, что позволяет наблюдать за состоянием мнемосхемы (рисунок 7).

Для подключения кабелей используются самозажимные пружинные клеммные колодки Wago, которые обеспечивают высокую надёжность, экономичность и быстроту электромонтажа и не требуют последующего технического обслуживания.

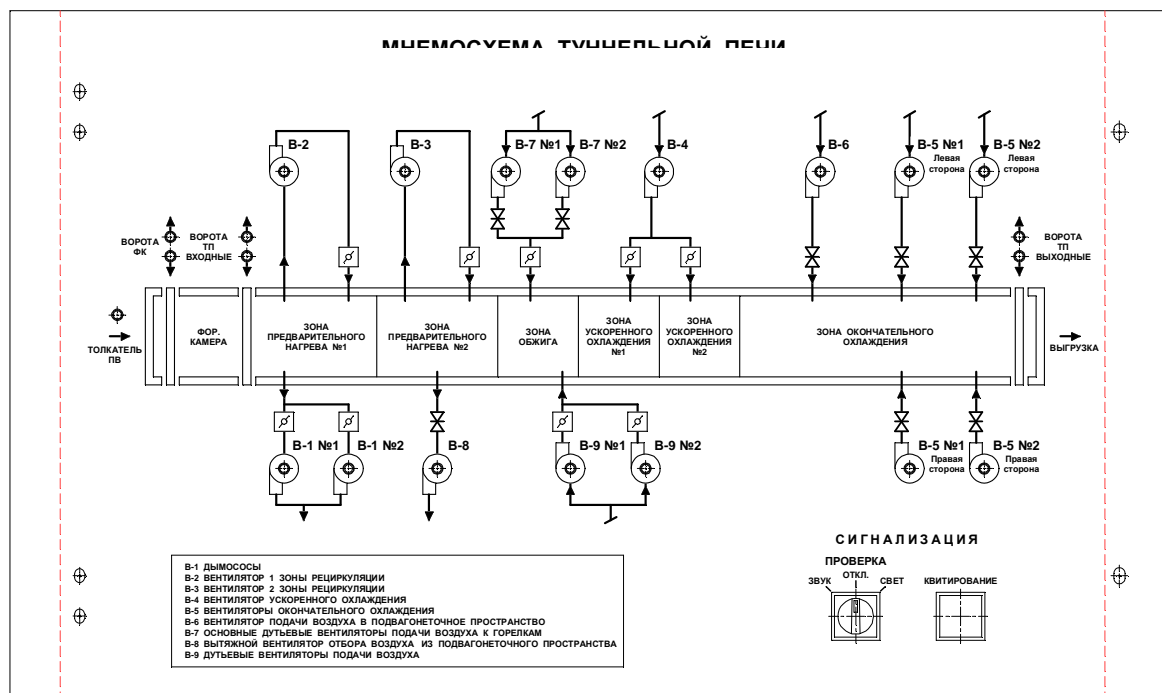


Рисунок 7 - Мнемосхема системы автоматизации обжиговой печи

Управляющая программа для контроллера написана с использованием пакета ISA GRAF PRO, который содержит набор стандартных инструментальных средств для обслуживания систем, построенных на базе изделий семейства Micro PC, и набор удобных функций для реализации всех связей внутри проекта системы автоматизации: настройку параметров контроллера, конфигурирование коммуникационных соединений, наладку, обслуживание, архивирование данных, оперативное управление и диагностику.

Такие системы способны обеспечивать функции мониторинга и оперативного управления, поддержку динамических полей ввода-вывода, клавиатуры и других сервисных возможностей. Система отображает графическую, текстовую и цифровую информацию о технологическом процессе, позволяет оператору управлять процессом путём ввода цифровой информации, отображает на экране и дисплее сообщения обо всех возникающих аварийных ситуациях. При возникновении аварийных ситуаций включается звуковая и световая сигнализация.

Все предупреждения и отказы заносятся в электронный журнал, который можно просмотреть в экранной форме АРМ оператора и распечатать. Наряду с этим система генерирует полный отчёт при сдаче/приеме каждой смены.

Дальнейшее совершенствование системы автоматизации основано на объединении локальных подсистем управления в распределенную систему.

Внедрение автоматизированной системы управления технологическими процессами кирпично-черепичного производства повышает безопасность и эффективность работы предприятия, качество обожженного кирпича, практически полностью исключает брак на этапе обжига. Эффективность работы достигается за счёт

высокого качества контроля параметров и надежной защиты от нештатных ситуаций. Новые алгоритмы управления горелками и рециркуляцией теплоносителя увеличивают срок службы стальных элементов конструкции печи, подвергающихся воздействию высоких температур, за счет исключения их перегрева. В цехе влияние человеческого фактора сводится к минимуму.

Список информационных источников

- [1] Кондратенко В.А., Пешков В.Н., Следнев Д.В. Проблемы кирпичного производства и способы их решения // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 43-45.
- [2] Жуков Д.В. Скоростная сушка кирпича-сырца: учебник. – М.: Госстройиздат, 1959. – 234 с.
- [3] Козлов Р.А. Автоматизированные системы управления тепловыми процессами производства кирпича / Козлов Р.А., Сердобинцев С.П. // Известия КГТУ 2007.- № 11.- С. 181-187.
- [4] Блох С.А. Термоупругие напряжения в изделиях стеновой керамики при их обжиге / С.А.Блох // Строительные материалы. – 1976. – № 2. – С. 27.
- [5] Кондратенко В.А. Керамические стеновые материалы: оптимизация их физико-технических свойств и технологических параметров производства. – М.: Композит, 2005. – 512 с.
- [6] Лошинская А.В., Рысс С.М., Львович И.В. Автоматическое регулирование процессов обжига и сушки в промышленности строительных материалов. – Л.: Стройиздат, - 1969. – 200 с.
- [7] Козлов Р.А. Автоматизированные системы управления тепловыми процессами производства кирпича / Козлов Р.А., Сердобинцев С.П. // Известия КГТУ 2007.- № 11.- С. 181-187.
- [8] Остроух, А.В. Комплексный подход к автоматизации технологического процесса сушки керамического кирпича / А.В. Остроух, Р.Ш. Умаралиев, М.И. Исмоилов, Р.Р. Чаудхари // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2012. - №4. - С. 7-9.
- [9] Остроух, А.В. Автоматизация технологической линии формирования, перемещения, сушки и обжига на предприятиях кирпично-черепичного производства / А.В. Остроух, Р.Р. Чаудхари, Н.Е. Суркова // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2012. - №7. - С. 1-5.